

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE FILIERES DE TRAITEMENTS BIOLOGIQUES DES DECHETS DE CUISINE ET DE TABLE : COMPOSTAGES ET METHANISATIONS

RAPPORT FINAL



EXPERTISES

**Dec
2019**

REMERCIEMENTS

Nous remercions les membres du comité de pilotage de l'ADEME pour leur participation et leur contribution :

Isabelle DEPORTES, Ingénieur Impacts sanitaires et environnementaux de la gestion des déchets, au sein du service Mobilisation et Valorisation des Déchets SMVD – Direction Economie Circulaire et Déchets DECD, responsable de la mission

Olivier THEOBALD, Ingénieur méthanisation au sein du service SMVD - DECD

Fabienne MULLER, Ingénieur Recherche et innovation, Bioéconomie circulaire des déchets organiques

Julien THUAL, Ingénieur méthanisation au sein du service SMVD - DECD

Chloé MAHE, Ingénieur, Tri à la source et collecte des biodéchets

Nous remercions également les membres de la revue critique réalisée « au fil de l'eau » :

Lynda AISSANI, Ingénieure de recherche et responsable de l'animation scientifique de l'équipe SAFIR, INRAE : *Expertise sur l'évaluation par ACV des impacts environnementaux et sanitaires de la gestion des effluents et déchets organiques*

Doris BROCKMANN, Chef de projet INRAE Transfert, *Expertise en ACV et effluents organiques*

Jean-Baptiste BAHERS : Chargé de recherche CNRS, Université de Nantes. *Expertise sur la territorialisation des politiques européennes et françaises en matière de gestion des déchets, analyse des filières de traitement des déchets*

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, EVEA Évaluation et Accompagnement, S3D Ingénierie, Mélissa CORNELUS, Audrey ROUSSEAU EL HABTI, Impacts environnementaux de filières de traitement biologique des déchets alimentaires : compostages et méthanisations, 117 pages.

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

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 17MAR000044

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : S3D et Evea

Coordination technique - ADEME : DEPORTES Isabelle

Direction/Service : DECD – Service Mobilisation et Valorisation des Déchet



SOMMAIRE

RÉSUMÉ	6
ABSTRACT	7
1. Contexte	9
1.1. Contexte	9
1.2. Public visé	9
2. Méthodologie utilisée	10
3. Définition des objectifs et du champ de l'étude	12
3.1. Objectifs de l'étude	12
3.2. Filières de traitement évaluées	12
3.2.1. Type de déchets considérés dans l'analyse	12
3.2.2. Filières de traitement retenues	12
3.2.3. Grandes étapes du cycle de vie des filières retenues	13
3.2.4. Contexte pour la définition de filière type de compostage	15
3.2.5. Contexte pour la définition de filière type de méthanisation	16
3.3. Fonctions et Unité fonctionnelle	16
3.3.1. Fonctions du système étudié	16
3.3.2. Unité fonctionnelle	16
3.4. Approche méthodologique sur les flux sortants	17
3.4.1. Prise en compte du CO ₂ biogénique	17
3.4.2. Flux sortants et Impacts évités	17
3.5. Limites	18
3.6. Exigences relatives à la qualité des données	19
4. Inventaire du cycle de vie	20
4.1. Etat de l'art	20
4.2. Compostage	20
4.2.1. Intrants et collecte	20
4.2.2. Infrastructures et Equipements	22
4.2.3. Processus de compostage – Consommations d'énergie	27
4.2.4. Processus de compostage – Consommation d'eau	27
4.2.5. Processus de compostage – Émissions gazeuses	28
4.2.6. Processus de compostage – Emissions dans l'eau	32
4.2.7. Apport au sol du compost (opérations)	33
4.2.8. Valorisation des flux sortants	33
4.2.9. Diagramme de flux pour les filières compostage	36
4.3. Méthanisation	37
4.3.1. Intrants et collecte	37
4.3.2. Infrastructures et équipements	38
4.3.3. Processus de méthanisation – Production et Consommations d'énergie	41
4.3.4. Processus de méthanisation – Consommation d'eau	44
4.3.5. Processus de méthanisation – Emissions dans l'air	44



4.3.6.	Processus de méthanisation – Emissions dans l'eau.....	46
4.3.7.	Processus de méthanisation – Bilan des flux sortants	47
4.3.8.	Apport au sol des digestats (opérations)	50
4.3.9.	Valorisation des flux sortants	50
5.	Evaluation des impacts de cycle de vie	56
5.1.	Méthodologie d'évaluation et types d'impacts étudiés.....	56
5.1.1.	Méthode d'analyse choisie.....	56
5.1.2.	Résumé des indicateurs retenus pour l'ACV comparative	57
5.1.3.	Préambule à la présentation des résultats	58
5.2.	Analyse comparative	58
5.2.1.	Comparaison des impacts générés des filières étudiées	59
5.2.2.	Comparaison des impacts évités des filières étudiées	65
5.2.3.	Focus sur les impacts agrégés pour les filières méthanisation	67
5.3.	Analyse de sensibilité.....	68
6.	Conclusion / Perspectives	71
6.1.	Impacts potentiels générés par les différentes filières	71
6.1.1.	Principales conclusions relatives aux filières de compostage	72
6.1.2.	Principales conclusions relatives aux filières de méthanisation	72
6.2.	Impacts potentiels évités par chacune des différentes filières	72
6.2.1.	Principales conclusions relatives aux filières de compostage	72
6.2.2.	Principales conclusions relatives aux filières de méthanisation	73
6.3.	Principales conclusions sur les paramètres influençant les résultats de l'ACV.....	73
6.4.	Utilisation des résultats de l'étude pour la prise de décision et perspectives	74
	Références bibliographiques.....	75
	Index des tableaux et figures.....	78
7.	ANNEXES.....	81
7.1.	Valeurs absolues	81
7.1.1.	Comparaison des impacts générés des filières	81
7.1.2.	Comparaison des impacts évités des filières.....	82
7.2.	Analyse d'incertitude sur l'inventaire.....	82
7.2.1.	Critères de qualité des données	82
7.2.2.	Résultats de l'analyse d'incertitude sur l'inventaire	83
7.2.3.	Notation de la qualité des données.....	87
7.3.	Graphiques des analyses de sensibilités.....	94
7.3.1.	Analyses de sensibilité sur les impacts évités	96
7.3.2.	Analyses de sensibilité sur les facteurs d'émission	97
7.3.3.	Analyses de sensibilité sur les pratiques d'épandage	98
7.4.	Synthèse bibliographique	100



RÉSUMÉ

La loi de transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 prévoit que tous les particuliers disposent d'une solution pratique de tri à la source de leurs déchets de cuisine et de table (DCT) avant 2025. Différentes solutions peuvent être mises en œuvre pour écarter ces DCT des ordures ménagères résiduelles : compostage individuel, compostage collectif de proximité, compostage industriel, méthanisation en mélange avec d'autres déchets organiques d'origine agricole ou agro-industrielle...

Ces modes de traitement permettent la production d'une matière valorisable agronomiquement, et d'énergie dans le cas de la méthanisation. Cependant, ces filières présentent aussi des impacts sur l'environnement qu'il convient d'évaluer pour en déterminer l'intérêt. Dans ce contexte, et pour donner suite à des questionnements qui lui ont été adressés, l'ADEME a souhaité comparer l'intérêt environnemental, par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de différentes filières de traitement biologiques des déchets alimentaires : par compostage domestique, compostage partagé, compostage industriel, méthanisation à la ferme, et méthanisation centralisée.

Le choix a été fait de réaliser une ACV attributionnelle, avec pour unité fonctionnelle le traitement de 1 kg de DCT. Le périmètre qui a été pris en compte couvre la collecte des DCT et leur stockage en amont lorsqu'ils ont lieu, le procédé de valorisation par compostage ou méthanisation, le stockage aval du digestat, ainsi que le transport et l'épandage du compost ou digestat le cas échéant. Dans cette ACV comparative, nous nous sommes efforcés de présenter les résultats d'impacts sur l'environnement selon trois types : les impacts générés (impacts négatifs sur l'environnement qui sont liés à l'emploi des matières premières et aux rejets et émissions), les impacts évités (impacts positifs sur l'environnement liés à la production de produits ou d'énergie), et enfin les impacts agrégés qui somment les impacts générés et évités. Le dimensionnement des ouvrages et équipements a été réalisé en s'appuyant sur des sites existants, et les impacts ont été caractérisés en s'appuyant sur la bibliographie ainsi que sur les bases de données d'ACV existantes (Ecoinvent v3).

Il ressort de cette ACV que les impacts négatifs sur l'environnement sont principalement dus aux émissions (azotées, phosphorées, et carbonées) au cours des procédés de compostage ou méthanisation, et lors de l'épandage du compost et du digestat. Cependant, l'évaluation des niveaux d'émissions lors des procédés de compostage et de méthanisation (notamment les émissions de biogaz à partir des soupapes de sécurité) et la différenciation entre les filières se sont avérées un exercice difficile dans la mesure où les sources de données étaient peu nombreuses ou que leur fiabilité était mal caractérisée. De plus, les pratiques d'épandage conditionnent fortement les impacts liés à la valorisation des composts et des digestats.

Concernant les impacts potentiellement évités, la valorisation agronomique du compost et des digestats est le principal levier qui permet de dégager des bénéfices environnementaux grâce à la substitution d'un amendement pour le compost, et d'un fertilisant pour le digestat. La production d'énergie dans le cas de la méthanisation présente également un intérêt significatif en termes d'impacts évités, en substitution au mix électrique dans le cas d'une valorisation par cogénération, et au gaz naturel lors d'une valorisation par injection.

La réalisation de cette ACV s'est appuyée sur des installations type, et la comparaison de l'intérêt environnemental des filières entre elles n'est en aucun cas généralisable. Les données récoltées pourront être utilisées sur un territoire donné, pour comparer plusieurs combinaisons possibles de ces filières qui ont vocation à coexister dans une optique d'optimisation territoriale. La prise en compte des conditions économiques, sociales, techniques et réglementaires sont essentielles lors de ces comparaisons.

ABSTRACT

It is foreseen by the Energy Transition and Green Growth Act of August (published on the 17th 2015) that by 2025 every private individual shall have access to a separate food waste collection. For this, different solutions can be implemented such as individual, public or private composting, agro-industrial or agricultural anaerobic digestion. These solutions allow for the production of agronomic feedstock along with energy in the case of anaerobic digestion. Yet, these treatment options also present environmental impacts that should be evaluated when assessing their interest.

In this context, and to meet concerns that have been addressed, the ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) wants to compare through a Life Cycle Analysis (LCA) the various food waste collection and upgrading solutions from an environmental point of view : private composting, public composting, industrial composting, "on-farm" anaerobic digestion and centralized anaerobic digestion.

The Life Cycle Assessment is attributional, and the functional unit is the treatment of 1 kg of food waste (FW). The system boundaries include the waste collection and the upstream storage of food waste if relevant, the composting or anaerobic digestion process, the downstream storage, the transportation and the spreading of the resulting agronomic product (compost or digestate). The environmental impacts are presented in three different ways: generated impact (negative impacts on the environment related to feedstock production and emissions), avoided impacts (positive impacts on the environment related to valuable products and energy production) and aggregated impacts that are the sum of generated and avoided impacts. Value-chain and process equipment design has been based on existing facilities. The impacts have been assessed based on a literature study and existing LCAs studies and databases (Ecoinvent V3).

The results show that negative impacts on the environment are mainly related to nitrogen, phosphate and carbon emissions during the process (compositing or anaerobic digestion) and during the spreading of the compost and the digestate. However, it has been extremely difficult to evaluate the emissions during the composting/anaerobic digestion (especially biogas leaks) and to differentiate the value chains/scenarios due to the lack of data source and their poor reliability. Moreover, the spreading techniques for compost and digestate also have a strong influence on the impacts generated.

Regarding the potentially avoided impacts, the agronomic value of digestate and composts is the main lever to improve the environmental benefits, thanks to substitution of soil enricher (compost) and mineral fertilizer (digestate). The energy produced in the case of anaerobic digestion is also of great interest in terms of avoided impacts when substituted for electricity in the case of Combined Heat & Power (CHP) or natural gas in the case of injection in the public grid.

It shall be stressed that this LCA is based on standard facilities and that the environmental comparison with other value chains can be generalized by no means. The collected data may be used on a given territory to compare various combinations of these value chains reminding that they are designed to coexist with a view to territorial optimization. Considering economic, technical and social contexts and regulations is essential when drawing these comparisons.





1. Contexte

1.1. Contexte

Près de 800 millions de tonnes de déchets sont produits chaque année en France, dont environ 350 millions de tonnes de déchets organiques (biodégradables), environ 300 millions de tonnes de déchets agricoles et 47 millions de tonnes de déchets industriels et urbains. Sur les 600 kg d'ordures ménagères produits par habitant et par an, 25 à 30% sont des déchets de cuisine et de tables (DCT)¹ : ce gisement non négligeable est aujourd'hui très largement éliminé avec les ordures ménagères, c'est-à-dire mis en décharge ou incinéré.

La valorisation des DCT dans des filières spécifiques permet d'assurer une bonne qualité de traitement tout en évitant de les éliminer par incinération ou enfouissement alors qu'ils représentent une ressource intéressante en matière et en énergie. En effet, ces DCT présentent un intérêt pour une valorisation agronomique dans le cadre d'une économie circulaire de la matière organique. Le compostage et la méthanisation transforment des matières organiques brutes en matières valorisables sur les sols agricoles, le compost ou le digestat. Qualifiées de MAFOR (Matières Organiques Fertilisantes d'Origine Résiduelles), les composts et les digestats présentent un intérêt fertilisant et amendant permettant de répondre aux besoins agronomiques des sols cultivés. Dans le contexte actuel d'appauvrissement des sols en matières organiques, il existe un réel besoin d'amendements organiques naturels. Le retour au sol de ces matières organiques contribue au maintien de la fertilité des sols. De plus, la méthanisation permet de valoriser énergétiquement les DCT.

La loi de transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 prévoit que tous les particuliers disposent d'une solution pratique de tri à la source de leurs DCT avant 2025. A partir de 2024, les collectivités devront donc mettre en place ce tri à la source pour les ordures ménagères avec des solutions de valorisation à développer.

Différentes solutions peuvent être mises en œuvre pour écarter ces DCT des ordures ménagères résiduelles : compostage individuel, compostage collectif de proximité, compostage industriel, méthanisation en mélange avec d'autres déchets organiques d'origine agricole ou agro-industrielle...

Dans ce contexte, et pour donner suite à des questionnements internes et externes à sa structure, l'ADEME souhaite comparer l'intérêt environnemental de différents scénarios de traitement biologique par compostage ou par méthanisation des déchets de cuisine et de table des ménages, afin de fournir des éléments de réflexion environnementale dans la mise en œuvre de solutions de traitement.

1.2. Public visé

Qu'ils soient ou non utilisables pour la décision publique, ce travail a vocation à produire des résultats diffusables auprès :

- des salariés de l'ADEME,
- des techniciens et élus des collectivités (AMORCE, FNCCR...)
- des regroupements professionnels agricoles (APCA, AAMF...) et de traitement des déchets (FNADE, FEDEREC...)
- du ministère de la transition écologique et solidaire et celui de l'agriculture et de l'alimentation

Il s'agira donc de restituer les résultats de manière pédagogique pour s'adapter aux différents publics visés.

¹ Ministère de la Transition écologique et solidaire/ biodéchets source : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/biodechets>



2. Méthodologie utilisée

L'Analyse du Cycle de Vie

Cette analyse est réalisée selon les principes et les cadres définis par les normes ISO 14040 et ISO 14044 présentant les exigences relatives à la réalisation d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV) de produits.

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale multi-étapes (toutes les étapes du cycle de vie sont l'objet de l'étude) et multicritères (un panel d'impacts environnementaux est étudié). L'approche multi-étapes est illustrée ci-dessous :

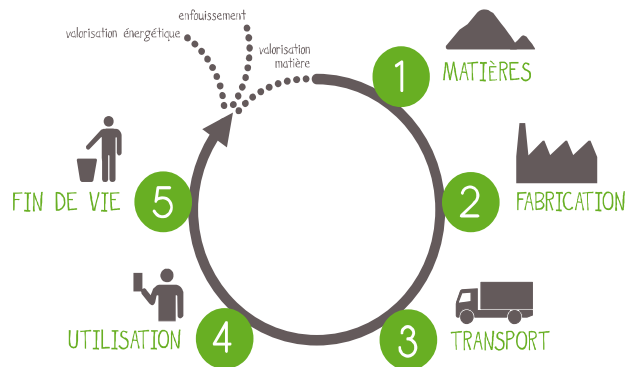


Figure 1 : Cycle de vie

La méthodologie de l'Analyse du Cycle de Vie est articulée en quatre phases bien distinctes mais interdépendantes car, tout au long de l'étude, de fréquents retours sont nécessaires, ce qui rend la démarche générale itérative.

Etape 1 - Définition des objectifs et du champ de l'étude

Chaque Analyse du Cycle de Vie est construite pour répondre à des questions précises. La définition des objectifs et du champ de l'étude conditionne donc les choix méthodologiques de chaque étape (inventaire, évaluation des impacts, interprétation) et par voie de conséquence les résultats : l'ACV est dite *"goal-dependent"*.

Cette première étape se précise de manière itérative au fur et à mesure de l'avancée de l'analyse. On retrouvera, par exemple, la définition des frontières de l'étude, la définition des fonctions du (ou des) système(s), l'exigence de la qualité des données nécessaires à l'analyse de l'inventaire (ISO 14044), les types d'impact et leurs indicateurs nécessaires à l'évaluation des impacts environnementaux (ISO 14044). L'unité fonctionnelle est définie ; unité à laquelle sera rapporté l'ensemble des flux. Cette unité est représentative de la fonction du produit ou service étudié. L'unité fonctionnelle permet la comparaison de produits pour un service rendu équivalent. On détermine alors les systèmes qui s'y rattachent ainsi que ses frontières.

Etape 2 - Analyse de l'inventaire

Les flux de matière et d'énergie entrant et sortant sont ensuite quantifiés. On constitue ainsi l'inventaire, qui est un véritable travail d'évaluation quantitative des flux.

Les limites initialement fixées peuvent être élargies et la qualité des données redéfinies.

Le recueil et le traitement des données se font conformément à la définition des objectifs comme le précise la norme ISO 14044.

Etape 3 - Evaluation des impacts sur l'environnement

L'étape d'évaluation des impacts a pour but de traduire les consommations et les rejets recensés lors de l'inventaire en impacts environnementaux potentiels (augmentation de l'effet de serre, déplétion de la couche d'ozone, pollution à l'ozone, acidification, eutrophisation, toxicité ...).

Pour ce faire, des facteurs de caractérisation sont utilisés pour calculer les impacts environnementaux potentiels associés à chacun des flux inventoriés.

Le choix des catégories d'impact et des facteurs de caractérisation associés se font en relation avec les objectifs et les systèmes étudiés.

Ces opérations de quantification des impacts environnementaux potentiels sont définies comme obligatoires par la norme ISO 14044.

Etape 4 – Interprétation

L'interprétation a pour objectif d'analyser les résultats et d'expliquer les limites de l'inventaire et de l'évaluation des impacts, afin de fournir des recommandations de manière la plus transparente possible.

Elle met en avant les points forts et les points faibles d'un système et permet l'identification des paramètres et des étapes sensibles. Ceci ouvre des perspectives en matière de leviers d'actions en vue d'une diminution des impacts.

Comme le précise la norme ISO 14044, cette étape s'appuie sur l'identification des points significatifs de l'inventaire et de l'évaluation des impacts du cycle de vie accompagnée de différents contrôles : contrôle de sensibilité des hypothèses retenues (indicateurs, frontière...), contrôle de la complétude et de la cohérence sur le cycle de vie ou entre plusieurs options.

Approche attributionnelle

Cette ACV est de type attributionnel. L'ACV attributionnelle se focalise sur le périmètre de la filière étudiée : évaluation de la performance d'une filière (comparativement à d'autres filières apportant le même service rendu) mais pas des impacts environnementaux induits au niveau du système territorial global. Par exemple **le fait que la production de compost et de digestats par les filières de DCT perturbe potentiellement d'autres filières (soit par la captation du gisement de DCT, les détournant potentiellement d'autres filières, soit par la mise sur le marché d'amendements des sols ou de fertilisation des cultures en substitution d'autres solutions) n'a pas été pris en compte**. Une ACV attributionnelle permet d'étudier un système technologique à un instant T figé dans le temps, c'est-à-dire le système en état de *statu quo* et non pas les conséquences générées qui affecteraient l'ensemble des secteurs économiques (changements non marginaux étudiés par ACV conséquentielle, ACV-C).

Limites de l'approche ACV attributionnelle

Dans une ACV conséquentielle (ACV-C), il est primordial de définir de manière corrélée le contexte spatial, l'horizon temporel, ainsi que l'ampleur du changement et les mécanismes de substitution associés afin de pouvoir délimiter le champ d'étude et identifier les processus affectés par le changement, à prendre en compte dans l'inventaire. Par conséquent et comme abordé dans l'étude Score LCA A2012_01², le fait d'associer la notion de « conséquentielle » à l'évaluation d'un changement implique que les résultats de l'ACV conséquentielle ne sont pas proportionnels à l'unité fonctionnelle (UF). Le fait de prendre en compte l'ampleur réelle du changement est donc primordiale et représente le premier élément distinctif de l'ACV conséquentielle. Le deuxième élément distinctif de l'ACV conséquentielle est la prise en compte des effets indirects générés par le changement étudié. Pour réaliser une ACV-C, il est indispensable de disposer des informations nécessaires concernant le contexte socio-économique et environnemental dans lequel il a lieu. Une partie des filières étudiées dans ce rapport n'existent pas encore ou existent de manière marginale. De nombreuses hypothèses auraient été nécessaires pour réaliser une ACV conséquentielle, entraînant un haut niveau d'incertitude sur les résultats. La principale conséquence du choix de l'ACV attributionnelle porte sur la non prise en compte des effets indirects du développement de ces filières sur les filières actuelles de gestion des déchets et les filières impliqués dans les voies de valorisation (énergie et production agricole).

Revue critique

L'ACV a été réalisée par EVEA, cabinet de conseil en ACV et écoconception. L'inventaire a été élaboré par EVEA et S3D Ingénierie. Le rapport a été rédigé par EVEA et S3D Ingénierie et soumis à revue critique. L'avis final de revue critique est annexé à ce rapport.

² Etude A2012_01 Analyse du Cycle de Vie conséquentielle : Identification des conditions de mise en œuvre et des bonnes pratiques



Cette ACV comparative ayant pour but d'être communiquée, elle a été soumise à une revue critique par un panel de 3 experts indépendants. La revue critique s'assure de la validité et de l'objectivité des hypothèses formulées pour mener l'analyse ainsi que de la conformité de l'ACV aux normes ISO 14040 et 14044.

La revue critique de cette ACV comparative a été réalisée au fil de l'eau de février à décembre 2019 par :

- Lynda AISSANI, Ingénieure de recherche et responsable de l'animation scientifique de l'équipe SAFIR, INRAE : *Expertise sur l'évaluation par ACV des impacts environnementaux et sanitaires de la gestion des effluents et déchets organiques*
- Doris BROCKMANN, Chef de projet INRAE Transfert : *Expertise en ACV et effluents organiques*
- Jean-Baptiste BAHERS, Chargé de recherche CNRS, Université de Nantes : *Expertise sur la territorialisation des politiques européennes et françaises en matière de gestion des déchets, analyse des filières de traitement des déchets*

3. Définition des objectifs et du champ de l'étude

3.1. Objectifs de l'étude

Cette étude vise à comparer, par la méthode ACV, les impacts environnementaux de différents scénarios de traitement biologique par compostage ou par méthanisation des déchets de cuisine et de table (DCT) des ménages.

Ce travail a vocation à :

- Apporter une vision globale des impacts environnementaux de la méthanisation et du compostage des DCT. Il est important de rappeler que les impacts observés sont dépendants des hypothèses faites pour cette analyse (périmètres retenus, inventaires, ...). Ces résultats expriment les impacts environnementaux des scénarios sur la base des choix décrits dans ce rapport
- Quantifier les impacts et identifier les paramètres clés des filières
- Produire des résultats pédagogiques diffusables à différents publics

3.2. Filières de traitement évaluées

3.2.1. Type de déchets considérés dans l'analyse

Le terme DCT se limite, dans le cadre de cette analyse, aux déchets organiques de table et de cuisine des ménages. **Les DCT produits par la restauration collective, les industries agroalimentaires, les grandes et moyennes surfaces, les artisans ou encore les marchés sortent du cadre de l'analyse.** Les DCT considérés sont constitués en grande partie d'épluchures et de reste de repas pouvant contenir de la viande et du poisson.

3.2.2. Filières de traitement retenues

Les différentes filières de traitement des DCT retenues pour cette ACV sont schématisées dans la figure 2 ci-dessous :

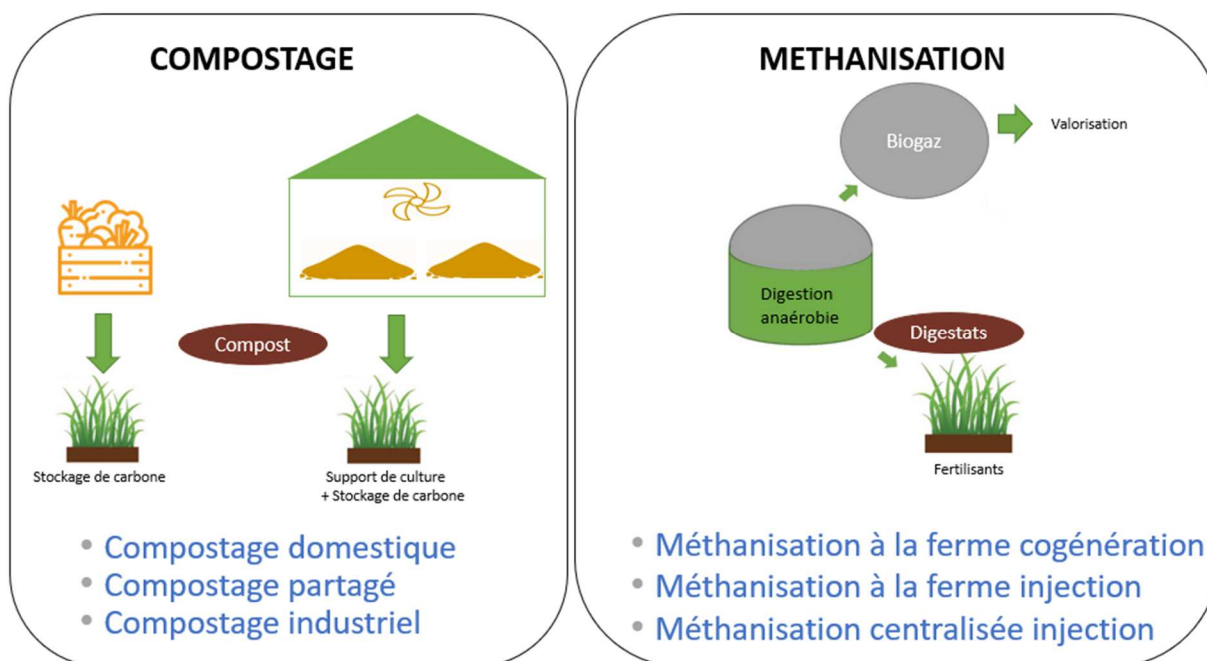


Figure 2 : Filières de traitement retenues

3.2.3. Grandes étapes du cycle de vie des filières retenues

Les figures 3 et 4 ci-dessous présentent les principales caractéristiques des filières étudiées.

**Mix d'intrants a permis le dimensionnement mais pas pris en compte dans les émissions lors du processus*

	Compostage domestique	Compostage partagé	Compostage industriel
INTRANTS*	50% 50%	33% 67%	65% 35%
% MB	50%	67%	35%
COLLECTE			33 km
PROCEDE			
TRANSPORT			40 km
VALORISATION (opérations)	Utilisation au jardin	Utilisation au jardin / espaces verts	Mécanique
VALORISATION AGRONOMIQUE prise en compte	Stockage de carbone dans le sol	Stockage de carbone dans le sol	> Stockage de carbone dans le sol > Valorisation de la MO (tourbe évitée)

Figure 3 : Principales caractéristiques des filières de compostage



*Mix d'intrants a permis le dimensionnement mais pas pris en compte dans les émissions lors du processus

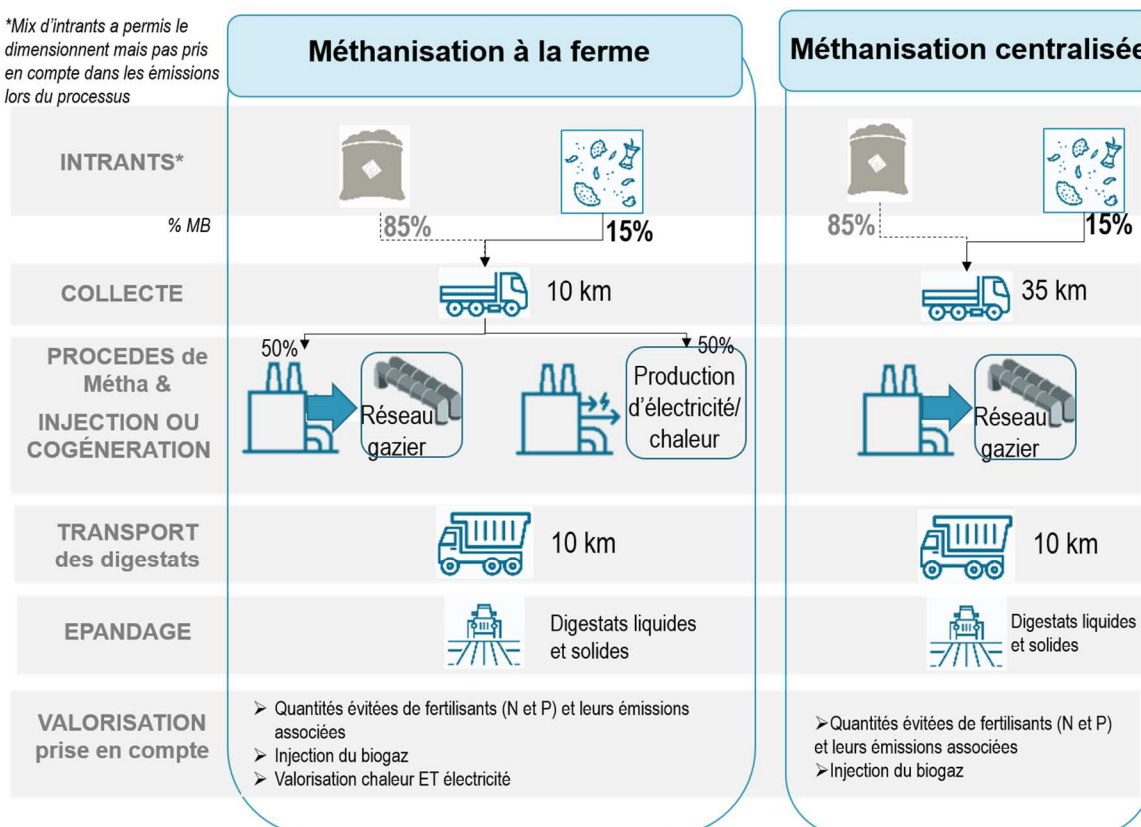


Figure 4 : Principales caractéristiques des filières de méthanisation

Le dimensionnement est basé sur des tailles d'équipements et d'installations différentes, représentatives des différentes filières dans le contexte français.

Les tonnages traités ont été définis pour chaque filière à partir des quantités de DCT (pictogrammes colorés en intrants dans les figures 3 et 4) et de leur proportion dans un mélange avec des déchets verts ou ligneux pour le compostage, et avec d'autres intrants agricoles et agro-industriels pour la méthanisation (pictogrammes grisés en intrants dans les figures 3 et 4).

Les sources et justifications ayant guidé le choix des dimensionnements respectifs sont présentés dans les chapitres suivants (cf. 4.2.1 et 4.3.1).

Le tableau 1 ci-dessous synthétise les tonnages moyens pris en compte pour dimensionner les ouvrages et équipements de chaque filière :

	Compostage Domestique	Compostage Partagé	Compostage industriel	Méthanisation à la ferme	Méthanisation centralisée
Capacité du traitement (Tous déchets confondus)	0,4 t MB/an	5,9 t MB/an	2 857 t MB/an	15 000 t MB/an	40 000 t MB/an
Quantité de DCT	0,2 t MB/an	4 t MB/an	1 000 t MB/an	2 250 t/an	6 000 t/an
Proportion de DCT	50%	67%	35%	15%	15%

Tableau 1 : Synthèse des tonnages traités par installation type pour chaque filière

3.2.4. Contexte pour la définition de filière type de compostage

Considérations communes aux 3 filières « compostage »

Types d'intrants

Le compostage de DCT est effectué avec des déchets verts :

- Pour des raisons techniques : la microbiologie du compostage nécessite en effet un mélange de matière organique avec un rapport C/N de l'ordre de 30, alors que les DCT ont un rapport C/N de l'ordre de 20. La teneur élevée en eau (80%) et en azote des DCT conduit à un tassement du tas et à la production de nuisances (odeurs, insectes...) (ADEME, 2012b).
- Pour des raisons pratiques : dans le cas du compostage domestique, le composteur permet d'accueillir à la fois des déchets du jardin et les DCT.

Rôle du déchet vert : structurant ou non selon les systèmes

Un déchet vert ligneux (branches, copeaux de bois...) sera considéré comme un structurant et ne sera donc pas considéré comme un déchet dans le bilan matière : on considérera alors qu'il ne se dégrade pas lors de la réaction, et que l'ensemble des flux sont à attribuer aux DCT. Le type de déchet vert utilisé diffère en fonction des filières de compostages, et les choix suivants ont été retenus par l'ADEME :

- Compostage domestique : DCT + Déchets verts de jardin. Dans le cas d'un déchet vert de jardin, soit un mélange de tontes, feuillages et branchages, les déchets verts sont considérés comme des déchets dans le bilan matière.
- Compostage partagé : DCT + Déchets verts de jardin. L'hypothèse précédente est conservée.
- Compostage industriel : DCT + Déchets verts d'espaces verts. 50% de déchets verts présents sont considérés comme structurant (soit 33% au total)

Qualité du compost et valorisation

Il sera considéré que le compost produit est toujours conforme à la norme NF 44 051 (Amendements organiques). Il permet le stockage dans les sols d'une partie du carbone qu'il contient et peut remplacer l'usage de la tourbe comme amendement.

Compostage partagé

L'arrêté du 9 avril 2018 fixant *les dispositions techniques nationales relatives à l'utilisation de sous-produits animaux et de produits qui en sont dérivés, dans une usine de production de biogaz, une usine de compostage ou en « compostage de proximité », et à l'utilisation du lisier* donne une définition du « compostage de proximité » dit « partagé » : [il] regroupe des particuliers et/ou des associations et/ou des professionnels de la restauration et/ou des collectivités, producteurs de déchets de cuisine et de table ». Il diffère du « compostage de proximité » dit « autonome en établissement », unités de compostage « présentes au sein d'un établissement producteur de déchets de cuisine et de table ». Cet arrêté fixe le tonnage maximal pour être exempté d'agrément et d'enregistrement à 1 t/semaine.

Etant donné la diversité des installations de compostage pouvant être qualifiées de compostage partagé, il s'est avéré nécessaire de cibler le type d'installations visées. **Le compostage « en pied d'immeuble » a été retenu, avec des tonnages traités inférieurs à 6 t/an de DCT.**

Dans une enquête présentée dans le guide du compostage partagé (ADEME, 2012b), la majorité des sites de compostage étudiés (30/42 enquêtés) ont en effet une capacité inférieure à 5 t/an. Les modalités de compostage seront proches de celles retenues pour le compostage domestique avec davantage de retournements et une meilleure valorisation du compost produit.

Compostage industriel

Le compostage industriel regroupe une grande diversité d'installations notamment en termes de tonnage traité et de rayon de collecte. Pour cette analyse, le scénario type correspond à une communauté de communes moyenne (23 000 habitants) traitant de l'ordre de 1000 t/an de DCT collectés sélectivement auprès des particuliers.

Le compostage peut être réalisé à l'air libre ou dans une enceinte fermée, avec ou sans aération forcée par insufflation ou soufflage. La durée de compostage est de 6 à 8 mois, puis le compost est généralement criblé. Le taux de déchets verts est un élément clé qui influence le temps de compostage. **Le choix du comité de pilotage s'est porté sur un compostage en enceinte fermée avec aération forcée puis maturation à l'air libre et criblage.**



3.2.5. Contexte pour la définition de filière type de méthanisation

Considérations communes aux 2 filières de méthanisation

Les filières méthanisation ont été considérées avec séparation de phase du digestat et valorisation d'une phase solide et d'une phase liquide par épandage. Les pratiques d'épandage du digestat considérées sont basées sur des Bonnes Pratiques d'Épandage (ADEME, 2018a) pour limiter les pertes d'azote ammoniacal (utilisation de pendillards pour le digestat liquide, d'enfouisseur pour le digestat solide). Une substitution à un apport d'engrais minéral azoté et phosphoré est prise en compte dans le scénario de base pour évaluer la valorisation agronomique du digestats produit.

Pour la méthanisation à la ferme, une valorisation énergétique à 50% par cogénération et 50% par injection est considérée. Pour la méthanisation centralisée en revanche, une valorisation à 100% par injection a été retenue. **Ces répartitions ne correspondent pas à la réalité du parc de méthanisation en fonctionnement mais ont été choisies pour refléter l'évolution de la filière vers davantage de sites en injection à l'avenir.**

Méthanisation agricole

La typologie des installations de méthanisation à la ferme à ce jour est la suivante :

- Puissance de 200 kWe en moyenne, valorisation majoritairement par cogénération
- 7500 t de substrats traités
- Très peu d'installations valorisent des DCT alimentaires

La tendance actuelle est au développement d'installations agricoles de taille plus importante avec une valorisation par injection de biométhane sur le réseau de gaz naturel.

Sachant que les installations de petite puissance sont moins susceptibles d'accueillir des DCT en raison des contraintes sanitaires engendrant des coûts et des démarches réglementaires supplémentaires (hygiénisation, agrément sanitaire, statut ICPE en enregistrement ou autorisation), il a été choisi d'envisager plutôt de la méthanisation agricole hors petite méthanisation à la ferme, selon les deux modèles d'installations qui coexistent actuellement : **des unités individuelles à la ferme en cogénération (200 à 350 kW), et des installations agricoles collectives avec valorisation par injection de l'ordre de 80 à 100 Nm³/h.**

Méthanisation centralisée

Les installations qui traitent aujourd'hui une majorité de DCT issus des ménages après un tri mécano-biologique ne se développeront plus. Il a été choisi d'évaluer l'impact d'une installation de méthanisation territoriale qui traite des DCT en mélange avec d'autres déchets organiques du territoire. Les DCT considérés sont issus d'un tri à la source.

3.3. Fonctions et Unité fonctionnelle

3.3.1. Fonctions du système étudié

En ACV, les impacts environnementaux potentiels d'un système sont évalués par rapport à la fonction qu'il remplit. Afin de pouvoir comparer les filières, il est donc nécessaire de s'assurer que les frontières définies pour l'ensemble des filières sont telles que ces filières comparées assurent la même fonction.

Le compostage et la méthanisation sont des processus qui peuvent remplir plusieurs fonctions distinctes, cependant nous considérerons ici leur fonction commune et principale qui est de traiter des DCT.

3.3.2. Unité fonctionnelle

L'ACV se focalise sur la comparaison de six filières de valorisation de DCT. Afin de quantifier les flux relatifs aux cinq systèmes étudiés et de les comparer, une unité de référence doit être définie. L'unité fonctionnelle retenue dans le cadre de cette ACV est la suivante : « **traiter une quantité de 1 kg de DCT** ».

3.4. Approche méthodologique sur les flux sortants

3.4.1. Prise en compte du CO₂ biogénique

Le CO₂ fait l'objet d'une considération particulière, qui distingue le CO₂ d'origine fossile du CO₂ biogénique. Le premier provient de la combustion d'hydrocarbures, stockés dans la lithosphère depuis plusieurs millions d'années, et fait partie du cycle long du carbone. Le second fait partie d'un cycle court : il est présent dans l'air puis il est capté par des végétaux lors de la photosynthèse. Ce CO₂ sera réémis lors de la dégradation ou combustion des végétaux. On considère en général que les émissions de CO₂ biogénique sont neutres par rapport à l'augmentation de l'effet de serre, par opposition aux émissions de CO₂ fossile. En effet, étant stocké depuis des millions d'années dans la lithosphère, le carbone fossile réémis sous forme de CO₂ dans l'atmosphère participe à l'augmentation de la concentration de ce gaz.

La méthode de caractérisation des émissions de gaz à effet de serre utilisée dans cette ACV (IPCC 2013 100GWP), attribue un facteur nul aux émissions de CO₂ biogénique. Par ailleurs la séquestration de carbone d'origine biogénique dans le sol est comptabilisée comme une émission négative dans l'atmosphère.

3.4.2. Flux sortants et Impacts évités

Les filières de traitement des DCT par compostage ou méthanisation entraînent la production de coproduits. Certains de ces coproduits sont valorisables et pourraient être considérés comme venant en substitution à d'autres flux tels que : les engrais et la tourbe (valorisation agronomique du digestat et du compost respectivement), l'électricité, le gaz et la chaleur (valorisation énergétique du biogaz). Ces flux sortants apportent donc selon les hypothèses de potentiels bénéfiques environnementaux au système étudié du fait de la substitution qu'ils engendreraient (figures 5 et 6).

Scénarios de valorisation des filières compostage

On étudie plusieurs scénarios de valorisation du compost :

- Scénarios pour les compostages domestiques et partagés :
 - Pas de valorisation du compost en tant qu'engrais
 - Séquestration de carbone dans le sol grâce à l'application de compost : lors de l'apport de compost au sol, une partie du carbone contenu dans la matière organique est stockée dans le sol de façon stable pour une longue période, ce qui permet d'éviter des émissions de CO₂ biogénique.
- Scénarios pour le compostage industriel :
 - Valorisation comme support de culture. Dans ce scénario, le compost est utilisé en support de culture : un support de culture ou amendement est destiné à servir de milieu de culture à certains végétaux en permettant à la fois d'ancrer les organes absorbants des plantes et de les mettre en contact avec les solutions nécessaires à la croissance. La tourbe peut être utilisée comme support de culture : le compost est considéré en substitution à la tourbe
 - Séquestration de carbone dans le sol grâce à l'application de compost.

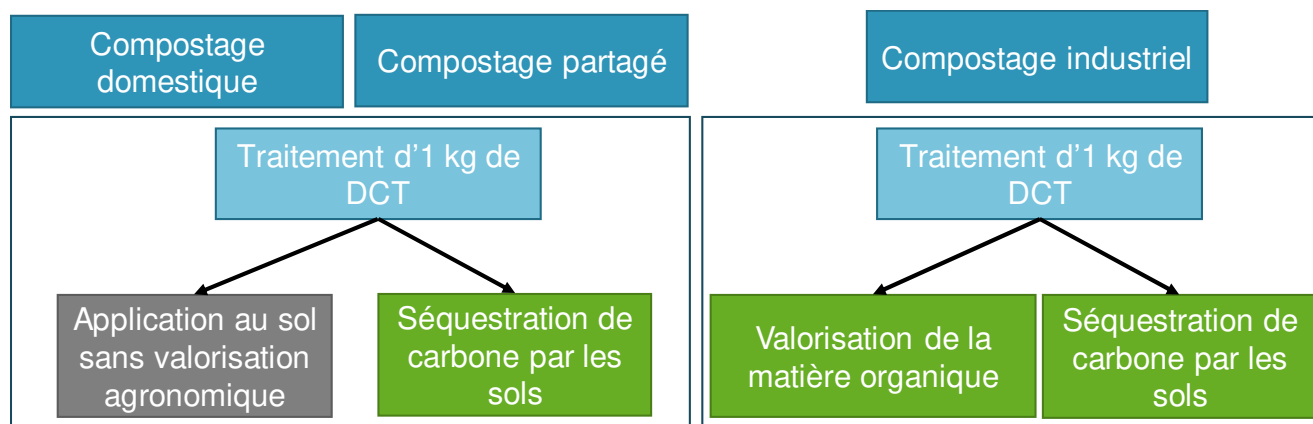


Figure 5 : Valorisations prises en compte pour les filières compostage



Scénarios de valorisation des filières méthanisation

On étudie plusieurs scénarios de valorisation pour la méthanisation :

- Scénarios pour la méthanisation à la ferme (scénario injection) et la méthanisation centralisée :
 - Valorisation du biométhane obtenu après épuration du biogaz par injection dans le réseau de gaz
 - Valorisation des digestats comme fertilisants organiques. Les digestats sont utilisés en substitution partielle à des engrais minéraux (azotés et phosphorés). Le pouvoir fertilisant des digestats a été modélisé à partir des apports en éléments azote (N) et phosphore (P), ces valeurs sont précisées dans les parties dédiées à chaque filière.
- Scénarios pour la méthanisation à la ferme (scénario cogénération) :
 - Valorisation de l'électricité produite par cogénération (combustion) du biogaz
 - Valorisation de la chaleur produite par cogénération (combustion) du biogaz
 - Valorisation des digestats comme fertilisants organiques. Les digestats sont utilisés en substitution partielle à des engrais minéraux (azotés et phosphorés).

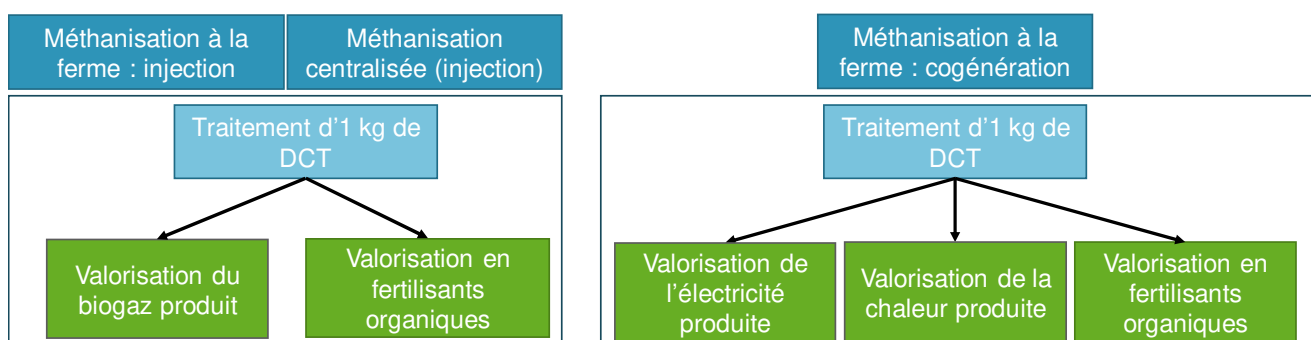


Figure 6 : Valorisations prises en compte pour les filières méthanisation

3.5. Limites

Limites relatives à l'objectif et au périmètre de l'étude

Par construction, les résultats d'une ACV sont relatifs à l'UF définie dans le cadre de l'étude, en l'occurrence le traitement d'un kg de DCT.

Dans cette étude, le périmètre (i.e. les frontières de l'étude) a été étendu (cf. fig. 6 et 7 page précédente), conformément aux lignes directrices édictées par les normes ISO 14040 à la valorisation des coproduits des filières respectives (compost, biogaz, digestats) permettant d'évaluer des impacts évités en regard des impacts potentiels générés par les traitements (cf. chap. 5).

Or, chaque filière présente des avantages et inconvénients qui vont au-delà du périmètre de l'étude et qui ne sont donc pas pris en compte ici (le choix d'une ACV attributionnelle les exclut du périmètre de l'étude, il faudrait une ACV conséquentielle pour les inclure) :

- Effets sur la production de déchets (effets environnementaux) :
 - Détournement du flux des DCT du flux de déchets ménagers des filières « classiques » de traitement de ces déchets (incinération et enfouissement).
 - Appropriation de la gestion des déchets par les particuliers avec pour conséquence une réduction des quantités de déchets produits par les ménages (compostages domestique et partagé).
- Effets sociétaux, territoriaux et économiques :
 - Renforcement du lien social au niveau des habitants (compostage partagé), voire renforcement du lien social à l'échelle d'un territoire (méthanisation centralisée).
 - Diversification des revenus et sécurisation économique des exploitations agricoles,
 - Participation au maintien de l'élevage
 - Amélioration de l'image de l'agriculture (méthanisation à la ferme).
 - Effet induit sur le mix énergétique qui conduirait à sa modification dans l'avenir.



- Par ailleurs, les filières de traitement ont des impacts territoriaux très différents en termes d'emplois par tonne traitée. Le nombre d'emplois soutenus et induits est un critère important pour les élus. D'autres critères économiques tels que les coûts de traitement des déchets sont également des critères non abordés par cette analyse et qui pourtant sont au cœur des réflexions territoriales de la gestion des déchets

Enfin, pour le compostage, certains procédés ont été exclus du périmètre car négligeables selon (ADEME, 2009b) et (APESA, 2015) :

- Stockage intermédiaire des DCT (émissions gazeuses liées au démarrage du processus de décomposition des DCT, fabrication et fin de vie du contenant) : cette étape est supposée avoir un impact négligeable en comparaison du processus de compostage lui-même,
- Outils utilisés lors du remplissage du composteur (gants, pelles et fin de vie).

Limites relatives à la méthode d'évaluation

Certains aspects environnementaux sont mal connus et difficiles à quantifier. C'est par exemple le cas de l'intérêt agronomique induit par les composts et les digestats sur la qualité structurale et agronomique des sols à long terme.

Limites relatives à la disponibilité des données

Le manque de donnée n'a pas permis de réaliser une distinction sur les facteurs d'émission entre les différentes filières de compostage. Un calcul de bilan de matière et d'émissions a été réalisé à partir d'un cas d'étude issu du rapport. Les facteurs de flux et d'émissions ainsi calculés ont été appliqués à une composition d'intrants représentative des systèmes étudiés (DCT + déchets verts) sans prendre en compte les particularités de chaque scénario.

Il convient de garder en tête ces éléments lors de l'interprétation des résultats comparatifs des filières respectives. D'une manière générale il est important de se souvenir que la présente étude mène une comparaison de six filières considérées individuellement alors que, dans une approche territoriale, les différentes filières ont plutôt vocation à coexister. En effet il n'y a jamais 100% des DCT d'un territoire en compostage individuel ou partagé, et il n'est possible de traiter des DCT en méthanisation que si d'autres substrats sont disponibles (sur le territoire). Souvent, le choix du compostage industriel est dépendant du mode de traitement des déchets verts existants.

3.6. Exigences relatives à la qualité des données

Les données collectées et exploitées dans le cadre de cette étude répondent aux différentes exigences suivantes :

- Le facteur temporel :

Les données les plus récentes possibles ont été recherchées.

- La géographie :

Pour les technologies, nous avons recherché des informations exclusivement sur un périmètre français. La quasi-totalité des données génériques utilisées pour la modélisation sont des moyennes européennes (processus de la base de données ecoinvent v3.5 se terminant par /*RER* ou /*Europe without Switzerland* privilégiés) ou mondiales (processus de la base de données ecoinvent v3.5 se terminant par /*GLO*). Si ces dernières ne sont pas disponibles dans la base, nous utilisons les données à notre disposition (processus de la base de données ecoinvent v3.5 se terminant par /*CH* – suisse, par exemple). Les données génériques ont été autant que possible modifiées pour correspondre au contexte français (mix électrique...).

- La technologie :

Les données faisant le plus consensus et les plus actuelles ont été recherchées. La base de données d'arrière-plan utilisée pour cette étude est la base ecoinvent v3.5.



4. Inventaire du cycle de vie

Les sources de données sont multiples et sont précisées pour chaque étape du cycle de vie. En fonction des informations collectées, des données spécifiques³ ou génériques⁴ sont utilisées.

4.1. Etat de l'art

Différents travaux déjà réalisés sur l'ACV dans le domaine de la méthanisation et du compostage ont été pris en compte pour évaluer les données disponibles et cadrer les données et catégories d'impact qui sont prises en compte dans cette ACV.

Les données bibliographiques portent sur des ACV réalisées sur l'une de ces filières ou sur les données existantes de mesures d'émissions ou de recensement des pratiques associées à chacune d'elles.

Certains de ces documents permettent de cadrer le périmètre à prendre en compte pour chaque filière, en décrivant les pratiques et les procédés les plus courants ou représentatifs.

En revanche, dans la bibliographie la collecte et le transport des DCT sont généralement exclus du périmètre des ACV existantes. Les hypothèses prises en compte pour évaluer l'impact des infrastructures des procédés ne sont pas détaillées.

L'ensemble de cet état de l'art a permis d'identifier des sources bibliographiques (référéncées dans le corps du rapport) afin de définir les hypothèses pour chaque scénario (typologie) et de collecter des données génériques sur les différentes étapes (émissions, consommations d'eau et d'énergie...)

Une synthèse des sources les plus pertinentes est présentée en annexe.

Des encarts de synthèse de l'état de l'art sont également proposés au fil du rapport pour justifier les hypothèses retenues.

4.2. Compostage

4.2.1. Intrants et collecte

Quantités de DCT prises en compte

Etat de l'art

La quantité de DCT produite par un ménage français a été établie en croisant plusieurs sources :

- le document « déchets chiffres clef 2017 » de l'ADEME fait état d'une production d'ordures ménagères par les particuliers s'élevant à 271 kg MB/habitant/an (enquête collecte 2015). La part de déchets putrescibles est estimée à 31% et la part de DCT à 22,8% (ADEME MODECOM, 2007) : la production de DCT et déchets verts collectés s'élève donc à 87 kg MB/hab./an dont 62 kg MB/hab./an de DCT.

Cependant les foyers qui compostent ne détournent pas la totalité des DCT vers le composteur : de l'ordre de 80% des DCT sont envoyés en compostage, le reste se retrouvant dans les OMR (Ordures Ménagères Résiduelles) collectées (Resse, 2013), soit une **quantité de DCT compostés de l'ordre de 49 kg MB/hab./an**. Plusieurs publications s'accordent sur une production de l'ordre de 40 kg MB/habitants/an de DCT (Projet ECCOVAL, 2009) et (Jasim, 2003).

A noter que dans le cadre de l'étude (Resse, 2013) des pesées ont été effectuées avec des quantités totales de DCT de 278 à 306 kg compostés/foyer/an (DCT + DV (Déchets Verts)). Pour le compostage en bac, la moyenne s'établit à 98 kg/hab./an avec deux groupes de taille similaire : une typologie « C+ » contenant 71% de déchets de cuisine et une typologie « C- » contenant 43% de DCT en moyenne, soit entre 49 et 70 kg DCT/hab./an.

Enfin, le ratio de collecte des déchets alimentaires seuls en collecte sélective en France s'élève en moyenne à 43 kg/hab./an sur les 50 collectivités concernées au 1^{ier} janvier 2016 d'après (AJBD, CITEXIA, & ADEME, 2018)

³ Donnée spécifique (ou primaire): Valeur quantifiée issue d'une mesure directe ou d'un calcul à partir de mesures directes d'une activité ou d'un processus du cycle de vie du produit.

⁴ Donnée générique (ou secondaire) : Valeur quantifiée d'une activité ou d'un processus de cycle de vie du produit obtenue à partir de sources autres que la mesure directe ou le calcul à partir de mesures directes.



Données retenues pour l'ACV

	Compostage Domestique	Compostage Partagé	Compostage Industriel
Quantité moyenne de DCT en compostage par an (kg MB/an) pour une installation type	200	4 000	1 000 000

Tableau 2 : Dimensionnement des filières de compostage

Les quantités de DCT prises en compte pour les trois scénarios de compostage s'appuient sur les pratiques existantes (tableau 2) :

- **Compostage domestique : Compostage de la production annuelle moyenne de DCT d'un foyer moyen de 4 personnes soit 200 kg MB/an de DCT**
 - Calcul : $4 \text{ hab} \times 50 \text{ kg MB/hab/an} = 200 \text{ kg MB/an}$
 - *calcul basé sur les sources* (ADEME MODECOM, 2007) & (Resse, 2013)
- **Compostage partagé : Compostage de la production annuelle moyenne de DCT correspondant à un vingt foyers soit 4 000 kg MB/an de DCT**
 - Calcul : $20 \text{ foyers} \times 200 \text{ kg MB/foyer/an} = 4000 \text{ kg MB/an}$
 - *calcul basé sur les sources* (ADEME MODECOM, 2007) (Resse, 2013) & (ADEME, 2012b)
- **Compostage industriel : Compostage de la production annuelle moyenne de DCT correspondant à une population de l'ordre de 20 000 habitants (taille moyenne d'une communauté de communes française = 23 000 habitants) soit 1 000 000 kg MB/an de DCT**
 - Calcul : $= 1\,000\,000 \text{ kg MB/an} = 20\,000 \text{ hab} \times 50 \text{ kg MB/hab/an}$ ou $23\,255 \text{ hab} \times 43 \text{ kg MB/hab/an}$
 - *calcul basé sur les sources* (ADEME MODECOM, 2007), (Resse, 2013) & (AJBD, CITEXIA, & ADEME, 2018)

Proportion de déchets verts

Etat de l'art

La proportion de DCT et de déchets verts a été fixée en s'appuyant sur les données suivantes :

- Pour le compostage domestique, l'étude (ADEME, 2008) mentionne 57 à 70% de DCT en masse pour le compostage en bac (moins lorsque compostage en tas). L'étude (APESA, 2015) présente quant à elle les proportions de déchets verts et déchets de cuisine pour plusieurs publications récentes (Andersen, 2010b), (Martinez-Blanco, 2010), (Martinez-Blanco, 2013) (Lléo, 2013), (Adhikari, 2013) : ces proportions sont variables et la part de déchets de cuisine est généralement supérieure à celle des déchets verts.
- En compostage partagé, un mix 70/30 est proposé dans la fiche mémo de Compostaction : « équilibre des matières : 2/3 déchets alimentaires et 1/3 déchets verts ligneux » (Compostaction, 2019). Par ailleurs, une enquête menée auprès de la Tricyclerie à Nantes a donné les indications suivantes : les proportions de 3 m³ de broyat de déchets verts (densité estimée de 0,4 soit 1,2 t) pour 3,5 t de DCT sont constatées sur ce site de compostage partagé, soit 2/3 de DCT pour 1/3 de déchets verts en tonnage de MB.
- En compostage industriel, la proportion massique de déchets verts / DCT indiquée dans des résultats de l'audit des plateformes de compostage (ADEME, 2007a) est de 65% de déchets verts et 35% de DCT

Les quantités de déchets verts utilisés ont ainsi été définies de la manière suivante (répartition en tonnage de MB, pourcentage massique, tableau 3) :

- Compostage domestique et partagé : la proportion de déchets verts utilisés n'est pas toujours renseignée dans les sources bibliographiques consultées et les pratiques sont très diverses. Pour le compostage domestique la répartition retenue est la suivante : 50% de DCT et 50% de déchets verts en masse. La répartition diffère pour le compostage partagé : 67% de DCT et 33% de déchets verts.



- Compostage industriel : la proportion massique de déchets verts et DCT (65%/35%) est issue des résultats de l'audit des plateformes de compostage (ADEME, 2007a).

Répartition massique (% MB)	Domestique	Partagé	Industriel
Déchets verts	50%	33%	65%
DCT	50%	67%	35%

Tableau 3 : Répartition des intrants pour le compostage

La densité retenue pour les DCT a été fixée à 0,35 kg/l d'après (ADEME, 2012b), celle des déchets verts de jardin (mélange ligneux/non-ligneux) à 0,33 kg/l et celles des déchets verts structurants à 0,5 kg/l (densité variable selon part de ligneux, de 0,2 à 0,5 kg/l).

Distances de collecte

Etat de l'art

L'enquête ADEME parue en 2009 (ADEME, 2009a) donne une distance de collecte de 54 km/t de déchet en moyenne pour la collecte sélective tout type confondu (emballages, journaux/papiers/cartons, biodéchets...) et une distance de 12 km pour la collecte des OMR. Extrait de l'enquête (ADEME, 2009a) : « Pour une tonne d'ordures ménagères collectées sélectivement en porte à porte (hors verre et hors apport volontaire), les bennes parcourent en moyenne 54 km sur la base des 256 collectivités ayant répondu à la question soit près de 5 fois plus que pour les ordures ménagères résiduelles. Comme pour les ordures ménagères résiduelles, plus la densité d'habitat est importante, plus ce ratio est faible. ».

Aucune donnée n'a été trouvée dans la bibliographie pour la collecte spécifique des biodéchets. On peut supposer que la valeur moyenne pour les déchets collectés sélectivement présentée dans l'étude (ADEME, 2009a) est supérieure à celle constatée pour les biodéchets car concerne davantage les emballages (déchets d'emballages moins denses que des biodéchets et sites de recyclages potentiellement plus éloignés que pour des biodéchets). A l'inverse, la valeur pour les OMR peut être retenue comme une valeur minimale pour une collecte sélective de biodéchets.

Données retenues pour l'ACV

Pour le compostage domestique et partagé, aucun transport des déchets n'a été considéré.

Pour le compostage industriel la valeur moyenne des deux valeurs fournies par l'enquête (54 km et 12 km) (ADEME, 2009a) est retenue, soit **33 km**.

Le processus de la base de données ecoinvent v3.5 retenu pour modéliser le transport est « *Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER} | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 | APOS* ».

4.2.2. Infrastructures et Equipements

Compostage domestique

Les modalités les plus courantes sont un compostage en tas ou en bac, avec une préférence pour le bac dans le cas du compostage de DCT. D'après une étude des différents types de pratique de gestion domestique des DCT (ADEME, 2012a), 52% des personnes enquêtées réalisent du compostage en bac. **Un compostage en bac a été retenu en comité de pilotage.**

Type de bac de compostage :

Il a été convenu de prendre en compte des **bacs en plastique et en bois à part égale**, en l'absence de données sur la répartition entre ces deux matériaux pour les bacs de compostage. D'autres modalités existent telles que des composteurs faits de moellon mais aucune source n'a été identifiée pour permettre de connaître les proportions de chaque type de composteur utilisé.

A noter que plusieurs publications sur les impacts environnementaux du compostage domestique s'appuient sur des expérimentations menées avec du compostage en bac polyéthylène (Martinez-Blanco, 2010), (Andersen, 2011), (Lléo, 2013).

Le volume du bac a été fixé à environ 300 litres (tableau 4), sachant que les composteurs individuels sont généralement de taille inférieure ou égale à 300 litres (ADEME, 2008). Plusieurs publications scientifiques sur



les impacts du compostage s'appuient également sur des expérimentations réalisées dans des volumes de cet ordre (Lléo, 2013), (Andersen, 2011).

- Bac bois : un bac en pin autoclavé de dimension (L)75x(P)72x(H)82cm a été retenu. Il présente un volume de 350 litres⁵. Ce composteur dispose d'une ouverture par le haut. Poids 30 kg.
- Bac plastique : Un bac en PEHD recyclé de dimension de (L)61x(H)61x(H)83 cm a été retenu. Il présente un volume de 300 litres⁶. Ce composteur dispose d'une ouverture par le haut. Poids 4,7 kg.

Type	Matière	Taille (cm)	V (litres)	Durée de vie (années)	Quantité kg/bac	Processus de la BDD (Base De Données) ecoinvent v3.5	Fin de vie des consommables du process (recyclage, autre...)
Bac Bois	Bois : pin douglas autoclavé	75x72x 82cm	350	15	30	Sawnwood, beam, softwood, dried (u=10%), planed {GLO} market for	Waste wood, post-consumer {GLO} market for APOS
Bac plastique	PEHD recyclé	61x61x 83cm	300	7,5	4,7	<ul style="list-style-type: none"> • Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland} market for polyethylene, high density, granulate, recycled APOS • Injection moulding {GLO} market for 	Waste polyethylene {FR} market for waste polyethylene APOS

*On fait l'hypothèse que 50% des foyers utilisent le bac plastique et 50% le bac en bois.

Tableau 4 : Caractéristiques des 2 types de bac pour le compostage particulier

Une durée de compostage de 12 mois a été retenue, le prélèvement du compost étant généralement effectué une fois par an (d'après (ADEME, 2012a)).

Transport du site de vente jusqu'au foyer :

Le transport du composteur de son point de vente au domicile du foyer est pris en compte. Aucune donnée d'étude de marché de l'achat d'un composteur par un consommateur n'ayant été identifiée, les hypothèses sont ici basées sur les recommandations des guides publiés par la Commission Européenne. La Commission Européenne a réalisé, dans le cadre du PEF (Product Environmental Footprint), plusieurs guides portant sur la pratique de l'ACV sur les produits de grandes consommations et a établi des paramètres par défaut. Le document du PEF (European Commission , 2015) stipule que d'un point de vue produit, on suppose que pour les détaillants spécialisés en produits spécifiques de moyennes et grandes tailles ou à valeur ajoutée, trois articles sont achetés par voyage et donc 1/3 du voyage est alloué par article ou unité de vente au détail. L'hypothèse du trajet du consommateur est la suivante : les trajets sont réalisés en voiture sur une distance de 4,8 km (aller-retour) (European Commission , 2015). Pour cette étape de transport final, la valeur modélisée, en km, correspond au calcul suivant : $4,8/3=1,6$ km.

Durée de vie :

La durée de vie des bacs bois a été fixée à 15 ans et celle des bacs plastiques a été fixée à 7,5 ans (durée de vie de 5 à 10 ans indiquée dans le guide méthodologique du compostage partagé (ADEME, 2012b)).

⁵ <https://www.jardindeco.com/composteur-350-litres-en-pin-traite-F-120,354#description>

⁶ <https://www.oogarden.com/prod-11559-Composteur-300-litres-en-plastique-avec-trappe-de-recuperation-et-couvercle-amovible.html>



Compostage partagé

Comme pour le compostage domestique, de nombreuses modalités de compostage existent avec une prédominance du compostage en bac (40 sites avec compostage en bac sur 62 expériences recensées en France dans (ADEME, 2012b)). Le compostage en bac a donc été retenu.

Il est généralement effectué à l'aide de plusieurs bacs pour le stockage des coproduits, le compostage, la maturation et le stockage du compost. Une modalité avec trois bacs de compostage d'environ 600 L a été retenue, modalité observée pour une trentaine de foyers : un bac de réserve de coproduit, un bac de fermentation et un bac de maturation/stockage du compost.

Type de bac de compostage (tableau 5) :

- Bac bois : Un bac en pin autoclavé de dimension (L)95x(P)87x(H)97cm a été retenu. Il présente un volume de 650 litres. Ce composteur dispose d'une ouverture par le haut. Poids 38 kg⁷.
- Bac plastique : Un bac en PEHD recyclé de dimension de (L)80x(H)80x(P)104 cm a été retenu. Il présente un volume de 600 litres. Ce composteur dispose d'une ouverture par le haut. Poids 16 kg⁸.

Type	Matière	Volume / bac (litres)	Durée de vie (années)	Poids du bac kg/bac	Nb de bac	Processus de la BDD ecoinvent v3.5	Fin de vie des consommables du process (recyclage, autre...)
Bac Bois	Bois : pin douglas autoclavé	650	15	38	3	Sawnwood, beam, softwood, dried (u=10%), planed {GLO} market for	Waste wood, post- consumer {GLO} market for APOS
Bac plastique	PEHD recyclé	600	7,5	16	3	Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland} market for polyethylene, high density, granulate, recycled APOS, + Injection moulding {GLO} market for	Waste polyethylene {FR} market for waste polyethylene APOS

Tableau 5 : Caractéristiques des deux types de bac pour le compostage partagé (ADEME, 2012b)

Transport du site de vente jusqu'au site de compostage partagé :

Par défaut l'hypothèse retenue est une livraison sur une distance de 20 km pour livrer les bacs. Le processus de la base de données ecoinvent v3.5 utilisé est « *Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {GLO}| market for | APOS* ».

Durée de vie

Comme pour le compostage domestique, la durée de vie des bacs en bois a été fixée à 15 ans et celle des bacs en plastique a été fixée à 7,5 ans (5 à 10 ans d'après (ADEME, 2012b)).

Compostage industriel

Le choix du comité de pilotage s'est porté sur un compostage en enceinte fermée avec aération forcée puis maturation à l'air libre et criblage.

Les infrastructures et équipements pour le compostage industriel ont été déterminés sur la base des données disponibles dans le rapport (ADEME, 2007a) et en s'appuyant sur des données de dimensionnement de plateformes existantes (Cabourg (14), Arvor Comport (56)). Il n'a pas été identifié d'autre source plus récente (la base SINOE a été consultée : elle permet d'identifier les plateformes de compostage existantes mais présente très peu d'informations de dimensionnement et de fonctionnement). La figure 7 ci-dessous synthétise les principaux ouvrages et équipements pris en compte.

⁷ <https://www.jardindeco.com/composteur-650-litres-en-pin-traite-F-120,355>

⁸ https://www.ugap.fr/achat-public/composteur-collectif-thermo-king-600-litres-en-plastique_2040542.html

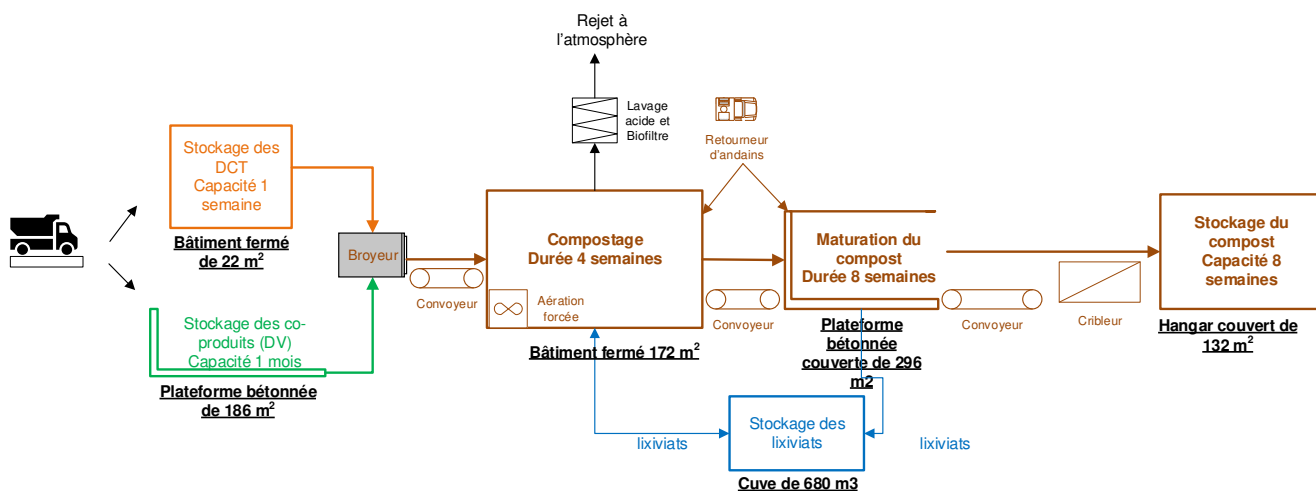


Figure 7 : Synoptique du site de compostage industriel considéré

Le tableau 6 présente le dimensionnement basé sur l'audit plateformes compostage 2007 et sur des données de dimensionnement de plateformes existantes (Cabourg (14), Arvor Comport (56)).



Type	Matière	Quantité / volume	Durée de vie (années)	Processus de la BDD ecoinvent v3.5	Quantité appelée dans inventaire	Commentaires
Occupation au sol				Occupation, industrial area	30 000 m ²	
Transformation de l'espace				Transformation, from industrial area	1000 m ²	
				Transformation, to industrial area	1000 m ²	
Plateforme bétonnée (stockage coproduit, maturation et stockage compost)	Béton	49 m ³	30	Concrete, sole plate and foundation {CH} market for APOS	49 m ³	Hypothèse durée de vie basée sur Agri-balyse® et fin de vie basée sur « Waste reinforced concrete {CH} market for waste reinforced concrete APOS »
Bâtiment stockage DCT		19 m ³			19 m ³	
Bâtiment fermentation aération forcée		30 m ³			30 m ³	
Cuve de stockage lixiviats		123 m ³			123 m ³	
Bio filtre		2 m ³			2 m ³	
Pont bascule	Acier	2 t	10	Steel, unalloyed {GLO} market for APOS	3	Fin de vie « Waste reinforcement steel {RoW} market for waste reinforcement steel APOS »
Broyeur	Acier	20,1 t	10	General machinery, without tires, LT 8,000h production/FR/I U	3	Ce processus prend en compte la fin de vie de l'équipement
Convoyeurs	Acier et caoutchouc	6 m	10	Conveyor belt {RER} production APOS, S	18 m	
Retourneur d'andains	Acier	16 t	10	General machinery, with tires, LT 2,500-5,000h production/FR/I U	3	
Cribleur	Acier	22 t	10	General machinery, without tires, LT 8,000h production/FR/I U	3	
Ventilateurs	Acier		NC	High-extraction mechanical ventilation adapted for compost platform MODIF	30 000 m ²	
Bio filtre	Copeaux de bois	15 m ³	5 ans	Wood chips, wet, measured as dry mass {Europe without Switzerland} market for APOS	15 m ³	D'après fiche technique ADEME sur dimensionnement d'un biofiltre, devis CMI obtenu sur un projet accompagné par S3D et exemple de dimensionnement dans le cadre d'un projet porté par des étudiants de l'ENSEEIH ⁹

Tableau 6 : Inventaire pris en compte pour la plateforme de compostage industriel d'une durée de vie de 30 ans

N.B : D'après (ADEME, 2007a), toutes les plateformes avec compostage en enceinte fermée et aération forcée sont équipées d'un lavage acide et d'un bio filtre pour le traitement de l'air issu du bâtiment de compostage. La capacité du bio filtre a été estimée en s'appuyant sur les volumes d'air à traiter dans une enceinte fermée de 30 m³ contenant les biodéchets en cours de compostage (volume d'air estimé inférieur ou égal à 15 m³) avec un renouvellement de l'air 4 fois par heure et en croisant les données présentées dans les trois sources mentionnées ci-dessus.

Les données d'entrée pour le dimensionnement de la plateforme sont les suivantes :

- Capacité de stockage des déchets verts sur plateforme bétonnée : 1 mois
- Capacité de stockage des DCT en bâtiment fermé : 1 semaine
- Durée de compostage en enceinte fermée avec aération forcée : 4 semaines
- Durée de maturation sur plateforme bétonnée couverte : 8 semaines
- Capacité de stockage du compost en hangar couvert : 8 semaines
- Production de lixiviats : 238 m³/1000 t entrante

⁹ <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2251>



Le temps de compostage et de maturation ainsi que le volume du bassin de traitement des lixiviats s'appuient sur les résultats de l'audit des plateformes de compostage (ADEME, 2007a) pour les plateformes de compostage de DCT en enceinte fermée avec aération forcée. Les temps de stockage des coproduits et du compost ont été dimensionnés sur la base de retours d'expérience sur des sites existants.

Les matériaux et poids des équipements ont été déterminés sur la base du modèle de la plateforme de compostage du Smédar, située à Saint-Jean du Cardonnay (<https://www.smedar.fr/equipements-compostage.html>) avec :

- Un pont bascule : acier longueur 8 m
- Un broyeur modèle Crambo 5000 : 20,1 t d'acier (<http://www.hantsch.fr/broyeur-lent-bi-rotor-komptech-de-type-crambo-5000/>)
- Des convoyeurs : acier + caoutchouc (tapis)
- Des retourneurs 16 t d'acier : TOPTURN X53 (<https://www.komptech.com/en/products-komptech/pdetails/topturn-x55.html>)
- Un cribleur modèle SM 1200 : 22 t d'acier (<https://docplayer.fr/3147171-Series-sm-cribles-cribles-a-trommels-sm-414-sm-414-k-sm-518-sm-620-sm-620-k-sm-720-crible-a-etoiles-sm-1200-we-care.html>)

4.2.3. Processus de compostage – Consommations d'énergie

Aucune consommation d'énergie n'a été considérée pour les procédés compostage domestique et partagé (opérations manuelles).

Pour le compostage industriel (tableau 7), les consommations moyennes d'électricité et de diesel pour les sites de compostage avec aération forcée en bâtiments ont été fixées d'après les résultats de l'audit de plateformes de compostage (ADEME, 2007a) :

Consommation d'énergie sur plateforme		Processus ecoinvent v3.5
Unité	kWh /tonne MB déchets entrants (35% DCT 32,5% DV 32,5% DVs)	
Électricité	47	Electricity, medium voltage {FR} market for APOS
Gazole	27,8	Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland}

Tableau 7 : Consommation d'énergie sur la plateforme de compostage industriel

4.2.4. Processus de compostage – Consommation d'eau

Etat de l'art

D'après (ADEME, 2012a), en compostage domestique, 50% des cas référencés n'arrosent jamais leur compost (139 cas sur 274). L'arrosage est moins fréquent dans le Nord que dans le Sud : 65% des habitants dans les collectivités du Nord n'arrosent jamais alors que ça n'est le cas que pour 23% des habitants dans les collectivités du Sud.

La consommation d'eau potable pour les compostages domestique et partagé s'élève à 51,8 l/t MB d'intrants d'après (Martinez-Blanco, 2013)

La consommation d'eau pour le compostage industriel s'élève à 426,8 l/t MB DCT d'après (Martinez-Blanco, 2010), avec 80% sous forme d'eau potable et 20% sous forme d'eau de pluie.

Pour cette publication les données du système de compostage à domicile ont été obtenues à partir d'un composteur expérimental contrôlé et géré par les auteurs de la publication et situé à l'Universitat Autònoma de Barcelona (Barcelona, Espagne) en suivant les pratiques recommandées par certaines autorités locales catalanes (Agence catalane des déchets, 2008). En ce qui concerne le compostage industriel, les données ont été obtenues dans le cadre d'un projet de compostage industriel situé dans la province de Barcelone (Espagne).



Cette plateforme de compostage a été choisie parce que son état d'équilibre, ses caractéristiques techniques et environnementales adéquates et parce qu'elle génère un compost d'une qualité agronomique dans le cadre de la réglementation en Espagne.

Données retenues pour l'ACV (tableau 8)

L'hypothèse retenue est que 50% des foyers apportent de l'eau au composteur, pour cela nous nous appuyons sur la publication de (ADEME, 2012a).

	Consommation d'eau de (Martinez-Blanco, 2013)	Consommation d'eau retenue pour cette ACV
Compostage domestique et partagé	52 l/t MB Déchets entrants	50% des foyers arrosent leur compost soit 26 l d'eau potable /t MB d'intrants*
Compostage industriel	427 l/t MB Déchets entrants	427 litres dont 80% d'eau potable soit 342 l d'eau potable /t MB Déchets entrants*

* Ces flux sont attribués en fonction des tonnages bruts entrants : en compostage domestique, partagé et industriel (50% des DV structurants), les DCT représentent respectivement 50%, 67% et 52% de la matière brute des intrants.

Tableau 8 : Quantité d'eau prise en compte pour le compostage

4.2.5. Processus de compostage – Émissions gazeuses

Etat de l'art

Les données sur les émissions liées au compostage dans la bibliographie sont nombreuses mais très disparates et s'appuient sur des expérimentations avec des modalités diverses. Pour le compostage domestique, l'étude (APESA, 2015) indique des niveaux d'émissions variables selon les modalités testées s'élevant de 7,22 à 3,52 kg d'équivalent CO₂ par tonne de matière brute de biodéchets compostés suivant le taux d'émission de CH₄ lors du compostage.

Le programme de recherche (ADEME, 2012c) présente quant à lui une synthèse des données existantes et une gamme de valeurs pour les émissions de CO₂, de COV, de N₂O, de NH₃ et de CH₄, qui se révèlent disparates et très variables dans la bibliographie.

Le tableau présente un résumé des informations sur les émissions dans l'air issues de plusieurs publications :

Source	Émissions C-CO ₂ (%C intrant)	Émissions N-N ₂ O (%N intrant)	Émissions N-NH ₃ (%N intrant)
(Hellenbrand, 1998)	81 %	0,5%	1,2 %
(Adhikari, 2013)	78 %	1,9 %	0 %
(Andersen, 2010b)	32,1 %	1 %	0 %
(Andersen, 2011)	55 %	2,8%	0 %
(Andersen, 2012)	51-95 %	3-6 %	0 %
(ADEME, 2012c) (biodéchets)	35 %	0,01 %	-
(ADEME, 2012c) (déchets verts)	71 %	0,06 %	-

Tableau 9 : Extraits de références sur les émissions dans l'air lors du compostage domestique

Les données du tableau 9 sont les résultats de mesures effectuées sur les périodes précisées ci-dessous (quand l'information est disponible), et ont été ramenées par tonne de MS de DCT en entrée en considérant que les émissions étaient constantes sur toute la période expérimentale :

- Pour (Andersen, 2010b), les flux concernent les émissions issues de six composteurs sur une période d'un an.
- Pour (Adhikari, 2013), les flux concernent les émissions issues de quatre composteurs. Les mesures ont été effectuées sur une période de 150 jours.

Par ailleurs, des mesures de CH₄, COV, NH₃ et N₂O ont été effectuées pour huit modalités différentes de compostage dans le cadre de l'étude (APESA, 2015). Les modalités avec compostage en bac fermé sont les modalités 5, 6 et 8 (valeurs en mg/kg de biodéchets introduits p.156-157 du rapport partie A, présentés ci-



dessous (tableau 10) en kg/t MS en prenant en compte un taux de MS de 17% pour les biodéchets et pour la valeur moyenne sur quatre campagnes de prélèvement). Des mesures ont été effectuées pour déterminer les émissions globales (COV et CH₄ « croisière ») ainsi que les émissions associées à des retournements pour le COV et le CH₄. Les valeurs obtenues pour les retournements sont cependant inexploitable car extrêmement variables. A noter que les valeurs constatées lors des expérimentations menées par l'APESA sont inférieures à celles prises en compte dans (ADEME, 2009b) :

Kg/t MS	COV totaux croisière	CH ₄ croisière	NH ₃	N ₂ O
Modalité 5	15,0	10,0	<5,3	<13,6
Modalité 6	15,0	10,0	<3,1	<8,7
Modalité 8	18,5	12,4	<7,1	<18,4
Remarques			Inférieures aux seuils de détection (<1 ppm lors des mesures soit 5,3 µg/min/m ² pour NH ₃ et 13,7 µg/min/m ² pour N ₂ O)	

Tableau 10 : Emissions sur les modalités avec compostage en bac fermé (APESA, 2015)

Données sources analysées pour construire l'inventaire

Les données suivantes sont disponibles dans l'étude (APESA, 2015) :

- Composition des DCT pour la modalité 6 (déchets de table sans viande et poisson) et pour la modalité 8 (déchets de table avec viande et poisson) (Tableau 11) ;
- Composition du compost obtenu par compostage de DCT seuls de la modalité 6 (Tableau 12),
- Quantification des émissions dans l'air liées au compostage de la modalité 6 (Tableau 13) ;
- Quantification des éléments traces métalliques (ETM) dans les composts issus de la modalité 6 (Tableau 12)

La modalité 8 correspond en effet au type de DCT analysé dans la présente étude, contenant de la viande et du poisson. Cependant, il n'était pas pertinent d'utiliser la composition du compost et les émissions mesurées pour cette modalité, dans la mesure où le compostage a été réalisé en mélange avec des déchets verts. Les DCT de la modalité 6 en revanche ont été compostés seuls, ce qui permet d'isoler la composition du compost et les émissions associées dus uniquement aux DCT.

	Unité	Modalité 8	Modalité 6
		DCT viande poisson	DCT sans viande poisson
MS	%	22,0%	19,0%
Humidité	%	79,0%	81,0%
Matières minérales	%MS	20,0%	18,0%
MO	%MS	80,0%	82,0%
Carbone organique	%MS	40,0%	45,0%
N Kjeldahl	N %MS	2,7%	1,9%
N ammoniacal	N %MS	0,2%	0,1%
N organique	N %MS	2,5%	1,7%
C/N	-	15,2	14,7
P	P ₂ O ₅ %MS	0,6%	0,6%
K	K ₂ O %MS	1,9%	1,9%
Ca	CaO %MS	4,9%	2,4%
Mg	MgO %MS	0,2%	0,3%
S	SO ₃ %MS	0,6%	0,5%
Na	Na ₂ O %MS	0,4%	0,1%
Inertes	% MS	0,0%	0,0%

Tableau 11 : Composition des DCT utilisées selon les modalités de compostage (APESA, 2015)



Composition du compost		Unité	Modalité 6
			DCT, jamais brassés (bac)
MS		%	42,0%
Humidité		%	59,0%
Matières minérales		%MS	42,0%
MO		%MS	58,0%
Carbone organique		%MS	26,0%
N Kjeldahl		N %MS	2,0%
N ammoniacal		N %MS	-
N nitrique		N-kg/t MS	632,0
N uréique		N %MS	-
N organique		N %MS	-
N total		N %MS	1,0%
C/N		-	12,0
P		P ₂ O ₅ %MS	1,0%
K		K ₂ O %MS	2,0%
Ca		CaO %MS	2,0%
Mg		MgO %MS	1,0%
S		SO ₃ %MS	1,0%
Na		Na ₂ O %MS	0%
Inertes		% MS	0%
ETM	Cd	kg/t MS	4,0E-04
	Cr	kg/t MS	1,1E-02
	Cu	kg/t MS	4,3E-02
	Hg	kg/t MS	2,0E-04
	Ni	kg/t MS	6,9E-03
	Pb	kg/t MS	2,3E-02
	Zn	kg/t MS	1,1E-02

Emissions dans l'air	Unité	Modalité 6
COV	kg COV/t MS	1,4E-01
CH ₄	kg CH ₄ /t MS	9,1E-02
NH ₃	kg NH ₃ /t MS	2,5E-03
N ₂ O	kg NO ₂ /t MS	1,3
CH ₄	kg CH ₄ /t MS	1,8E-01
CO ₂	kg CO ₂ /t MS	396,0

Tableau 12 : Composition des composts (incluant les ETM) et quantification des émissions dans l'air pour différentes modalités de compostage, utilisées dans la construction des ICV des différents scénarios (APESA, 2015)

Ainsi, dans un premier temps, il a été possible de recalculer les facteurs d'émissions dans l'air (CO₂ et CH₄) et de réaliser un bilan matière sur la modalité 6 entre le déchet en entrée, le compost produit (incluant les ETM) et les émissions dans l'air. Ces facteurs d'émissions ont ensuite été appliqués à la modalité 8 (composition du déchet en entrée) pour établir le bilan matière, estimer la composition du compost en sortie (incluant les ETM) ainsi qu'estimer les émissions dans l'air pour un compostage de DCT contenant de la viande et du poisson.

En ce qui concerne les émissions dans l'air de N₂O et NH₃, celles-ci n'étant pas disponibles dans l'étude (APESA, 2015), des experts ont été consultés (Anne Trémier et Amaury De Guardia, INRAE) et il a été choisi de modéliser ces émissions sur la base des publications (Rincon, 2019) pour le NH₃ et (Adhikari, 2013) et (Andersen, 2012) pour le N₂O. L'ensemble des facteurs d'émissions dans l'air et le compost est décrit dans le Tableau 13 ci-dessous.

Emissions	Unité	Valeur	Compartiment	Source
NH ₃	kg NH ₃ /t MB DCT	6,9E-04	Air	Rincon, 2019
N ₂ O	kg N ₂ O/t MB DCT	3,6E-01		Adhikari, 2013 Andersen, 2012
CH ₄	kg CH ₄ /t MB DCT	2,2E-02		Apesa, 2015
CO ₂	kg CO ₂ /t MB DCT	109,6		Apesa, 2015
COV	kg COV/t MB DCT	4,9E-02		Apesa, 2015
Cd	kg/t MB DCT	1,2E-04	Compost	Apesa, 2015
Cr	kg/t MB DCT	3,3E-03		Apesa, 2015
Cu	kg/t MB DCT	1,3E-02		Apesa, 2015
Hg	kg/t MB DCT	6,1E-05		Apesa, 2015
Ni	kg/t MB DCT	2,1E-03		Apesa, 2015
Pb	kg/t MB DCT	6,9E-03		Apesa, 2015
Zn	kg/t MB DCT	3,5E-03		Apesa, 2015

Tableau 13 : Facteurs d'émission dans l'air lors du compostage de DCT et teneur en ETM du compost

Données utilisées dans l'inventaire

Le manque de donnée n'a pas permis de réaliser une distinction sur les facteurs d'émission entre les différentes filières de compostage.

Il n'a pas été possible, par manque de données, d'identifier les facteurs d'émission issus du mélange des DCT et des DV lors du compostage. Les DV ont été seulement pris en compte pour allouer les infrastructures.

Les ICV utilisés dans la modélisation pour les différents scénarios sont décrits ci-dessous (Tableau 14) :



	Déchets	Unité	Valeurs retenues
COMPOSITION DU DCT	MS	%	22,0%
	Humidité	%	79,0%
	Matières minérales	%MS	20,0%
	MO	%MS	80,0%
	Carbone organique	%MS	40,0%
	N Kjeldahl	kg N/tMB DCT	2,7%
	N organique	kg N/tMB DCT	0,2%
	C/N	-	15,2%
	P-P ₂ O ₅	kg P/tMB DCT	0,6%
	K-K ₂ O	kg K/tMB DCT	1,9%
	Ca-CaO	kg Ca/tMB DCT	4,9%
	Mg-MgO	kg Mg/tMB DCT	0,2%
	S-SO ₃	kg S/tMB DCT	0,6%
	Na-Na ₂ O	kg Na/tMB DCT	0,4%
	Inertes	-	0%
COMPOSITION DU COMPOST DE DCT	Quantité compost	kg/tMB DCT	590,0
	MS	%	48,0%
	Carbone organique	C %MS	23,0%
	N total	N %MS	1,0%
	Cd	kg/t MB DCT	1,2E-04
	Cr	kg/t MB DCT	3,3E-03
	Cu	kg/t MB DCT	1,3E-02
	Hg	kg/t MB DCT	6,1E-05
	Ni	kg/t MB DCT	2,1E-03
	Pb	kg/t MB DCT	6,9E-03
	Zn	kg/t MB DCT	3,5E-03
EMISSIONS DANS L'AIR	NH ₃	kg NH ₃ /t MB DCT	6,9E-04
	N ₂ O	kg N ₂ O/t MB DCT	3,6E-01
	CH ₄	kg CH ₄ /t MB DCT	2,2E-02
	CO ₂	kg CO ₂ /t MB DCT	110,0
	COV	kg COV/t MB DCT	4,9E-02

Tableau 14 : ICV utilisés dans la modélisation pour les différents scénarios

4.2.6. Processus de compostage – Emissions dans l'eau

D'après l'étude sur les impacts sanitaires et environnementaux du compostage domestique (APESA, 2015), seul (Andersen, 2011) fournit des informations concernant les rejets liquides, en précisant bien que c'est l'ajout important de DCT (53 kg par semaine) qui est responsable de la présence de lixiviat (un compostage bien géré ne générant pas ou très peu de lixiviats).

Cependant, les autres références utilisées pour la collecte de données, notamment (Adhikari, 2013) et (APESA, 2015) ne font pas état de production de lixiviat. **Ainsi il n'a pas été considéré de production de lixiviats durant le compostage et donc aucun rejet liquide dû au compostage dans cette ACV.**

4.2.7. Apport au sol du compost (opérations)

Transport et opération d'épandage (compost industriel uniquement)

En compostage domestique et partagé, on considère que le compost est utilisé dans les jardins ou espaces verts sans transport ni consommation de carburant liés à l'épandage.

En compostage industriel :

Le compost est considéré comme épandu pour moitié en agriculture et pour moitié sur les espaces verts des collectivités. En effet, d'après l'audit des plateformes de compostage (ADEME 2007), les filières pour l'écoulement du compost issu de plateformes traitant des DCT des ménages est à 46% pour l'agriculture, 47% pour les collectivités et les ménages et 8% pour les entreprises.

Cité dans le rapport (ADEME, 2007b) réalisé par SOGREAH pour le compte de l'ADEME – l'étude « Les débouchés des composts en France » (AND International, 2005) – l'analyse fine des débouchés sur six départements français montre que pour l'ensemble des composts, plus de 82% des volumes totaux sont épandus sur terres agricoles (dont près de 70% en grandes cultures).

Le faible prix des composts rend le transport au-delà de 100 km peu rentable (Rapport final ESCo Mafor, 2014), sauf en cas de demande forte (Delgado, 2009). Selon (Delgado, 2009), en moyenne le compost est généralement transporté dans un rayon inférieur à 50 km. Selon (ADEME, 2007b), la distance moyenne de commercialisation en 2001 était généralement inférieure à 40 km. **Une distance de transport de 40 km a été retenue** (Rapport final ESCo Mafor, 2014; ADEME, 2007b). Au champ, un épandage à raison de 20 t/ha à l'aide d'un tracteur équipé d'un épandeur à fumier a été retenu (tableau 15).

Processus de la BDD			
Transport du site de production au champ	Nombre de km par mode	40	
	Type de transport	Route - Camion	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 APOS
Epandage	Quantité épandue /ha	20 t/ha	Débit chantier de l'équipement retenu : 1,5 heure/ha (source AGB)
	Equipement d'épandage	Tracteur	Transporting to farm, with 2 axle trailer (15 t)/FR U
		Chargement et épandage fumier/compost, avec épandeur de fumier 5t	Fertilizing, solid manure or compost (charging and spreading), with frontal bucket and 5t spreader/FR

Tableau 15 : Caractéristiques du transport et épandage pour le compost industriel

4.2.8. Valorisation des flux sortants

Composition du compost

Etat de l'art

Le compost issu des trois filières est considéré conforme à la norme NF 44051. Cette norme fixe le taux de matière organique qui doit être supérieur à 20 % de la matière brute (MB). Les teneurs en N, P₂O₅ et K₂O sont à l'inverse limitées : elles doivent être inférieures à 3 % de la MB par élément.

Nous prenons comme hypothèse un compost dont les caractéristiques sont issues du bilan matière présenté plus haut et sont synthétisées dans le tableau 16 :



	Unité	Valeur	Devenir
MS	%	48,0%	
Carbone organique	%MS	23,0%	Cf. chapitre <i>Séquestration de carbone dans le sol grâce à l'application de compost</i>
	kg C/t MS compost	230,0	
	kg C/t brut compost	110,0	
N total	N %MS	1,4%	
	kg N/t MS compost	13,6	
	kg N/t brut compost	6,5	
Cd	kg/t MS compost	4,4E-04	Cf. chapitre <i>Emissions au sol</i>
	kg/t MB DCT	1,2E-04	
Cr	kg/t MS compost	1,2E-02	
	kg/t MB DCT	3,3E-03	
Cu	kg/t MS compost	4,7E-02	
	kg/t MB DCT	1,3E-02	
Hg	kg/t MS compost	2,2E-04	
	kg/t MB DCT	6,1E-05	
Ni	kg/t MS compost	7,6E-03	
	kg/t MB DCT	2,1E-03	
Pb	kg/t MS compost	2,5E-02	
	kg/t MB DCT	6,9E-03	
Zn	kg/t MS compost	1,2E-02	
	kg/t MB DCT	3,5E-03	

Tableau 16 : Composition des composts (incluant les ETM) et quantification des quantités de carbone stockées dans les sols pour différentes modalités de compostage, utilisées dans la construction des ICV des différents scénarios (APESA, 2015)

Emissions lors de l'application au sol

A partir du bilan des flux sortants et des caractéristiques du résidu organique épandu, les émissions d'azote lors de la valorisation au sol du compost ont été modélisées à partir de l'outil (Brockmann, 2018) issu de la publication (Brockmann, 2018), où des bonnes pratiques d'épandage ont été prises en compte dans le contexte géographique français (annexe 7.2).

Les valeurs d'émissions azotées prises en compte pour les trois composts figurent ci-dessous (tableau 17) :

	Unité	Valeur	Compartiment d'émission
Rendement	t MB de compost sortante /t DCT entrants	0,6	
Total N	kg/t MB sortante	6,5	
Azote ammoniacal	kg/t MB sortante	0,7	
Organic nitrogen content	kg/t MB sortante	5,8	
Emissions	kg N-NH ₃ /t compost	0,5	Air
	kg NH₃ /t compost	0,6	
	kg N-NO ₃ ⁻ /t compost	1,4	Eau
	kg NO₃⁻ /t compost	6,1	
	kg N-N ₂ O /t compost	0,1	Air
	kg N₂O /t compost	0,1	
	kg N-NO_x (as NO₂) /t compost	0,1	
	kg NO _x (as NO ₂) /t compost	0,2	

Tableau 17 : Valeurs d'émissions azotées prises en compte pour l'épandage des composts



Concernant le phosphore, le modèle Salca (cf. § 4.3.9) appliqué aux émissions de phosphore générées par l'épandage de compost donne une valeur nulle pour les émissions de phosphore (phosphore ruisselé (PR) et phosphore lixivié (PL)).

Pour les éléments traces métalliques (ETM, tableau 18), il est recommandé de considérer que 100% des ETM présents dans les matières organiques sont dans les sols agricoles à l'issue d l'épandage (Nemecek et Kagi, 2007).

Substances	Unité	Valeur	Compartiment d'émission
Cd	kg/t MS compost	4,4E-04	Sol agricole
	kg/t MB DCT	1,2E-04	
Cr	kg/t MS compost	1,2E-02	
	kg/t MB DCT	3,3E-03	
Cu	kg/t MS compost	4,7E-02	
	kg/t MB DCT	1,3E-02	
Hg	kg/t MS compost	2,2E-04	
	kg/t MB DCT	6,1E-05	
Ni	kg/t MS compost	7,6E-03	
	kg/t MB DCT	2,1E-03	
Pb	kg/t MS compost	2,5E-02	
	kg/t MB DCT	6,9E-03	
Zn	kg/t MS compost	1,2E-02	
	kg/t MB DCT	3,5E-03	

Tableau 18 : Valeurs d'émissions ETM prises en compte lors de l'épandage des composts

Valorisation du compost industriel comme support de culture

On considère pour le compost industriel qu'il est utilisé comme support de culture. La modélisation se base sur l'hypothèse (ADEME, 2009b) & (APESA, 2015) :

- Substitution du compost à de la tourbe avec un ratio de 1 : 1 en volume.
- Un taux de 100% de substitution de la tourbe (taux maximisé car les pratiques des utilisateurs sont très aléatoires).

Ce scénario engendre un évitement de production de tourbe calculé sur la base d'une densité de la tourbe de 100 kg/m³ et d'une densité de compost de 650 kg/m³. Cela signifie qu'il faut utiliser une tonne de compost soit 1,53 m³ de compost pour remplacer 1,54 m³ de tourbe soit 0,15 tonne de tourbe.

La prise en compte des impacts de production de tourbe évitée se base sur le processus unitaire de la base de données d'ACV ecoinvent v3.5 : « *Peat moss {RoW}/ peat moss production, horticultural use / APOS* » qui correspond à une tourbe blonde.

Séquestration de carbone dans le sol grâce à l'application de compost

Selon (Boldrin, 2009), les composts contiennent de la matière organique, qui peut être qualifiée de matière organique facilement dégradable, lentement dégradable, ou stable. Lorsque de la matière organique dégradable est oxydée, du CO₂ est émis dans l'atmosphère. La matière organique stable a un turnover de 100 à 1000 ans et donc une fraction de carbone qui est stockée dans le sol pendant de longues périodes (AEA Technology, 2001) (Favoino, 2008). Ce carbone stocké peut être considéré comme un puits de CO₂ et il peut être crédité comme une émission de CO₂ évitée par ce système de gestion du compost (Favoino, 2008).

L'horizon temporel utilisé dans l'évaluation joue donc un rôle crucial dans l'estimation des bénéfices de la séquestration du carbone. Un horizon temporel de 100 ans est considéré comme le plus pertinent pour estimer les impacts sur le changement climatique (Favoino, 2008).

Une grande variabilité a été constatée par (Martinez-Blanco, 2013) dans les valeurs rapportées pour le C stocké dans le sol, très probablement en raison de l'effet synergique des différents facteurs environnementaux et spécifiques du sol ce qui signifie que les estimations de % de C stocké devraient être effectuées au cas par cas.



Dans notre étude qui se veut générale nous ne nous sommes pas placés dans une localité géographique et un sol spécifique ce qui rend cet exercice de précision impossible.

Selon (Martinez-Blanco, 2013), des taux de séquestration du carbone se révèlent plus élevés à court terme (jusqu'à 40 % du C appliqué) et diminuent à l'horizon 100 ans : 2 à 16% du carbone appliqué.

(Boldrin, 2009) propose une formule de calcul pour évaluer le puits de carbone généré par l'épandage de compost. Si $C_{compost}$ (kg) est la teneur en carbone du compost et $\%C_{stable}$ est la fraction de C qui est « stable », alors le puits de CO_2 ($CO_{2,puits}$, en kg) peut être calculé comme suit :

$$CO_{2,puits} = C_{compost} \times \%C_{stable} \times \frac{44}{12}$$

Le tableau 19 résume les valeurs de carbone stocké dans le compost, calculées avec cette formule.

Compost				Unit
C_{compost}	110			kg C/t MB compost
	moy	min	max	
%C_{stable}	9%	2%	16%	
C_{puits}	10	2	18	kg/t MB compost
CO_{2, puits} *	36	8	64	kg/t .MB compost

* Flux considéré pour le stockage : Emissions vers le sol : « Carbon dioxide, to soil or biomass stock »

Tableau 19 : Calcul du stockage de carbone dans le sol par le compost pris en compte dans l'ICV

4.2.9. Diagramme de flux pour les filières compostage

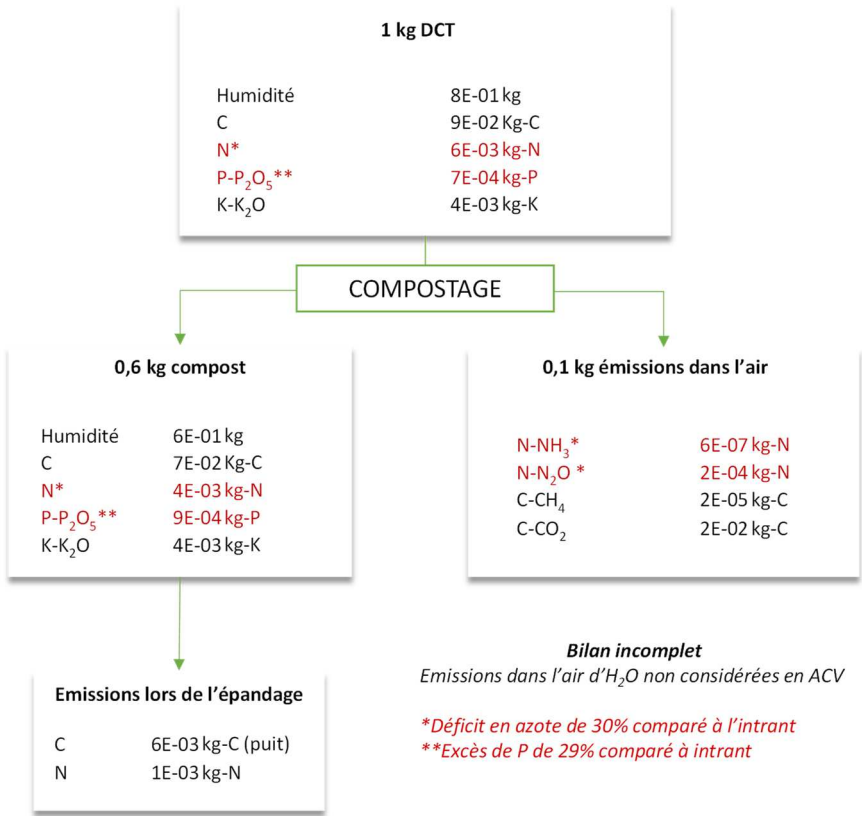


Figure 8 : Bilan massique des flux pour les filières de compostage

Le bilan est équilibré concernant le carbone même si les émissions de C-CO₂ après l'épandage ne sont pas présentées sur ce schéma (seule la séquestration y est mentionnée). Le bilan (figure 8) n'est pas équilibré



concernant l'eau, l'azote, et le phosphore. On remarque un déficit pour l'eau de 25%, mais sans conséquence sur les résultats car les émissions de vapeur d'eau dans l'air ne sont pas comptabilisées en ACV. En ce qui concerne l'azote, on remarque un déficit de 30% entre l'intrant et les produits. Pour le phosphore, un surplus de 29% apparaît dans le compost par rapport aux DCT. Il faut rappeler ici que ce bilan est le résultat d'un croisement de plusieurs sources de données :

- L'étude expérimentale APESA pour la composition du déchet en entrée et du compost en sortie, ainsi que des émissions de carbone sous forme CH_4 et CO_2 ;
- La publication (Rincon 2019) pour les émissions d'azote sous forme de NH_3
- Les publications (Andersen 2012) et (Adhikari 2013) pour les émissions d'azote sous forme N_2O .

Dès lors, le bouclage d'un bilan matière dont les valeurs sont issues de différentes sources de données est un exercice complexe. De plus, les émissions de N_2 , qui ne sont généralement pas comptabilisées ou mesurées car sans impact sur l'environnement, peuvent expliquer cet écart pour le bilan des formes azotées.

Emissions dans l'air au compostage :

L'ensemble des publications étudiées s'accordent sur un taux d'émission inférieur à 1% de N sous forme de N- NH_3 par rapport à la quantité d'azote initiale du déchet. La valeur utilisée est ici de 0,2%.

En ce qui concerne les émissions de N_2O , les deux publications utilisées aboutissent à des résultats légèrement différents : entre 1 et 2% d'émissions d'azote sous forme de N- N_2O par rapport à l'azote initial contenu dans les déchets pour Adhikari (2013) contre 3 à 6 % pour Andersen (2013). Ainsi, une valeur moyenne de 3% a été retenue pour l'inventaire, mais celle-ci peut varier en théorie entre 1 et 6%, ce qui ne peut vraisemblablement pas couvrir les 30% de déficit du bilan matière. C'est bien les émissions de N_2 non prises en compte au cours du compostage qui peuvent expliquer cet écart.

Azote contenu dans le compost :

Il est donc possible que le contenu azoté du compost ait été sous-estimé. Dans l'étude APESA retenue comme source de données, les mesures d'émissions azotée ne sont pas disponibles, il est donc impossible de savoir si le bilan en azote est équilibré et c'est un premier biais. Un second biais réside également dans le fait que les bilans en entrée et en sortie sont calculés sur une moyenne de quatre valeurs et non en associant réellement le bon entrant au bon sortant, et les données sont peu reproductibles. Il en résulte de manière attendue que les données présentées montrent pour certaines modalités un déficit ou un surplus d'azote en sortie dans le compost par rapport aux déchets, parfois avec une différence supérieure à 30%. Cette incertitude peut se répercuter sur le bilan de la présente étude.

Emissions lors de l'épandage :

Les émissions lors de l'épandage sont calculées à partir de la composition de compost issue de la bibliographie. La séquestration du carbone conduit à une émission négative de carbone (puits) dans les sols. L'azote est émis vers l'air sous deux principales formes (NH_3 et N_2O), les méthodes de calcul présentant le même biais que pour les émissions lors du compostage concernant le N_2 . L'azote est également émis vers l'eau sous forme de nitrate, ce qui représente la principale perte d'azote à cette étape.

Conclusion :

Il est donc possible que les émissions lors du compostage en N_2O soient sous estimées de l'ordre de quelques pourcents, mais cela a fait l'objet d'une étude de sensibilité. De plus au regard des valeurs de la littérature, une erreur sur les émissions d'azote vers l'air sous forme de N_2O et de N_2 seules lors du compostage n'expliquerait pas complètement le déficit de bilan. Il est donc probable que la composition en azote du compost soit sous-estimée. La majorité du carbone et des nutriments (P_2O_5 , K_2O) contenus dans le compost épandu sont stockés dans les sols ou absorbés par les plantes.

4.3. Méthanisation

4.3.1. Intrants et collecte



Quantités de DCT prises en compte

Les quantités de DCT associées à chaque scénario ont été fixées à partir des dimensionnements suivants :

- Tonnage total traité (tous intrants confondus) de 15 000 t MB/an pour une unité de méthanisation à la ferme et de 40 000 t MB/an pour une unité centralisée
- Proportion de DCT des ménages de 15% fixée dans le cahier des charges de l'étude quel que soit le type de méthanisation

Les tonnages traités et débits de production ont été fixés par le comité de pilotage de l'étude sur la base de l'expertise de l'ADEME et de S3D.

Proportion des intrants

Des simulations de production avec un mix d'intrants respectant les proportions fixées dans le cahier des charges de l'étude ont permis de vérifier l'adéquation des tonnages avec les débits de production fixés. La digestion anaérobie est fonction du mix entrant et dans ce sens le choix des intrants influence le dimensionnement des installations.

La proportion de chaque typologie d'intrant était définie comme suit dans le cahier des charges de l'étude (figure 9) :

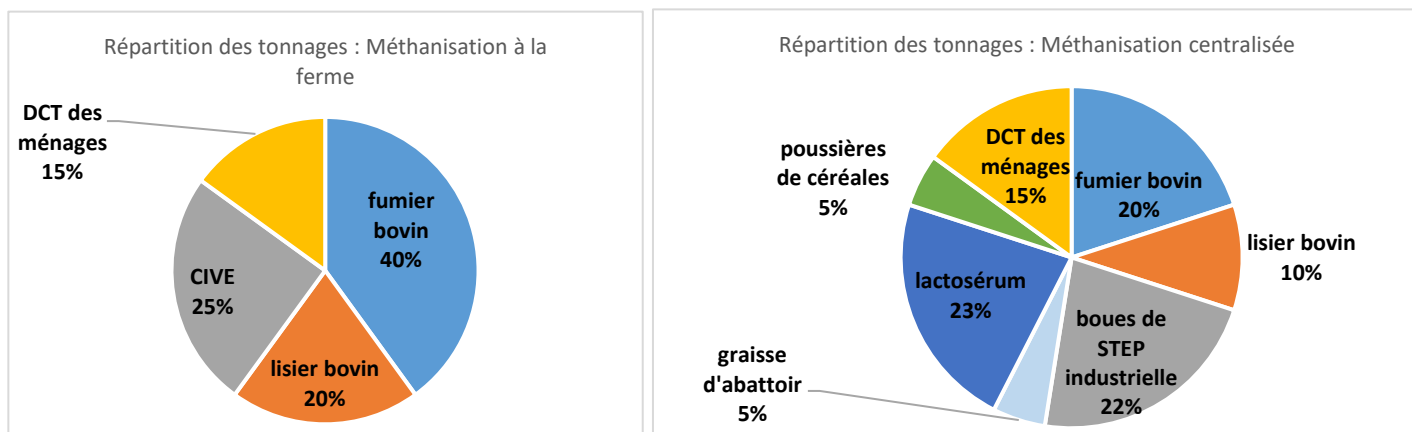


Figure 9 : Répartition des intrants pour les deux filières de méthanisation

La composition retenue pour les différents déchets traités par méthanisation s'appuie sur des données de composition validées par l'ADEME.

Distances de collecte

Les distances de transport des intrants ont été fixées en comité de pilotage à 10 km pour la méthanisation à la ferme et 35 km pour la méthanisation centralisée. Le processus de la base de données ecoinvent v3.5 utilisé pour modéliser le transport est « *Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 | APOS* ».

A noter que les distances de transport des autres intrants ne sont pas prises en compte dans l'ACV : en effet, le système ne prend en compte que le périmètre en lien avec les DCT.

4.3.2. Infrastructures et équipements

Un dimensionnement des installations de méthanisation a été effectué avec l'outil de dimensionnement développé par S3D dans le cadre de son activité d'accompagnement de projets de méthanisation.

Les données d'entrée pour le bilan matière et le dimensionnement des cuves sont les suivantes :

- Charge organique dans le digesteur de 3 kg MO/m³.jr, et temps de rétention hydraulique (TRH) de 70 jours (digesteur + post-digesteur)
- Taux de MS cible pour le mélange à hygiéniser fixé à 12% (nécessaire pour permettre le broyage) et pour le mélange en entrée de digesteur à 16% (nécessaire pour le fonctionnement des pompes et agitateurs pour des systèmes courants en voie liquide infiniment mélangée : ces critères permettent de déterminer les quantités de digestat à recirculer pour permettre un fonctionnement du procédé dans de bonnes conditions)

- Séparation de phase du digestat par presse à vis avec un taux de MS cible du digestat solide de 25% et du digestat liquide de 7%
- Hauteur de cuves (de digestion et de stockage digestat liquide) : 6 m
- Epaisseur mur de cuves : 0,24 m
- Hauteur de radier de cuves : 0,15 m
- Profondeur fondation de cuves : 1 m
- Temps de stockage du digestat liquide : 6 mois en cuve de stockage
- Hauteur mur silos de stockage culture : 4 m
- Epaisseur mur silos de stockage culture : 0,25 m
- Hauteur de radier de silos : 0,15 m

Pour effectuer le bilan matière sur la base des éléments C, N, P et K, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- La totalité de l'azote, du phosphore et du potassium se retrouvent dans le digestat
- Le taux de dégradation de la matière organique, qui s'appuie sur les taux de dégradation pour chaque intrant (base d'analyses BMP interne S3D), permet de déterminer la teneur en MO du digestat et sa teneur en carbone. Le taux de dégradation s'élève à 58% pour la méthanisation à la ferme et à 70% pour la méthanisation centralisée.

La répartition des éléments minéraux dans les phases solide et liquide du digestat est déterminée dans le tableau 20.

DIGESTAT - Hypothèses		
Paramètre	Unité	Valeur
%MS digestat solide	%	25%
%MS digestat liquide	%	7,00%
Taux de minéralisation de l'azote	%	60%
Azote total dans la fraction liquide	% du total	80%
Azote ammoniacal dans la fraction liquide	% du total	80%
Phosphore dans la fraction liquide	% du total	50%
Potassium dans la fraction liquide	% du total	80%

Tableau 20 : Hypothèses de calcul retenues pour la séparation de phase du digestat

A partir du bilan matière, les volumes d'ouvrages et les dimensionnements d'équipements ont pu être réalisés. La figure 10 ci-dessous synthétise les principaux ouvrages et équipements pour l'unité de méthanisation à la ferme :

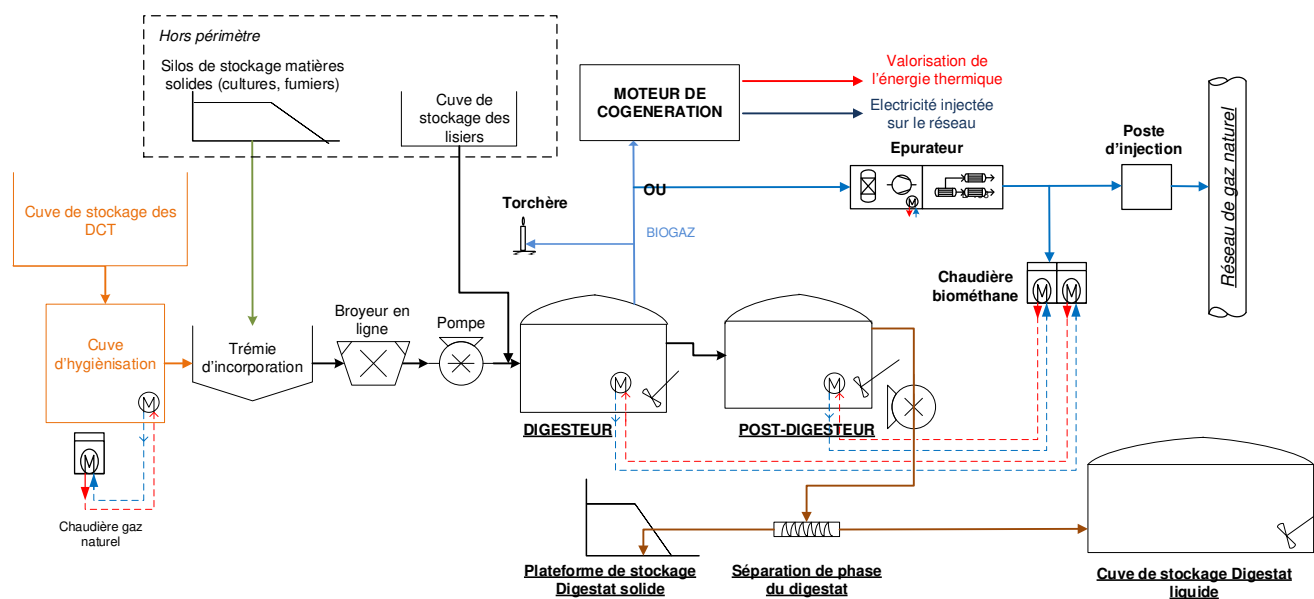


Figure 10 : Synoptique de l'unité de méthanisation à la ferme considéré



Infrastructures pour la méthanisation à la ferme (même infrastructure pour les scénarios injection et cogénération)

Type	Matériau	Volume utile (m³)	Quantité appelée dans inventaire	Durée de vie (années)	Processus de la BDD ecoinvent v3.5
Occupation au sol			43 380 m²	30	Occupation, industrial area
Transformation de l'espace			1 446 m²		Transformation, from industrial area
			1 446 m²		Transformation, to industrial area
Cuve d'hygiénisation	Béton	10	4 m³	30	Concrete, sole plate and foundation {CH} market for APOS, S
Cuves digestion + post-digestion 2+2	Béton	5 141	977 m³		
Cuves stockage (digestats)	Béton	5 000	883 m³		
Cuve DCT 200m3	Béton	200	80 m³		

Tableau 21 : Infrastructures propres au flux de traitement des DCT pour la méthanisation à la ferme

Type	Matériau	Volume utile (m3)	Quantité appelée dans inventaire	Durée de vie (années)	Processus de la BDD ecoinvent v3.5
Occupation au sol			131 040 m²	30	Occupation, industrial area
Transformation de l'espace			4 368 m²		Transformation, from industrial area
			4 368 m²		Transformation, to industrial area
Cuve d'hygiénisation	Béton	15*2	9 m³	30	Concrete, sole plate and foundation {CH} market for APOS, S
Cuves digestion + post-digestion 2+2	Béton	10 561	2 753 m³		
Cuves stockage (digestats)	Béton	16 679	3 040 m³		
Cuve DCT 600m3	Béton	600	180 m³		

Tableau 22 : Infrastructures propres au flux de traitement des DCT pour la méthanisation centralisée

Les données d'entrée pour le dimensionnement des cuves sont les mêmes que pour la méthanisation à la ferme.

	Méthanisation à la ferme Scénario injection		Méthanisation à la ferme Scénario cogénération		Méthanisation centralisée		
Type	Nombre	Puissance cumulée kW	Nombre	Puissance cumulée kW	Nombre	Puissance cumulée kW	Durée de vie (ans)
Moteur à gaz	N.C.		1	360	N.C.		10
Pompes volumétriques	2	30	2	30	6	90	10
Trémie incorporation solide	1	30	1	30	2	90	10
Broyeur en ligne	1	30	1	30	2	90	10
Agitateurs cuves	10	130	10	130	30	390	0
Cuve hygiénisation 10m3	1		1		2		30
Compresseur (épuration)	1	60	N.C.		1	180	10
Groupe froid (épuration)	1	10	N.C.		1	30	10

Tableau 23 : Equipements sur les sites de méthanisation

4.3.3. Processus de méthanisation – Production et Consommations d'énergie

La valorisation du biogaz est réalisée :

- A 50% par injection et à 50% par cogénération pour la filière de méthanisation agricole. Les débits de production associés s'élèvent à 80 Nm³/h en injection ou 310 kWe (fonctionnement 8 000 h/an) en cogénération.
- Exclusivement par injection avec un débit de 250 Nm³/h pour la filière de méthanisation centralisée.

N.B. : Le dimensionnement du site et son fonctionnement dépendent de la quantité d'intrants et de leur tonnage annuel. Or les DCT ne représentent qu'une part de l'ensemble des intrants de la méthanisation et donc une part du tonnage annuel. Afin d'allouer aux DCT la part des infrastructures sur site du fonctionnement qui leurs sont propres nous nous basons sur le tonnage annuel. Le critère d'allocation retenu est le prorata massique.

Focus sur l'utilisation de chaleur pour le procédé

Selon le mode de valorisation du biométhane produit, la chaleur pour le procédé aura une origine différente :

- En cogénération, c'est la chaleur issue de la cogénération qui fournit la chaleur pour l'hygiénisation et la méthanisation
- En injection, il est obligatoire de chauffer la méthanisation avec le biométhane produit mais une autre énergie peut être utilisée pour l'hygiénisation : il est donc courant que ce soit du gaz naturel qui soit utilisé pour l'hygiénisation. Il s'agit donc de prendre en compte une autoconsommation de biométhane pour les ouvrages de digestion et une consommation de gaz naturel pour l'hygiénisation

Un bilan énergétique a été réalisé pour chaque scénario en prenant en compte les hypothèses suivantes :

- **Production d'énergie :**
 - Injection : 100% de taux d'expression du potentiel méthanogène des intrants, taux de récupération du CH₄ lors de l'épuration de 98%, taux de CH₄ dans le biométhane de 98%, et taux de disponibilité du poste d'injection 98%
 - Cogénération : fonctionnement du moteur 8000 h/an, rendement électrique brut de 38% et rendement électrique net de 35% (correspondant au rendement constaté pour des unités de



méthanisation à la ferme, pas de cogénération pour le scénario centralisé) ; rendement thermique : 45% ; énergie thermique valorisée : cf. 4.3.9

- **Consommation d'énergie**

- Autoconsommation de chaleur pour l'hygiénisation calculée en fonction d'une consigne de chauffage à 70°C prenant en compte la masse de biodéchets entrante à hygiéniser avec les températures moyennes extérieures mois par mois pour un site situé dans le Morbihan et une recirculation de digestat liquide stocké à 15°C et subissant une perte thermique de 2°C avant incorporation.
- Autoconsommation de chaleur pour le chauffage des ouvrages de digestion calculée en fonction de la température du mélange entrant (biodéchets à 65°C après hygiénisation pour prendre en compte une perte de 5°C entre l'hygiénisation et l'entrée du digesteur, autres substrats à la température moyenne extérieure mois par mois pour un site situé dans le Morbihan et digestat liquide à 13°C pour prendre en compte une perte de 2°C) et d'une consigne de chauffage à 38°C, et un surdimensionnement de 50%
- Consommation électrique pour la méthanisation : ratio de 25 kWh/t MB traitée pour la méthanisation à la ferme et 20 kWh/t MB traitée pour la méthanisation centralisée
- Injection : récupération de chaleur sur les compresseurs (épuration) : 0,18 kWh/Nm³ ; consommations électriques de 0,35 kWh/Nm³ de biogaz ; rendement chaudière biométhane 90%

Les schémas présentés ci-dessous présentent le bilan énergétique des trois unités de méthanisation simulées (figures 11, 12 et 13):

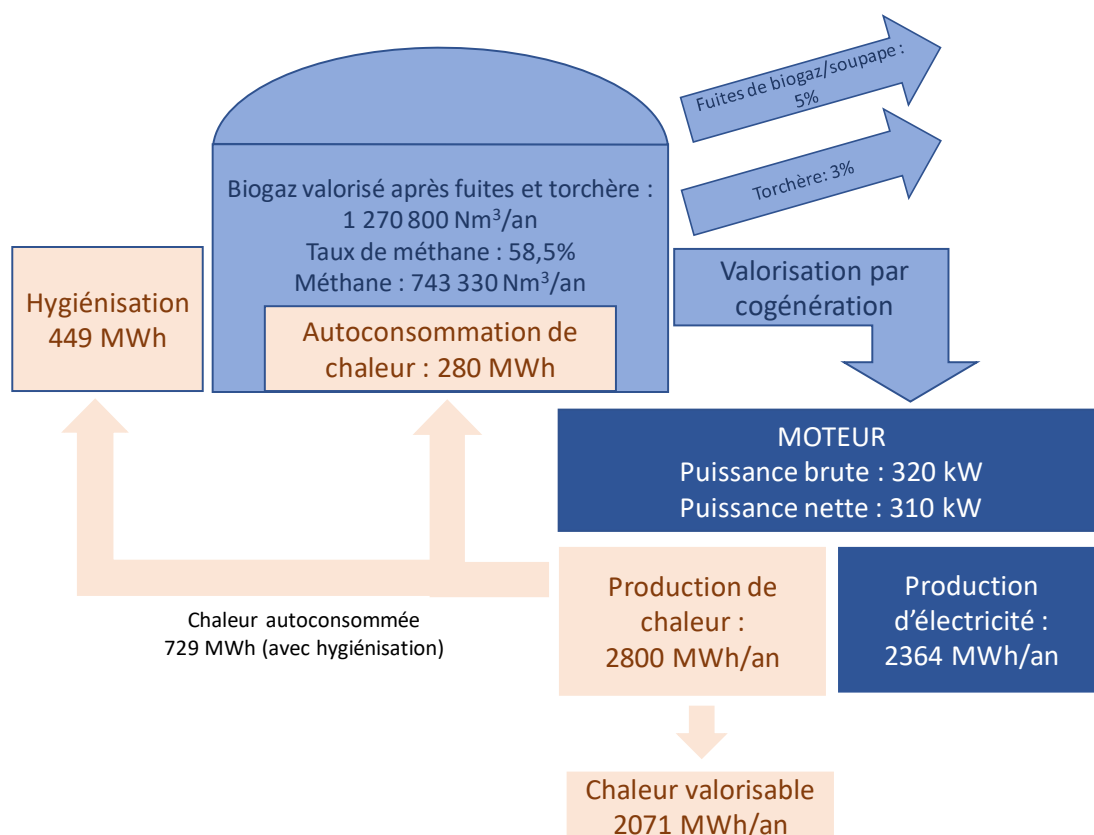


Figure 11 : Bilan énergétique de la filière méthanisation à la ferme avec valorisation par cogénération

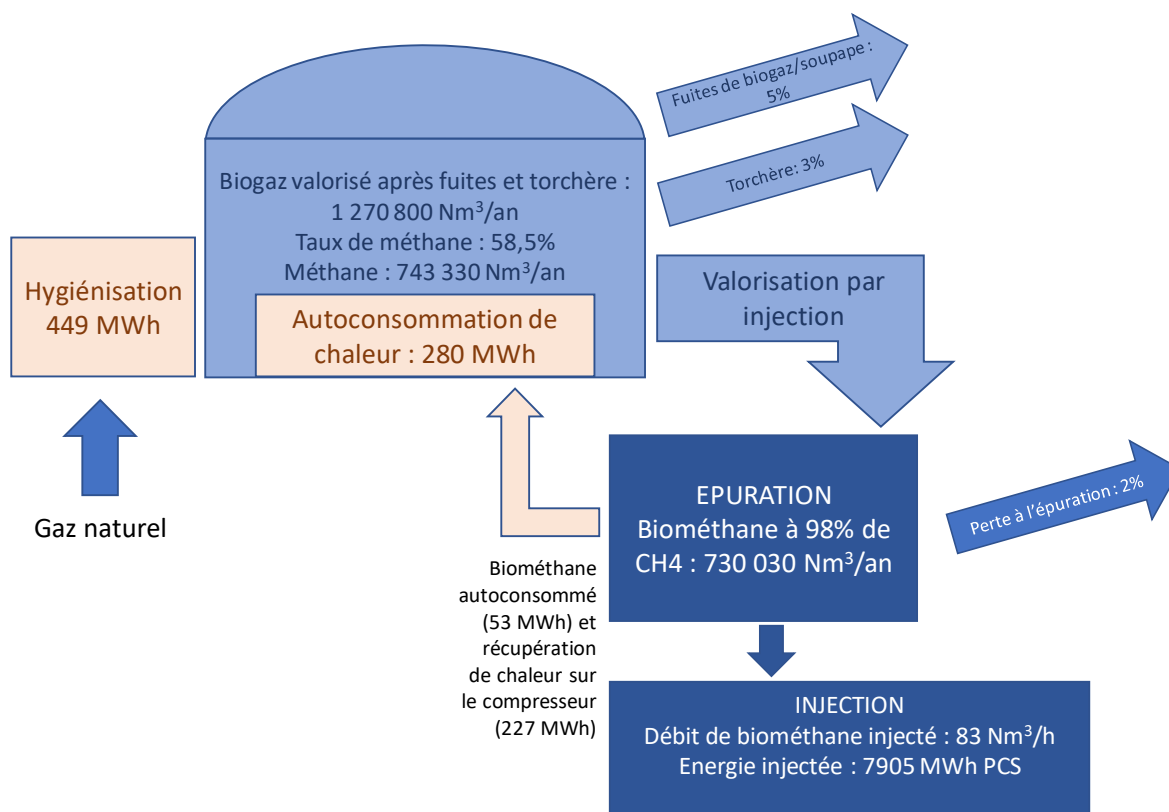


Figure 12 : Bilan énergétique de la filière méthanisation à la ferme avec valorisation par injection

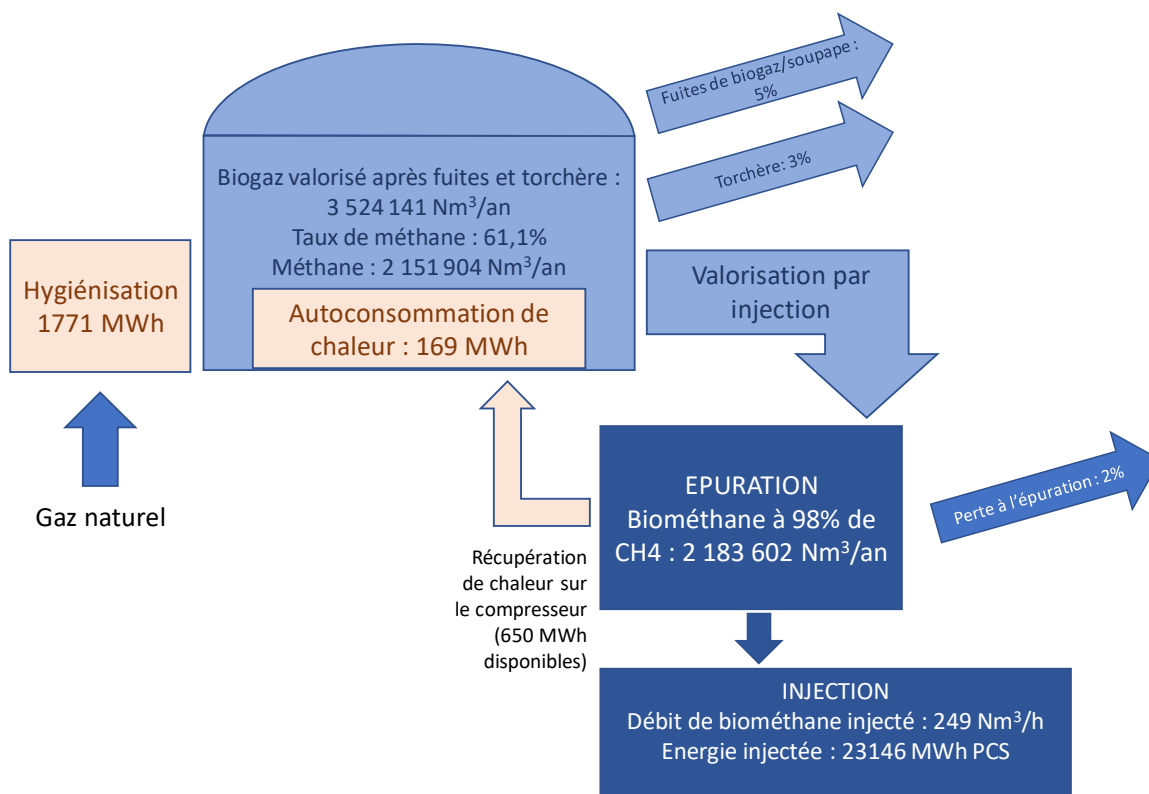


Figure 13 : Bilan énergétique de la filière méthanisation centralisée avec valorisation par injection

Une fois pris en compte les besoins énergétiques couverts par l'autoconsommation de chaleur (cogénération), la récupération de chaleur sur les compresseurs de l'épuration et l'autoconsommation de biométhane (injection), les consommations énergétiques à prendre en compte sont décrites dans le tableau 24.



	Poste	Unité	MàF ¹⁰ Injection	MàF Cogénération	MC 100% injection	Commentaires et source des données	
	Electricité réseau	Méthanisation	MWh/an	375	375	800	Séparation de phase du digestat prise en compte
	Electricité réseau	Epuration	MWh/an	445	0	1233	
	Hygiénisation	Traitement des substrats	MWh/an	449	n.p.	1771	Recours au gaz naturel pour l'hygiénisation dans le cas de l'injection
	Auto-consommation thermique		MWh/an	53	729	N.C.	Scénario à la ferme injection : biométhane consommé pour le chauffage du digesteur

Tableau 24 : Consommation d'énergie des différentes filières de méthanisation

Une fois le dimensionnement de l'installation et le bilan énergie effectué pour l'ensemble du site, la part de la production et de la consommation d'énergie liée aux DCT a été établie comme suit :

- **Production d'énergie liée aux DCT** : tonnage de DCT*potentiel méthanogène des DCT
- **Consommations d'énergie électrique du procédé de méthanisation** : tonnage de DCT*consommation d'électricité/t MB
- **Consommation d'énergie électrique du procédé d'épuration** : production de biogaz liée aux DCT*consommation électrique/Nm³ biogaz
- **Consommation thermique liée à l'hygiénisation** : 100% liée aux DCT (consommation de gaz naturel pour les filières injection)

Les données relatives aux DCT utilisées dans l'ACV sont présentées en partie 4.3.7 (Processus de méthanisation – Bilan des flux sortants).

4.3.4. Processus de méthanisation – Consommation d'eau

Les bilans réalisés n'incluent pas d'eau en entrée, on considère que la recirculation du digestat permet de liquéfier le mélange.

Les consommations d'eau liées au fonctionnement du site de méthanisation ont été considérées comme négligeables (uniquement pour le nettoyage des roues des camions ou encore des ouvrages de stockage occasionnellement), aucune source de données n'ayant permis de déterminer une consommation moyenne d'eau sur des sites en fonctionnement.

4.3.5. Processus de méthanisation – Emissions dans l'air

Les tableaux 25 et 26 présentent les facteurs d'émission retenus et les sources utilisées :

¹⁰ MàF : Méthanisation à la ferme



		Stockage substrats	Digestion	Cogénération	Epuration	
Substances émises	D'après (ADEME ; 2015)	NH ₃ , CH ₄ , N ₂ O	CH ₄ (fuites)	CO ₂ , NO _x	CH ₄	
CO ₂ biogénique	Facteur d'émission et source	Valeur compostage biodéchet 1 semaine : 19,3 kg/t MS DCT	Prise en compte d'un taux de fuite de biogaz de 5% (INERIS, 2015) (Projet TRACKYLEAKS, Rapport final, 2018)	Utilisation du processus ecoinvent v3.5 de combustion de biogaz « <i>Heat and power co-generation, biogas, gas engine FR</i> » modifié (uniquement les émissions et infrastructures conservées)	N.C.	
	Valeur utilisée dans cet inventaire	4,3 kg/t MB de DCT	3,8 kg/t MB DCT			
CO biogénique	Facteur d'émission et source	Valeur compostage biodéchet 1 semaine : 9E-03 kg/t MS DCT				
	Valeur utilisée dans cet inventaire	2E-03 kg/t MB DCT				
N ₂ O	Facteur d'émission et source	Valeur compostage biodéchet 1 semaine : 4E-03 kg/t MS DCT ((DIGES, 2006) : 0)				
	Valeur utilisée dans cet inventaire	9E-03 kg/t MB DCT				
NH ₃	Facteur d'émission et source	Valeur compostage biodéchet 1 semaine : 6E-05 kg/t MS DCT				
	Valeur utilisée dans cet inventaire	1,4E-05 kg/t MB DCT				
CH ₄ biogénique	Facteur d'émission et source	Valeur compostage biodéchet 1 semaine : 3E-03 kg/t MS DCT ((DIGES, 2006) : 0)			5% CH ₄ produit (d'après (INERIS, 2015), (Projet TRACKYLEAKS, Rapport final, 2018) et 2% d'après (Slorach, 2019)	2% CH ₄ produit (ENEA Quantis, 2017)
	Valeur utilisée dans cet inventaire	6,8E-04 kg/t MB DCT			2,1 kg/t MB DCT traité	0,8 kg/tMB DCT traité

Tableau 25 : Facteurs d'émission retenus pour les différentes étapes de la méthanisation (1/2)

Remarque : Aucun facteur d'émission n'a été considéré pour les COV et le SO₂ à ces étapes



Substances émises	D'après (ADEME ; 2015)	Séparation de phase	Stockage digestat COUVERT	Torchère
			NH ₃ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂
CO ₂ biogénique	Facteur d'émission et source	N.C.	D'après (Collet, 2011); (Pellerin, 2013) cités dans (Projet TRACKYLEAKS, Rapport final, 2018) : 5,6% du Ctotal	Part de biogaz produit torché de 3% (d'après (ENEA Quantis, 2017)) Pour les émissions utilisation du processus ecoinvent v3.5 de combustion de biogaz « Heat, central or small-scale, other than natural gas {FR} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS » modifié (uniquement les émissions conservées)
	Valeur utilisée dans cet inventaire		1,8 kg CO ₂ /t MB de DCT	
N ₂ O	Facteur d'émission et source		D'après (Collet, 2011) (Pellerin, 2013) cités dans (Projet TRACKYLEAKS, Rapport final, 2018): 0,032% N total ; (DIGES, 2006) : 0)	
	Valeur utilisée dans cet inventaire		3E-03 kg/t MB DCT traités	
NH ₃	Facteur d'émission et source	(EMEP/EEA guidebook, 2016) 1,2E-03 kg NH ₃ -N/kg N intrants	(EMEP/EEA guidebook, 2016): stockage digestat liquide non couvert 0,0116 NH ₃ -N/kg N intrants et stockage digestat solide 0,015 NH ₃ -N/kg N intrants ; (Guide sur le biogaz, 2010) réduction de 80 à 90% des émissions avec une couverture type bâche flottante (p.207)	
	Valeur utilisée dans cet inventaire	8E-03 kg NH ₃ /t MB DCT	Digestat Liquide (DL) <u>Couvert</u> : 80% de réduction = 0,016 kg/tMB DCT traité pour le DL et 0,08 kg/t MB DCT traité pour le Digestat Solide (DS) (pas de modification pour DS car hangar semi-ouvert pas considéré comme réduisant les émissions de NH ₃) soit 0,12 kg NH₃/t MB DCT au total	
CH ₄ biogénique	Facteur d'émission et source	N.C.	D'après (DIGES, 2006) : FE 2,08% PM intrants ; D'après (Guide sur le biogaz, 2010) 1,4% du CH ₄	
	Valeur utilisée dans cet inventaire		Soit 0,9 kg/tMB DCT traité	

Tableau 26 : Facteurs d'émission retenus pour les différentes étapes de la méthanisation (2/2)

N.C (non concerné) : substance sans facteur d'émission pour l'étape considérée donc aucune prise en compte d'émission de cette substance à cette étape.

Remarque : Aucun facteur d'émission n'a été considéré pour les COV, le CO et le SO₂ à ces étapes

4.3.6. Processus de méthanisation – Emissions dans l'eau

En l'absence de données chiffrées, et considérant que le processus de méthanisation n'entraîne pas d'écoulements lors du stockage des DCT (récupération des jus de plateforme), de la digestion ou encore du stockage du digestat, il n'a pas été considéré d'émissions dans l'eau lors du processus de méthanisation.

4.3.7. Processus de méthanisation – Bilan des flux sortants

Les flux d'énergie, et de matière (émissions et digestat) calculés sont uniquement liés au DCT conformément à l'hypothèse (forte) de non prise en compte d'interactions entre les DCT et les autres intrants de la méthanisation sur la production d'énergie et de digestat :

- Production d'énergie liée aux DCT : tonnage de DCT*potentiel méthanogène des DCT
- Production de digestat liée aux DCT :
 - Attribution de la quantité de DCT et du taux de dégradation des DCT pour estimer le tonnage de digestat lié aux DCT
 - Composition entrante des DCT en N, P et K pour estimer les flux liés aux DCT dans le digestat

	Méthanisation à la ferme injection	Méthanisation à la ferme cogénération	Méthanisation centralisée injection	Unité
Potentiel méthanogène des DCT par tMO	360			Nm ³ CH ₄ /t MO
Potentiel méthanogène des DCT par tMB	63			Nm ³ CH ₄ /t MB
Biogaz produit par les DCT	229 196	229 196	611 190	Nm ³ /an
Quantité de C dans le biogaz	157	157	413	t/an
Taux de méthane du biogaz issu de DCT	62,2%			
CH ₄ produit par les DCT	142 560	142 560	380 160	Nm ³ /an
Biogaz après fuites et torchère	210 860	210 860	562 295	Nm ³ /an
CH ₄ après fuites et torchère	131 155	131 155	349 747	Nm ³ /an
Quantité valorisée (après épuration et autoconsommation biométhane pour l'injection)	123 659 Nm ³ /an de biométhane à 98% de CH ₄	210 860 Nm ³ /an de biogaz à 62,2% de CH ₄	335 757 Nm ³ /an de biométhane à 98% de CH ₄	Nm ³ /an
Puissance électrique nette	NC	311	NC	kW
Electricité injectée	NC	2 364	NC	MWh/an
Production thermique totale	NC	2 800	NC	MWh/an
Conso électrique unité biogaz	375	375	800	MWh/an
Conso électrique unité épuration	445	NC	1 233	MWh/an

Tableau 27 : Bilan énergie de la production de biogaz par les DCT des trois filières de méthanisation

Les quantités en carbone du biogaz et du digestat ont pu être déterminées à partir de la teneur en carbone des DCT et en s'appuyant sur le potentiel méthanogène des DCT et le taux de méthane du biogaz issu de la méthanisation de DCT (tableau 27). Pour les éléments fertilisants N, P et K, il a été considéré que la totalité de ces éléments présents en entrée dans les DCT se retrouvait en sortie dans le digestat. Cette considération présente un biais puisque les pertes de C et N liées aux émissions lors du stockage des DCT avant méthanisation n'ont pas été prises en compte pour évaluer la composition du digestat (cf. diagramme de flux).

La teneur en carbone du digestat correspond quant à elle au carbone résiduel après calcul du carbone contenu dans le biogaz. La composition des phases solides et liquides a été déterminée à partir du digestat brut mais n'est pas présentée ici puisqu'elle n'a finalement pas servi dans le calcul des émissions au stockage et à l'épandage (facteurs d'émissions retenus dépendants de la teneur en N des intrants, ou encore de la teneur en C ou N du digestat brut).

Le bilan matière (figure 14) présente les teneurs en C, N, P, et K aux différentes étapes prises en compte dans cette ACV (y.c. l'épandage du digestat dont les hypothèses sont présentées ci-après) :



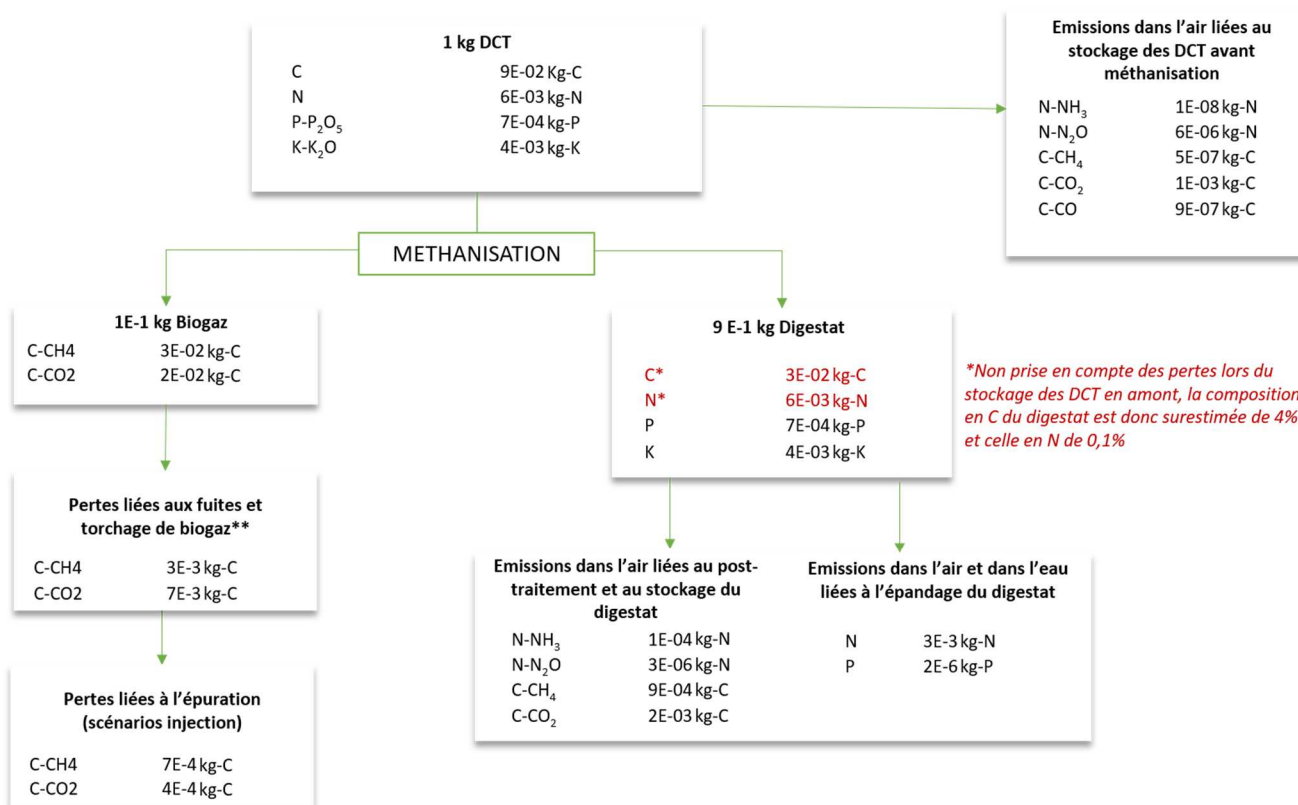


Figure 14 : Bilan matière des flux pour les scénarios méthanisation

La figure 14 permet de vérifier le bilan matière et le bouclage des flux élémentaires N et C. Le bilan boucle parfaitement pour l'azote entre le contenu N dans les DCT et le contenu N dans le digestat moins les émissions au stockage des DCT. Le bilan boucle quasi parfaitement pour ces mêmes étapes pour le carbone (10% de différence). La vérification du bilan entre le contenu N du digestats et les émissions du post-traitement, du stockage et de l'épandage du digestat montre des bilans ne bouclant car les quantités de N retenu au sol et/ou captées par les plantes ne sont pas calculées, de même concernant le C, pour lequel les émissions à l'épandage de C-CO₂ ne sont pas calculées et présentées sur ce schéma.

Pour synthétiser l'ensemble des entrées et sorties présentées, les schémas présentés ci-dessous dressent un bilan des flux de carbone et d'azote ainsi que d'énergie consommée et produite pour chacun des 3 scénarios méthanisation (figures 15, 16 et 17):

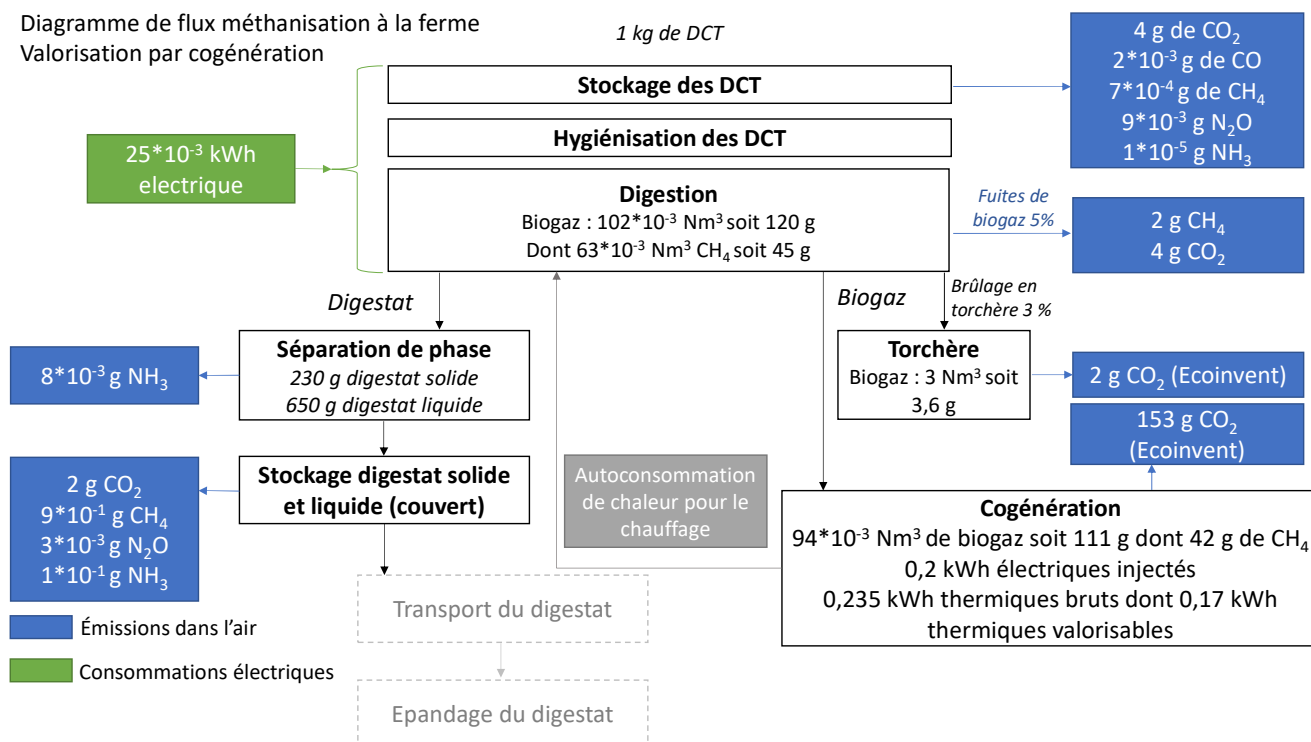


Figure 15 : Schéma des flux entrants et sortants pour la méthanisation à la ferme par cogénération

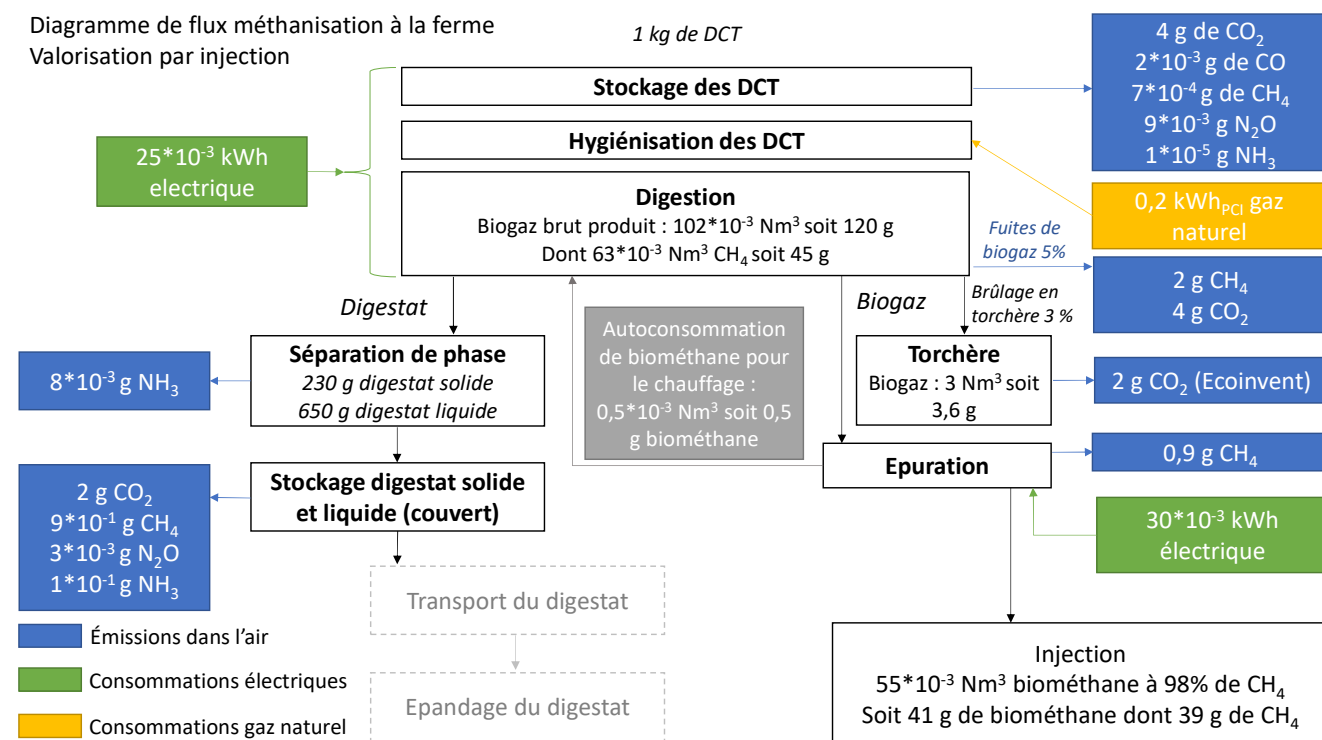


Figure 16 : Schéma des flux entrants et sortants - Méthanisation à la ferme par injection



Diagramme de flux méthanisation centralisée
Valorisation par injection

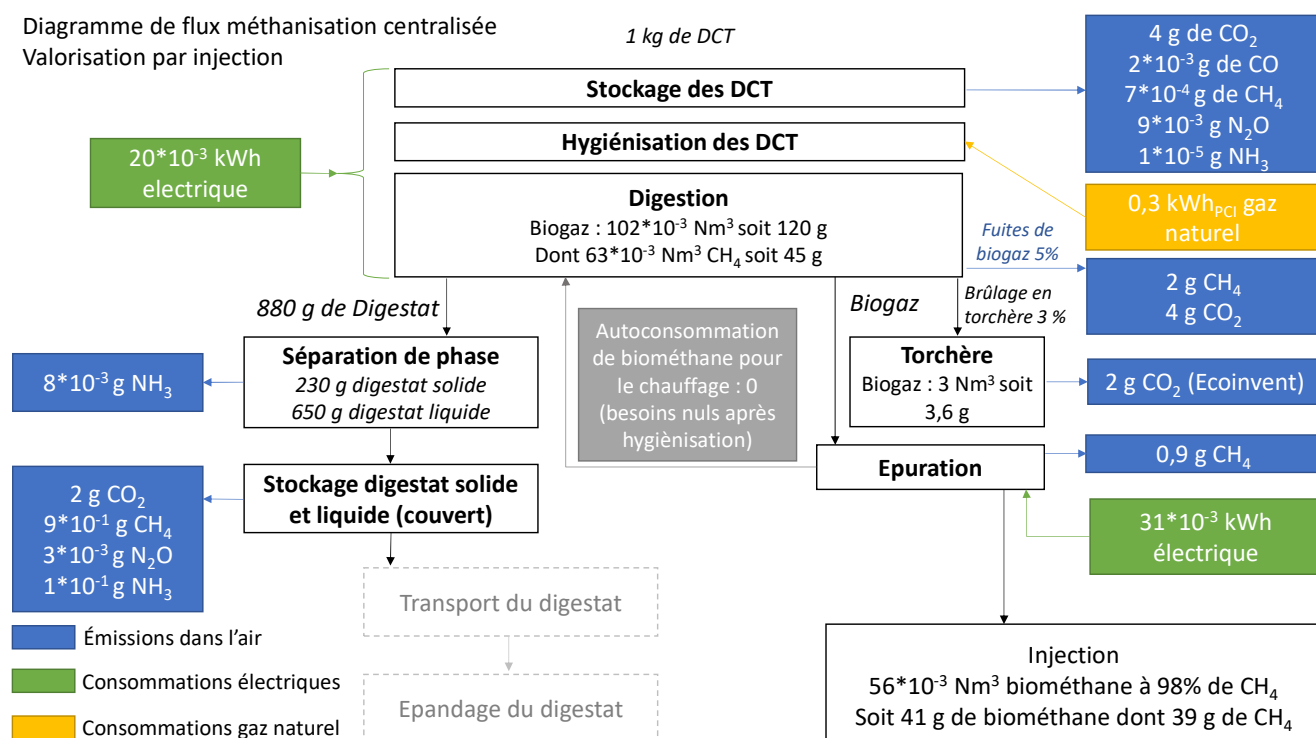


Figure 17 : Schéma des flux entrants et sortants - Méthanisation centralisée par injection

4.3.8. Apport au sol des digestats (opérations)

Transport et opération d'épandage

Le tableau 28 présente les hypothèses retenues pour l'épandage du digestat après séparation de phase :

	Type de compostage	Digestats liquides	Digestats solides
Transport du site de production au champ	Nombre de km par mode	10	
	Type de transport	Route – Camion "Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro4 (RER) market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 APOS"	
Epandage	Qtité épandue /ha	22 t/ha	9 t/ha
	Equipement d'épandage	Tracteur "Transporting to farm, with 2 axe trailer (15 t)/FR U" Pendillard: "Fertilizing, slurry, with tanker/FR U debit chantier 1h/ha"	Enfouisseur "Fertilizing, solid manure or compost (charging and spreading), with frontal bucket and 5t spreader/FR"

Tableau 28 : Transport et épandage des digestats

Le dimensionnement des deux unités de méthanisation a permis de déterminer la composition du digestat et les hypothèses pour la séparation de phase et les doses d'épandage du digestat brut, solide et liquide. Ces doses d'épandage ont été déterminées en considérant un besoin agronomique de 150 U N/ha et 50 U P/ha.

4.3.9. Valorisation des flux sortants

Emissions lors de l'application au sol

A partir du bilan des flux sortants et des caractéristiques du résidu organique épandu, les émissions azotées liées à la valorisation au sol du digestat ont été modélisées à partir de l'outil issu de la publication (Brockmann, 2018) où des bonnes pratiques d'épandage ont été prises en compte dans un contexte géographique français (cf. tableau 40). En analyse de sensibilité un « worst-case » avec de moins bonnes pratiques a été testé.

Emissions azotées

Les valeurs d'émissions azotées prises en compte pour les digestats figurent dans le tableau 29.

	Unité	Valeur		Compartiment d'émission
		Digestats solides	Digestats liquides	
Rendement	t MB de digestat sortante /t DCT entrants	0,2	0,6	
Total N	kg/t MB sortante	4,9	7,3	
azote ammoniacal	kg/t MB sortante	3,1	4,6	
azote organique	kg/t MB sortante	1,8	2,7	
Emissions	kg N-NH ₃ /t dig	1,14	0,40	Air
	kg NH₃ /t dig	1,38	0,49	
	kg N-NO ₃ - /t dig	0,55	0,81	Eau
	kg NO₃- /t dig	2,43	3,58	
	kg N-N ₂ O /t dig	0,07	0,08	Air
	kg N₂O /t dig	0,10	0,13	
	kg N-NO_x (as NO₂) /t dig	0,05	0,08	
	kg NO _x (as NO ₂) /t dig	0,10	0,13	

Tableau 29 : Valeurs d'émissions azotées prises en compte pour les digestats

Lixiviation des phosphates

- 1) Dans le modèle SALCA-P (Prasuhn, 2006) la formule pour le ruissellement des phosphates est la suivante :

$$PR = PLM * FC * Fp * t$$

Où PR Phosphore ruisselé (kg/(ha*a))

PLM Quantité moyenne de phosphore lixivié en fonction de la catégorie d'occupation des terres

FC Facteur de correction

Fp Facteur pente

t Temps d'occupation (=nombre de jours/365)

En cohérence avec le modèle érosion (et la méthode retenue dans AGBRIBALYSE®), la pente moyenne a été fixée à 2% ce qui conduit d'après la bibliographie à un facteur « pente » (FP) égal à zéro et par conséquent, **il n'y a pas de ruissellement de phosphore pris en compte dans cette ACV.**

- 2) Dans le modèle SALCA-P (Prasuhn, 2006) la formule pour la lixiviation des phosphates est la suivante :

$$PL = PLM * FCLB * t$$

Où PL Phosphore lixivié (kg/(ha*a))

PLM Quantité moyenne de phosphore lixivié en fonction de la catégorie d'occupation des terres

FCLB Facteur de correction pour la fertilisation avec lisier et/ou boues

t Temps d'occupation (=nombre de jours/365)

Le facteur FCLB n'étant appliqué que pour les fertilisants liquides (boues, digestats liquides, lisiers) nous avons retenus ce facteur pour la modélisation de la lixiviation des phosphates pour les digestats liquides uniquement. En effet le phosphore présent dans les composts ou digestats solides a peu de répercussion sur les émissions de P estimées par le modèle SALCA-P, celui-ci étant très peu sensible aux apports. Le facteur FCLB a pour formule :

$$F_{CLB} = 1 + \frac{0.2 \times (P_2O_5_{\text{Lisiers et Boues}})}{80}$$

On un contenu phosphore de 1,04 g P/kg digestat liquide brut.

On calcule la valeur de lixiviation des phosphates (PO₄³⁻) qui est donc de 8,48E-4 kg PO₄³⁻/t MB digestat liquide soit 2,6 E-03 kg P/t MB digestat liquide

Emissions d'ETM



Enfin les émissions vers les sols des ETM présents dans les DCT ont été prises en compte, comme indiqué dans le tableau 30. En suivant les recommandations méthodologiques de Nemecek et Kagi (2007), 100% des ETM sont émis vers le sol.

Substances	Unité	Valeur	Compartiment d'émission
Cd	kg/t MB DCT	1,2E-04	Sol agricole
Cr	kg/t MB DCT	3,3E-03	
Cu	kg/t MB DCT	1,3E-02	
Hg	kg/t MB DCT	6,1E-05	
Ni	kg/t MB DCT	2,1E-03	
Pb	kg/t MB DCT	6,9E-03	
Zn	kg/t MB DCT	3,5E-03	

Tableau 30 : Valeurs d'émissions ETM prises en compte pour les digestats

Évitement de production de fertilisants

La quantité de fertilisants substituée par l'application de digestats dépend de la composition de ces derniers en éléments nutritifs. La prise en compte des impacts de production de fertilisants évités se base sur :

- Pour les fertilisants azotés :
 - Le processus unitaire de production (base ecoinvent v3.5) : « *Ammonium nitrate, as N {GLO} / market for / APOS* » base ecoinvent v3.5
 - Des taux de substitution pour les digestats liquides et solides de, respectivement, 73% et 40% ont été pris en compte (source outil (Brockmann, 2018) issus du projet (Rapport final ESCo Mafor, 2014)).
- Pour les fertilisants phosphorés :
 - Le processus unitaire de production (base ecoinvent v3.5) : « *Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {GLO} / market for / APOS* » (processus de référence représentant un mélange de consommation de différents engrais phosphatés),
 - Un taux de 100% de substitution des engrais phosphorés par du digestat. A noter que pour le phosphore, (Johansson, 2008) soulignent que les crédits pour le remplacement des engrais P dépendent en grande partie du type d'engrais qui est supposé être remplacé. Toutefois, dans le cas de la récupération du P à partir des effluents, il n'est pas clair quel type d'engrais va être remplacé.
 - Aucune émission de phosphore pour ces engrais minéraux n'a été incluse car les émissions par lixiviation sont considérées nulles (pente = 0, voir détail p. 52) et les émissions par ruissellement sont seulement influencées par l'apport d'engrais organiques liquide (boues, digestats liquides, lisiers).

Dans cette ACV (tableau 31), les valeurs retenues pour les équivalents en engrais minéraux des apports en N correspondent à la fraction disponible à long terme (Mineral Fertilizer Equivalent (MFE) long term de l'outil (Brockmann, 2018). Il est à noter qu'il existe une forte variabilité de ces équivalents en engrais minéraux.



	Unités	Valeurs		Commentaires
		Digestats solides	Digestats liquides	
Rendement	t MB de digestat sortant /t DCT entrants	0,2	0,6	
Total N	kg/ t MB sortante	4,9	7,3	
azote ammoniacal	kg/ t MB sortante	3,1	4,6	
Organic nitrogen content	kg/ t MB sortante	1,8	2,7	
Fertilisant azoté évité	kg N/t MB digestat	2,4	6,6	Procédé utilisé dans la base de données Ecoinvent : Ammonium nitrate, as N {GLO} market for APOS
Fertilisant phosphoré évité	kg P /t MB digestat	2,8	1,0	Procédé utilisé dans la base de données Ecoinvent : Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} market for APOS
Emissions évitées	kg N-NH ₃ /t MB digestat	0,2	0,52	Emissions vers l'Air
	kg NH₃ /t MB digestat	0,2	0,64	
	kg N-NO ₃ - /t MB digestat	0,3	0,73	Emissions vers l'Eau
	kg NO₃- /t MB digestat	1,2	3,25	
	kg N-N ₂ O /t MB digestat	0,0	0,08	Emissions vers l'Air
	kg N₂O /t MB digestat	0,0	0,12	
	kg N-NO_x (as NO₂) /t MB digestat	0,0	0,07	
	kg NO _x (as NO ₂) /t MB digestat	0,1	0,16	

Tableau 31 : Quantités de fertilisants et émissions associées évités lors de l'épandage

Évitement de production l'électricité (filère avec cogénération)

Considérant les préconisations de l'ILCD Handbook (JRC, 2011), la production d'électricité substituée est basée sur le mix de consommation d'électricité en France. Par ailleurs, il est important de noter que le point de substitution est « la mise sur le réseau » : le procédé substitué ne prend pas en compte les consommations intermédiaires (câblages), les émissions et les pertes associées au transport de l'électricité.

La prise en compte des impacts de production d'électricité évitée se base sur le processus unitaire de production (base ecoinvent v3.5) « *Electricity, high voltage {FR}| market for | APOS* » auquel les flux associés aux transmissions (Transmission network, electricity, high voltage {GLO}; Transmission network, long-distance {GLO}) et les flux associés aux émissions (« Dinitrogen monoxide », « Ozone ») ont été retranchés.

Évitement de production de chaleur (filère avec cogénération)

Production de chaleur et autoconsommation

La production de chaleur est estimée sur la base d'un rendement thermique du moteur de 45%.

La chaleur valorisable est ensuite obtenue en déduisant la part de chaleur nécessaire au procédé.

Ces besoins s'élèvent à 39% de la chaleur produite (hygiénisation et chauffage des ouvrages de digestion) dans le cas de l'unité à la ferme considérée.

Energies substituées par la valorisation de la chaleur

La substitution de la chaleur produite par cogénération pour la méthanisation à la ferme a pu être estimée de la manière suivante :

- Prise en compte de la répartition des usages de la chaleur issue de la méthanisation d'après (ADEME, 2016)
- 38% de la chaleur produite par cogénération biogaz est réellement valorisée (hors autoconsommation) d'après (ADEME, 2016)
- Exclusion du séchage de digestat, qui n'aurait pas eu lieu si la méthanisation n'existait pas (38% de la chaleur valorisée)
- Définition du mix énergétique actuel pour chaque usage chaleur :
 - Séchoirs et chambres froides, serres et élevage d'après (SOeS, 2014)
 - Locaux et réseaux de chaleur d'après (ADEME, IN NUMERI, Carpenè, & Haeusler, 2019)
 - Agro-industrie d'après (INSEE, 2017)

La répartition des énergies utilisées par usage et le mix énergétique retenu pour la substitution par la chaleur issue de cogénération biogaz sont synthétisés dans le graphique ci-dessous (figure 18):

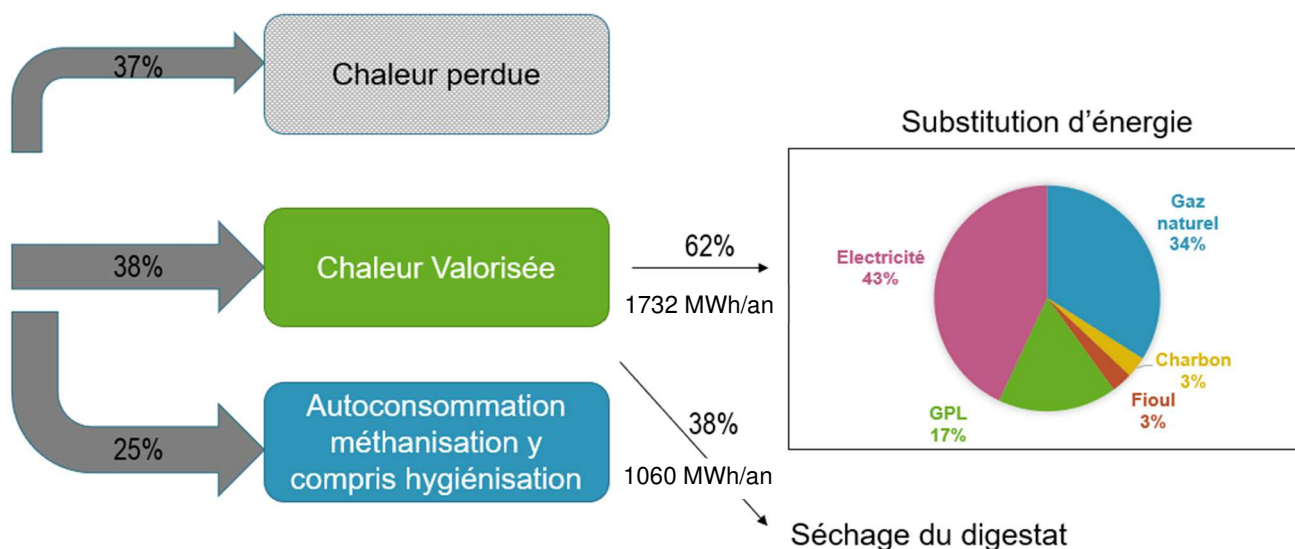


Figure 18 : Devenir de la chaleur produite sur site

Évitement de production de gaz naturel (filière avec injection)

Le biogaz est valorisé énergétiquement. Nous avons considéré une substitution au gaz naturel réseau (cas de l'injection) : de la production et jusqu'à la combustion dans une chaudière. Pour cela, le biogaz produit est épuré pour atteindre 98% de CH₄.

De la même façon que pour les valorisations des sorties de méthanisation ou de compostage nous considérons à la fois les émissions du biométhane brûlé par une chaudière ainsi que les émissions évitées de gaz naturel.

La prise en compte des impacts évités se base sur :

- Hypothèse de substitution : 35,1 MJ/m³ biogaz.
- Hypothèse basée sur les valeurs suivantes :
 - Concentration de CH₄ dans biogaz après épuration : 98%
 - PCI du méthane : 9,94 kWh/m³

D'après le dimensionnement effectué par S3D, le biogaz brut en sortie de méthanisation est composé à 62,2% de méthane.



5. Evaluation des impacts de cycle de vie

5.1. Méthodologie d'évaluation et types d'impacts étudiés

5.1.1. Méthode d'analyse choisie

Afin de répondre au mieux aux objectifs de l'ACV et de suivre les orientations de la communauté scientifique ACV, la méthode Environmental Footprint 2018 (European Commission, 2018), méthode issue de l'Environmental Footprint initiative (EF method 2.0.) a été retenue pour analyser les impacts des filières.

Les indicateurs d'impacts environnementaux de cette méthode sont présentés dans le tableau 32.

La robustesse de chaque indicateur, présentée en dernière colonne, correspond aux indications de la méthode Environmental Footprint 2018. Plus l'indicateur est discutable (indicateurs de niveau II à III), plus il y a une incertitude sur les facteurs de caractérisation. Nous tiendrons compte de cette fiabilité lors de l'interprétation des résultats de l'ACV comparative menée.

Indicateur ACV	Abréviation	Unité	Méthode de calcul retenue	Robustesse (d'après JRC)
Changement climatique	CC	kg CO2 eq	Baseline model of 100 years of the IPCC (based on IPCC 2013)	I
Destruction de la couche d'ozone	OD	kg CFC11 eq	Steady-state ODPs as in (WMO 1999)	I
Toxicité humaine non cancérogène	Tox Hum NC	CTUh	Usetox 2 model (Rosenbaum et al, 2008)	II/III
Toxicité humaine cancérogène	Tox Hum C	CTUh	Usetox 2 model (Rosenbaum et al, 2008)	II/III
Radiations ionisantes	Rad. Io.	kBq U235 eq	Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)	II
Formation d'ozone photochimique	Ox. Ph.	kg NMVOC eq	LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe 2008	II
Acidification	AC	molc H+ eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	II
Effets respiratoires des polluants inorganiques	R.I.	Disease incidence (due to kg of PM2.5 emitted)	PM model recommended by UNEP (UNEP 2016) : Fantke et al. 2016	I
Eutrophisation terrestre	EUT. Terr.	molc N eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	II
Eutrophisation eau douce	EUT. ED	kg P eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as implemented in ReCiPe	II
Eutrophisation marine	EUT. Mar.	kg N eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as implemented in ReCiPe	II
Ecotoxicité eau douce	Ecotox. ED	CTUe	Usetox 2 model (Rosenbaum et al, 2008)	II/III
Occupation du sol	Occ. Sol	Pt	re-Calculated by JRC starting from LANCA® v 2.2	III
Epuisement des ressources en eau	Eau	m3 depriv.	Available Water Remaining (AWARE) in UNEP, 2016	III
Consommation d'énergie	Conso éne.	MJ	CML Guinée et al. (2002) and van Oers et al. (2002)	III
Epuisement des ressources minérales	ERM	kg Sb eq	ADP ultimate reserve CML Guinée et al. (2002) and van Oers et al. (2002)	III

Tableau 32 : Présentation des indicateurs d'impacts et robustesse

Selon les niveaux définis par le JRC:

- Niveau I : recommandé et satisfaisant
- Niveau II recommandé mais nécessite des améliorations
- Niveau III recommandé mais doit être appliqué avec prudence.

De plus, nous avons exclu les émissions à long terme (soit > 100 ans) comme proposé dans les options de calcul SimaPro.

5.1.2. Résumé des indicateurs retenus pour l'ACV comparative

Les indicateurs de toxicités et écotoxicité ont été remplacés par la méthode la plus à jour qui est Usetox 2 (tableau 33). Par ailleurs nous avons choisi d'appliquer la méthode « Usetox 2 recommended » celle-ci excluant les substances dont les facteurs de caractérisation (FC) sont tagués comme « interim »¹¹. C'est le cas des métaux lourds qui sont tagués « interim » et ne sont donc pas pris en compte pour la caractérisation des indicateurs de toxicité et écotoxicité. Or les métaux lourds étant émis directement dans les sols après épandage des digestats et composts et pouvant donc présenter des impacts sur la santé humaine et des écosystèmes, il est proposé une analyse de sensibilité sur la méthode (cf. figures 20 et 31).

Les indicateurs occupation des terres et épuisement des ressources en eau ont été jugés peu pertinents pour les filières étudiées, ils sont par ailleurs considérés faibles en robustesse (III) : ils ont été exclus de l'analyse.

L'indicateur radiations ionisantes a été jugé redondant avec l'indicateur Consommation d'énergie puisqu'il reflète le mix électrique français (en majorité nucléaire) et a été exclu.

L'indicateur effets respiratoires des polluants inorganiques basé sur les particules émises dans l'air a été jugé peu pertinent au regard des enjeux des filières. C'est un indicateur de second plan qui pourraient caractériser les transports qui peuvent avoir lieu au sein des filières mais les impacts de ces derniers sont déjà caractérisés par l'indicateur destruction de la couche d'ozone (combustion du diesel). Cet indicateur a été exclu de l'analyse.

En ce qui concerne l'eutrophisation marine, couramment retenu en ACV, la concentration d'azote est le facteur limitant ce qui est redondant avec l'indicateur eutrophisation terrestre, ce dernier a été exclu de l'analyse.

¹¹ Le tag « interim » signifie une incertitude plus élevée du facteur de caractérisation par rapport à un FC tagué « recommandé ».



Indicateur ACV	Abréviation	Unité	Méthode de calcul retenue	Robustesse (d'après JRC)
Changement climatique	CC	kg CO2 eq	IPCC 2013 100a	I
Destruction de la couche d'ozone	OD	kg CFC11 eq	Steady-state ODPs (WMO 2011)	I
Toxicité humaine non cancérigène	Tox Hum NC	cases	Usetox 2 (recommended only)	nc
Toxicité humaine cancérigène	Tox Hum C	cases	Usetox 2 (recommended only)	nc
Formation d'ozone photochimique	Ox. Ph.	kg NMVOC eq	LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe 2008	II
Acidification	AC	molc H+ eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	II
Eutrophisation eau douce	EUT. ED	kg P eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as implemented in ReCiPe	II
Eutrophisation marine	EUT. Mar.	kg N eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as implemented in ReCiPe	II
Ecotoxicité eau douce	Ecotox. ED	PAF.m3.day	Usetox 2 (recommended only)	nc
Consommation d'énergie	Conso éne.	MJ	Abiotic resource depletion fossil fuels (ADP-fossil); based on lower heating value ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)	III
Epuisement des ressources minérales	ERM	kg Sb eq	ADP ultimate reserve ADP for mineral and metal resources, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016).	III

Tableau 33 : Indicateurs d'impacts retenus pour cette ACV

5.1.3. Préambule à la présentation des résultats

Les résultats présentés dans ce rapport ont fait l'objet de plusieurs traitements afin de les interpréter en connaissance des incertitudes qui y sont attachées. Plusieurs types d'incertitudes peuvent intervenir en ACV et des analyses appropriées permettent de garantir la robustesse des résultats :

- Incertitude des modèles scientifiques utilisés :
=> Réalisation d'une analyse sur la robustesse des indicateurs : abordée au chapitre précédent et au cours de l'interprétation avec les niveaux I, II, III
- Incertitude sur les paramètres : l'incertitude sur un paramètre est exprimée par la distribution de ses valeurs
=> Réalisation d'une analyse sur la qualité des données également appelée analyses d'incertitude : réalisée et consultable en annexe 7.2.2. Les éléments d'interprétation découlant de ces analyses d'incertitudes ont été exploités au chapitre d'interprétation des impacts agrégés (cf. paragraphe 5.2.3).
- Incertitude du modèle : hypothèses et choix de l'ACV
=> La revue critique porte sur la vérification de ces choix

5.2. Analyse comparative

Dans cette partie, il s'agit d'évaluer les impacts environnementaux des six modes de valorisation de DCT pour l'unité fonctionnelle définie en début de rapport : « **Traiter 1 kg de déchets de cuisine et de table (DCT), en France, en 2018** » (se référer à la définition des DCT au paragraphe 3.2.1).

Nous présentons ici l'analyse comparative des différentes filières de traitement en séparant les types d'impacts (figure 19) afin de présenter successivement les impacts générés (impacts négatifs sur l'environnement qui sont liés à l'emploi des matières premières et aux rejets et émissions), les impacts évités (impacts positifs sur l'environnement liés à la production de produits ou d'énergie permettant d'éviter des impacts générés par

ailleurs), et enfin les impacts agrégés qui somment les impacts générés et évités (présentés uniquement pour les filières méthanisation).

Les graphiques décrivent les résultats en base 100. Cela signifie que, pour un indicateur donné, l'élément analysé le plus impactant est à 100 % et le résultat des autres éléments est exprimé par rapport à cet impact maximal. Ce mode de présentation des résultats permet une comparaison rapide des différents scénarios. L'ensemble des résultats sont présentés en valeurs absolues en annexes.

5.2.1. Comparaison des impacts générés des filières étudiées

Comparaison générale des filières

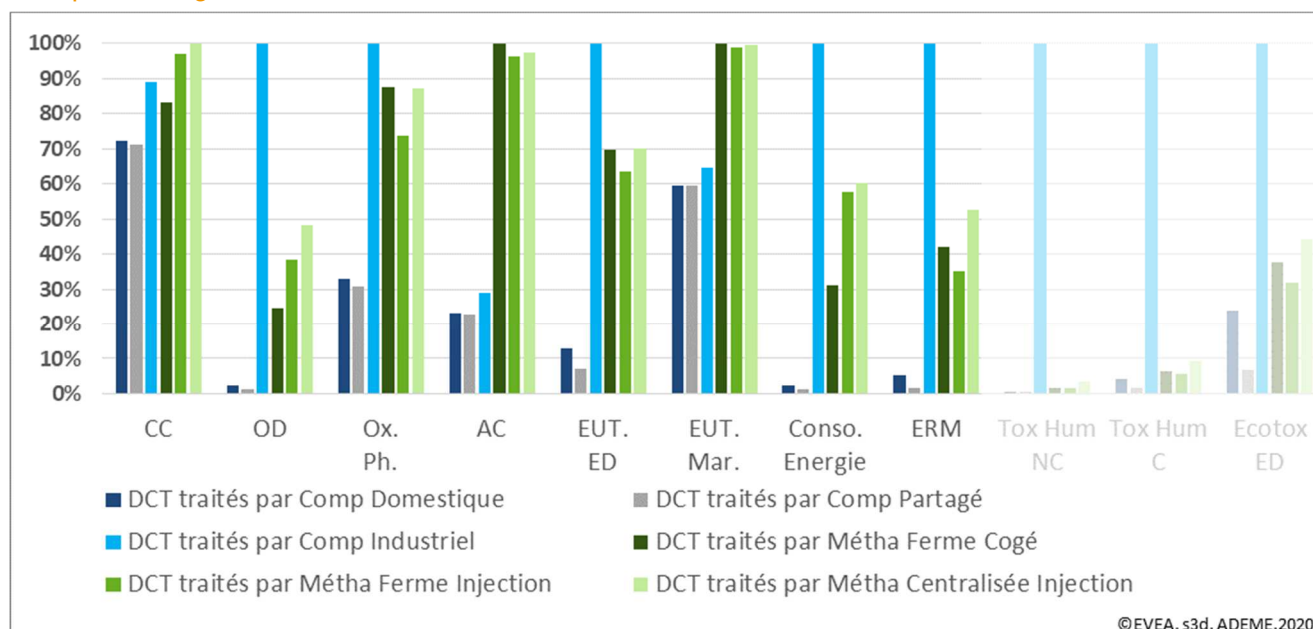


Figure 19 : Comparaison des impacts générés des filières (UF=1 kg DCT traité)

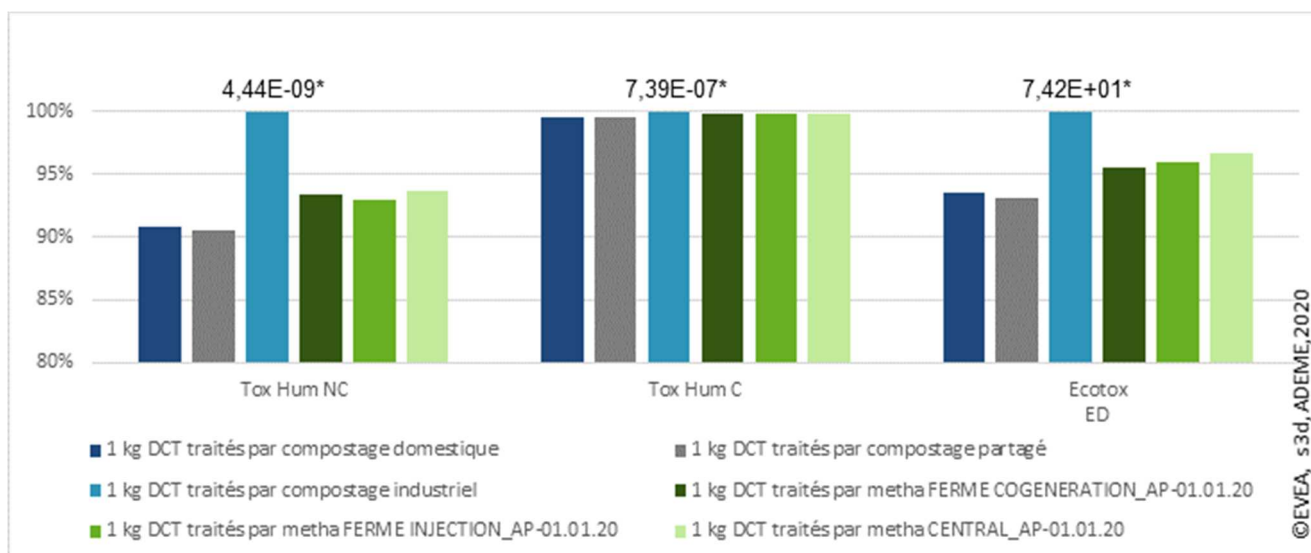
Les filières de compostage domestique et partagé sont les moins impactantes sur l'ensemble des indicateurs. La filière compostage industriel, en revanche, génère des impacts significativement plus importants que les autres filières sur plus de la moitié des indicateurs (5/8, hors indicateurs de toxicité : OD, Ox. Ph., EUT. ED, Conso. Energie, ERM).

Les filières de méthanisation sont les plus impactantes sur les indicateurs changement climatique (CC), acidification (AC), et eutrophisation marine (EUT. Mar.). Les trois filières de méthanisation sont généralement assez proches en termes d'impacts, excepté sur l'indicateur consommation d'énergie où la filière méthanisation à la ferme avec une valorisation du biogaz par cogénération se démarque par son impact plus faible (un site en injection consomme en effet davantage d'énergie notamment pour l'épuration du biogaz).

En ce qui concerne les impacts sur les indicateurs de toxicités (Tox Hum NC, Tox Hum C, Ecotox ED) aucune conclusion ne peut être tirée puisque les différences observées se situent dans la marge d'incertitude (10^2 à 10^3 selon (Fantke, 2017)) et ne sont donc pas jugées significatives. De plus, ces indicateurs sont peu fiables en raison de la non prise en compte des ETM (éléments traces métalliques). Or la valorisation agronomique des déchets organiques soulève leur migration vers les eaux (souterraines et de surface) et leur captation par les plantes qui se retrouveront dans nos assiettes. Sans une prise en compte de ces chaînes de cause à effets sur les catégories d'impact toxicité et écotoxicité, ces indicateurs ne peuvent pas être interprétés de manière pertinente. Les valeurs absolues de ces résultats sont disponibles en annexe 7.1.1.

Au titre d'analyse de sensibilité, la méthode Usetox 2 (recommended + interim), qui prend en compte les métaux lourds, a été testée, conformément aux recommandations liées à l'usage de cette méthode. La Figure 20 présente les résultats d'impacts avec cette méthode, générés pour chacune des six filières, dont les valeurs absolues sont disponibles en annexe 7.1.1., en utilisant la méthode Usetox 2 (recommended).





*Les valeurs numériques indiquées sont les valeurs absolues des scénarios les plus impactant (ramenés à 100%)

Figure 20 : Impacts générés des filières pour les 3 indicateurs de toxicité (Usetox 2 recommended + interim)

De la même façon qu'en Figure 19, les résultats relatifs sur ces indicateurs sont à considérer avec nuance puisque les différences observées entre filières sont jugées non significatives selon (Fantke, 2017).

Comparaison contributive des impacts générés par indicateur

Indicateur changement climatique (CC) :

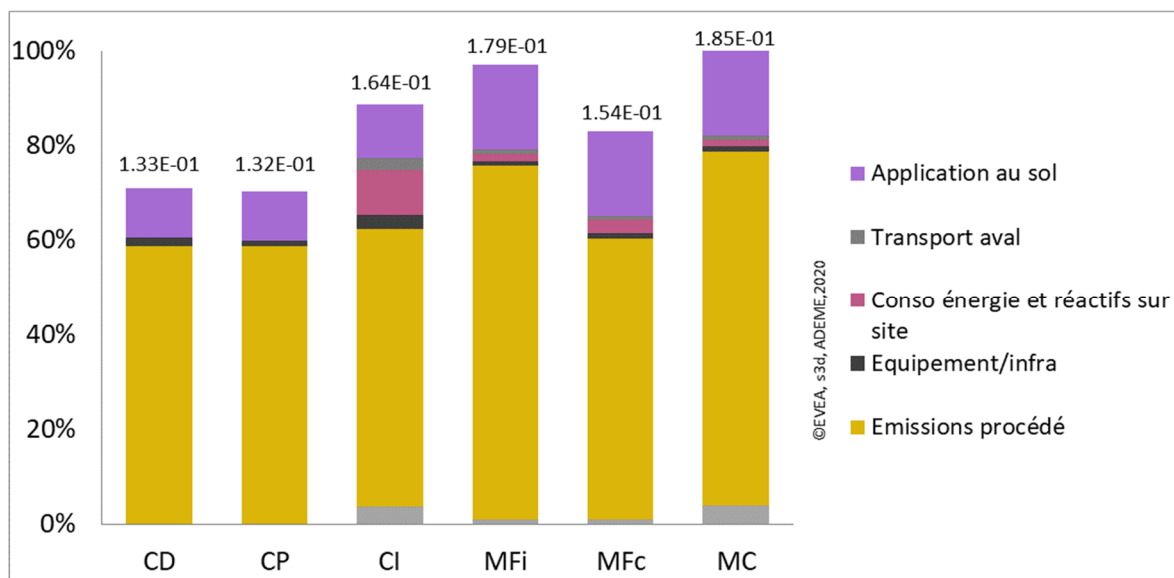


Figure 21 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur changement climatique (UF= 1 kg DCT traité)

Toutes les filières ont des résultats d'impacts assez proches sur cet indicateur (figure 21). Cet indicateur n'est donc pas discriminant.

Pour toutes les filières,

- Les émissions lors du procédé de traitement sont les plus contributrices :
 - Essentiellement les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) pour les filières de compostage
 - Essentiellement les émissions de méthane (CH_4), et de N_2O dans une moindre mesure, pour les filières de méthanisation (respectivement lors de la digestion & du stockage des digestats). Les pertes de CH_4 en cours de digestion (émissions intempestives des soupapes de sécurité)

et lors de l'épuration, fixées respectivement à 5% et 2% du biogaz produit, expliquent ces niveaux d'émissions lors du procédé.

- Les émissions lors de l'application au sol sont les deuxièmes contributrices : essentiellement les émissions de protoxyde d'azote (N_2O).

Des analyses de sensibilités ont été menées sur les facteurs d'émissions de CH_4 pour la méthanisation et de N_2O pour le compostage (cf. paragraphe 5.3 et annexe 7.3.2).

Indicateur oxydation photochimique (Ox. Ph.) :

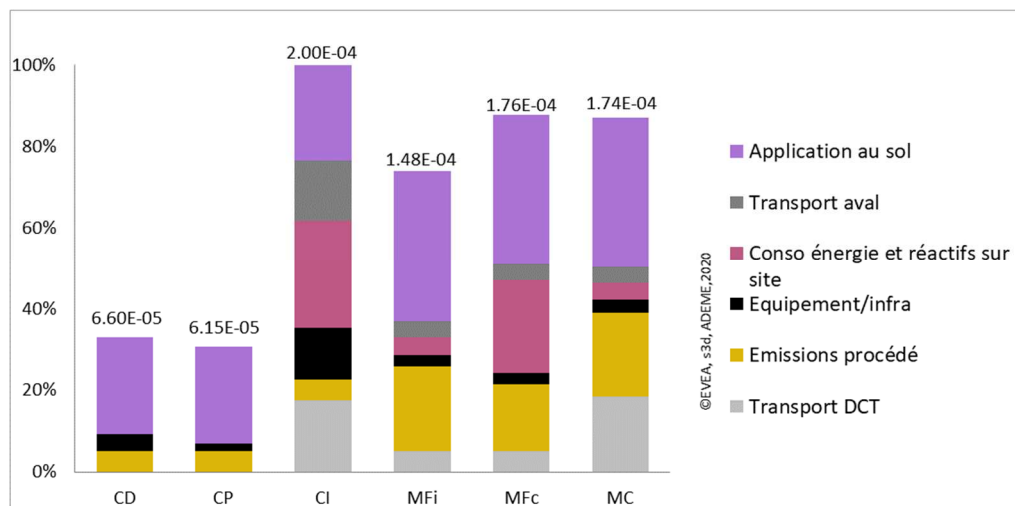


Figure 22 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur oxydation photochimique (UF= 1 kg DCT traité)

Les filières de méthanisation et la filière de compostage industriel (CI) sont les plus impactantes (figure 22), devant les filières de compostage domestique (CD) et de compostage partagé (CP).

Pour toutes les filières, les émissions lors de l'application au sol sont les premières contributrices (essentiellement les émissions d'oxydes d'azote (NO_x)).

Pour les filières de méthanisation, les émissions lors du processus de méthanisation contribuent de façon importante à l'impact (en raison des pertes de méthane lors de la digestion).

Pour la **filière compostage industriel (CI)**, l'énergie consommée sur la plateforme de compostage est le premier contributeur et représente 24 % de son impact, ce qui est essentiellement dû au carburant des engins de manutention (production et combustion), suivi de l'impact du transport des DCT qui représente 17,5 %.

Indicateur acidification (AC) :

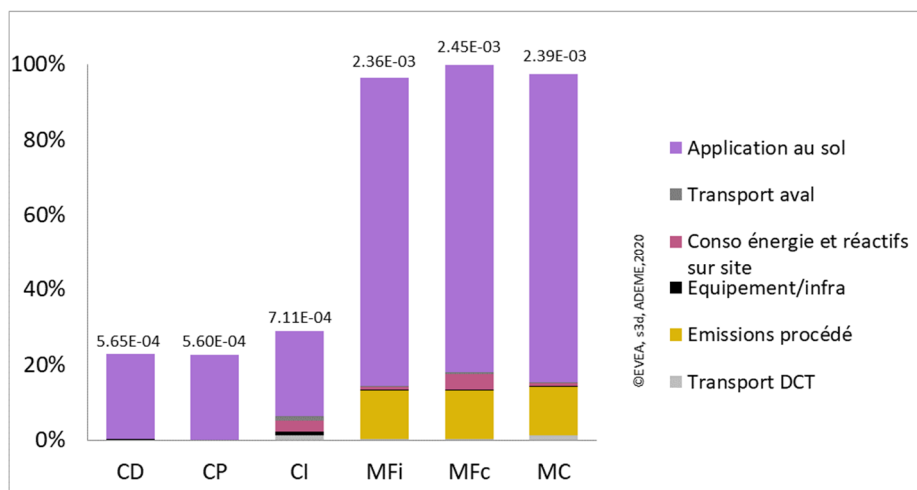


Figure 23 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur acidification (UF= 1 kg DCT traité)

Les filières de méthanisation ont un impact supérieur par rapport aux filières de compostage (figure 23).

Pour toutes les filières, les émissions lors de l'application au sol sont les premières contributrices (essentiellement dues aux émissions de NH_3).

Toutefois, cet impact est sensiblement plus important pour les filières de méthanisation, l'épandage des digestats générant davantage d'émissions de NH_3 et conduisant donc à un impact plus important que l'épandage de compost.

Pour les **filières de méthanisation**, le stockage des digestats représente environ 15 % des impacts de ces filières (essentiellement dus aux fuites de NH_3 , liées au stockage du digestat).

Des analyses de sensibilités ont été menées sur les facteurs d'émissions de NH_3 lors du stockage des digestats (filières méthanisation) (cf. paragraphe 5.3 et annexe 7.3.2)

Les niveaux d'émission lors de l'épandage ont également fait l'objet d'une analyse de sensibilité, en comparant les résultats en fonction des pratiques d'épandage (bonnes pratiques vs mauvaises pratiques) (cf. paragraphe 5.3 et annexe 7.3.3).

Indicateur eutrophisation eau douce (Eut. ED) :

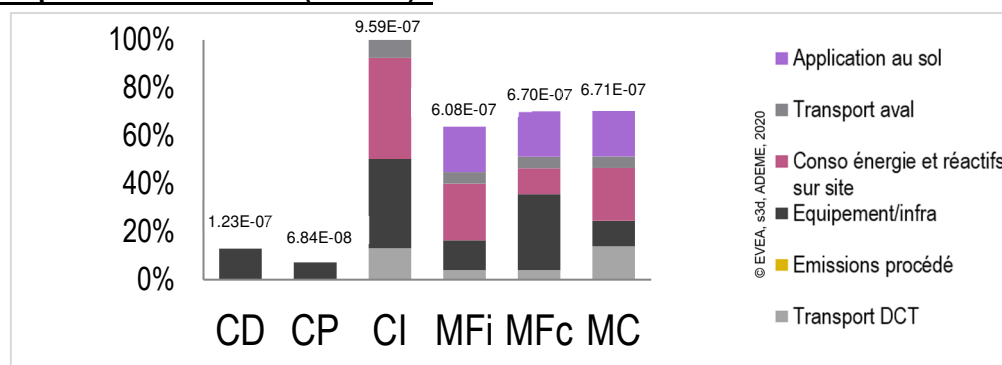


Figure 24 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur eutrophisation eau douce (UF= 1 kg DCT traité)

La filière compostage industriel (CI) a un impact supérieur aux autres filières (figure 24).

Pour les **filières de méthanisation**, l'épandage au champ représente environ 20 % de l'impact, dû aux lixiviations de phosphates prises en compte uniquement lors de l'application au champ de digestats liquides (cf. paragraphe 4.3.9 partie « émissions lors de l'application au sol »). Aucune lixiviation de phosphates n'a été considérée lors de l'apport au sol des composts ou digestats solides car le phosphore présent dans les composts ou digestats solides a peu de répercussion sur les émissions de P estimées par le modèle.

Pour les filières **compostages domestique (CD) et partagé (CP)**, étant donné que les entrants du système sont peu nombreux (équipements : bacs de compostage uniquement), cet équipement ressort comme premier contributeur bien qu'il ne soit pas un enjeu pour ces filières.

Pour la **filière compostage industriel (CI)**, la production et la consommation d'énergie, ainsi que la production des infrastructures de la plateforme de compostage sont les premiers contributeurs.

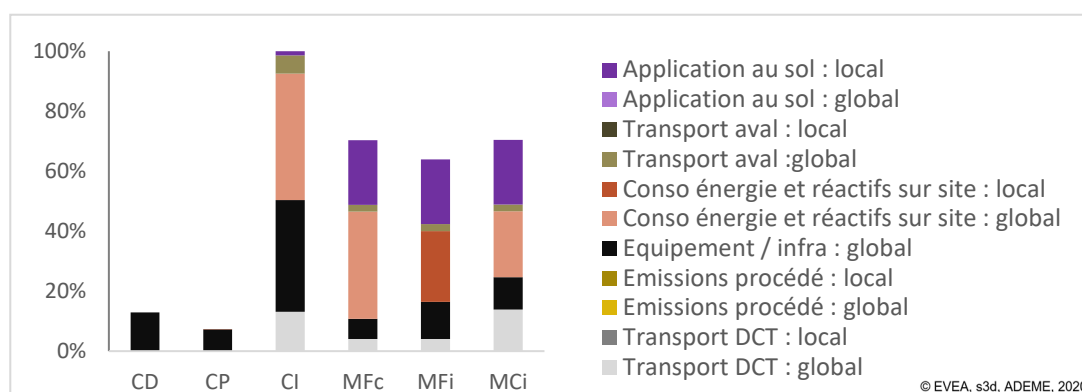


Figure 25 : Comparaison des impacts générés sur l'indicateur eutrophisation eau douce, avec distinction impact local/global

Les activités liées à l'émission de phosphore dans l'environnement et donc responsable de l'eutrophisation des milieux sont majoritairement les activités minières pour la production de métaux (infrastructures), qui génèrent plutôt des impacts eutrophisation dit d'arrière-plan (c.-à.-d. pas imputables directement aux filières de valorisation et donc pas localisés sur le site de traitement des DCT mais plutôt hors de France), à l'exception toutefois, pour les filières méthanisation, des émissions lors de l'application au sol qui génèrent des impacts eutrophisation dits de premier plan (c.-à.-d. imputable directement aux filières de valorisation et localisés sur le site de valorisation en France). Pour les composts, ces flux lors de l'application de phosphore au sol n'ont pas fait l'objet d'un inventaire spécifique puisqu'ils n'engendrent pas d'émissions vers l'environnement (figure 25).

Indicateurs diminution de la couche d'ozone (OD) et consommation d'énergie :

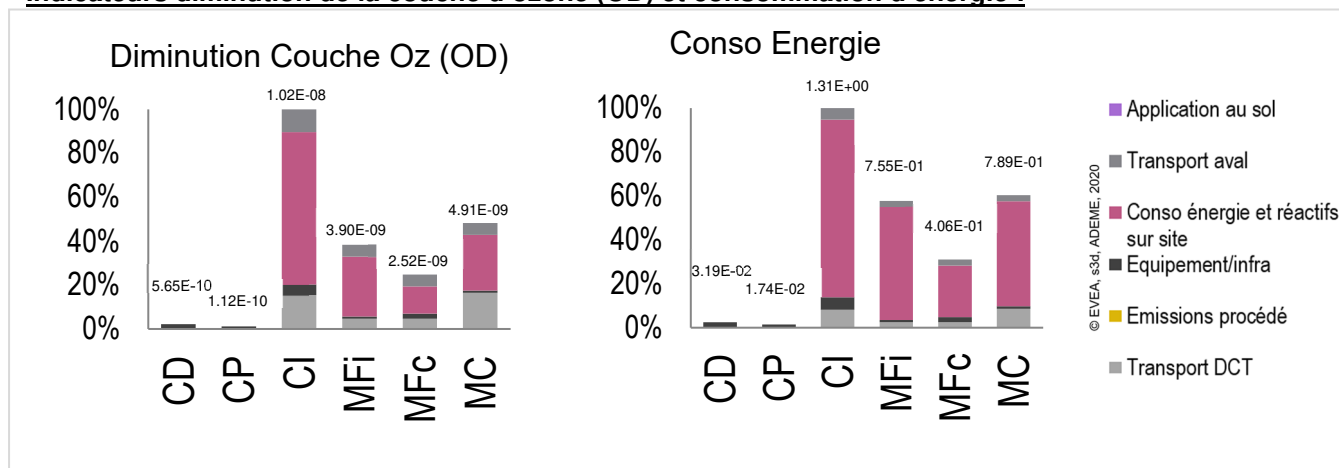


Figure 26 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone et consommation d'énergie (UF= 1 kg DCT traité)

La filière compostage industriel (CI) a un impact supérieur, par rapport aux autres filières, sur ces deux indicateurs (figure 26).

L'énergie consommée sur la plateforme de compostage est le premier contributeur sur les indicateurs OD (69 %) et consommation d'énergie (81 %). La production de l'électricité consommée sur la plateforme ainsi que le carburant pour les engins (production et combustion) contribuent à part équivalente à l'impact sur l'indicateur diminution de la couche d'ozone. Sur l'indicateur consommation d'énergie c'est essentiellement l'électricité consommée sur la plateforme qui y contribue (66 % contre 14 %).

Indicateur épuisement des ressources minérales et métalliques (ERM) :

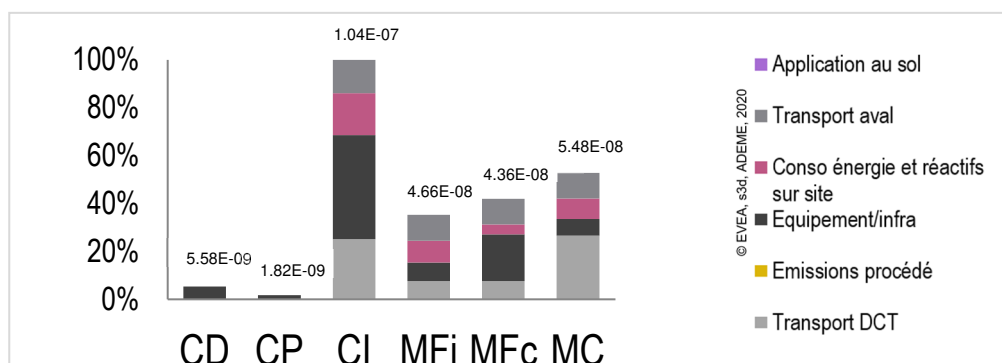


Figure 27 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur épuisement des ressources (UF= 1 kg DCT traité)

La filière compostage industriel (CI) a un impact supérieur par rapport aux autres filières (figure 27).



Pour la filière de **compostage industriel (CI)**, les infrastructures de la plateforme de compostage sont les premiers contributeurs avec 44 %, principalement dus aux métaux utilisés pour la construction de la plateforme.

Pour les filières **compostage Industriel (CI) et méthanisation centralisée (MC)**, les transports amont et aval des matières (DCT/compost ou digestats) représentent respectivement 39 % et 72 % de leurs impacts sur l'ERM dus essentiellement à la maintenance des camions (Plomb).

Indicateur eutrophisation eau marine (Eut. Mar.) :

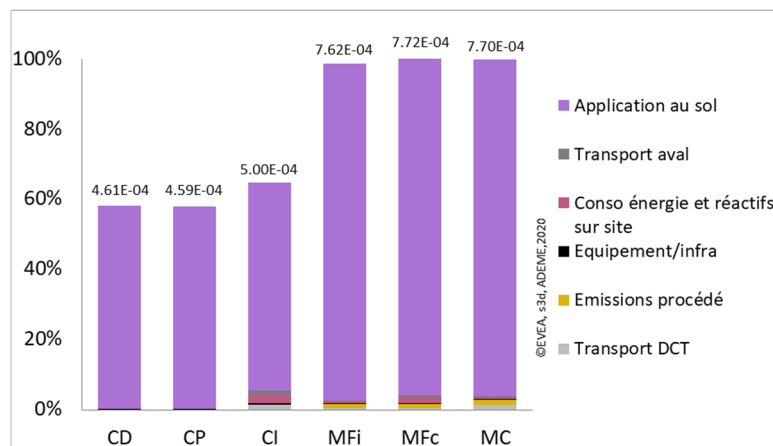


Figure 28 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur d'eutrophisation marine (UF= 1 kg DCT traité)

Les émissions liées à l'application au sol dominent largement l'indicateur eutrophisation marine étant donné que le flux le plus contributeur à cet indicateur est le nitrate (figure 28).

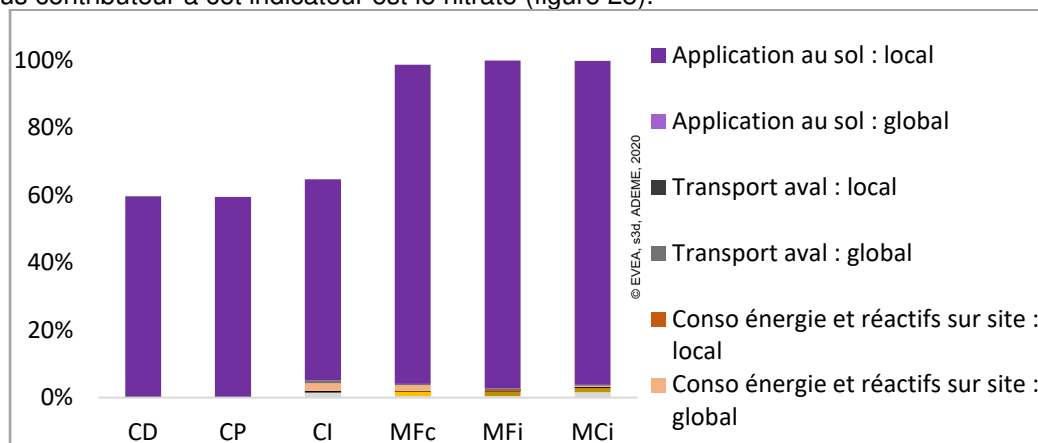


Figure 29 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur d'eutrophisation marine, avec distinction impact local/global

Les flux d'azote liés à l'impact eutrophisation marine ont fait l'objet d'un inventaire spécifique. Il en résulte des impacts locaux des activités de premier plan donc proches des unités de méthanisation (figure 29).

Principaux enseignements : contributeurs principaux

Les principaux contributeurs des **filières de compostage** sont :

- Le processus de compostage (émissions de N_2O)
- L'application du compost au sol (émissions azotées)
- L'énergie consommée sur la plateforme pour la filière compostage industriel
- Les phases de transport (la collecte amont des DCT, et dans une moindre mesure le transport aval) pour la filière compostage industriel

Les principaux contributeurs des **filières de méthanisation** sont :

- L'épandage des digestats (émissions de NH_3 et lixiviation P)
- Les émissions qui ont lieu lors du processus de méthanisation (émissions CH_4)
- L'énergie consommée lors du processus de méthanisation (consommation d'énergie)

5.2.2. Comparaison des impacts évités des filières étudiées

Les impacts évités représentent le potentiel de substitution matière ou énergie du fait de la valorisation agronomique du compost et du digestat et de la valorisation énergétique du biogaz.

Comparaison générale des filières

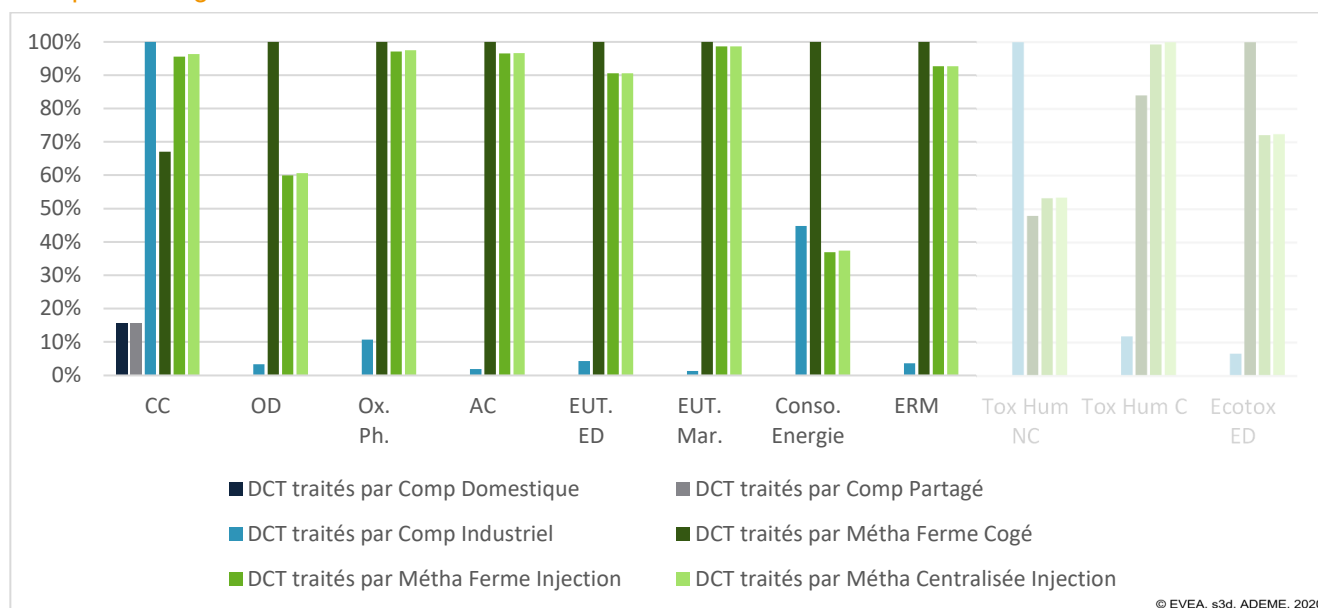


Figure 30 : Comparaison des impacts évités des six filières (UF=1 kg DCT traité)

Les impacts évités potentiels des filières de méthanisation sont nettement plus importants que ceux des filières de compostage (figure 30), à l'exception notable de l'indicateur changement climatique pour la filière compostage industriel.

Les impacts évités potentiels de la filière de méthanisation à la ferme en cogénération sont plus importants sur la plupart des indicateurs que ceux des deux autres filières de méthanisation en injection. Les filières méthanisation en injection génèrent cependant un impact potentiel évité plus important pour l'indicateur changement climatique que la filière en cogénération.

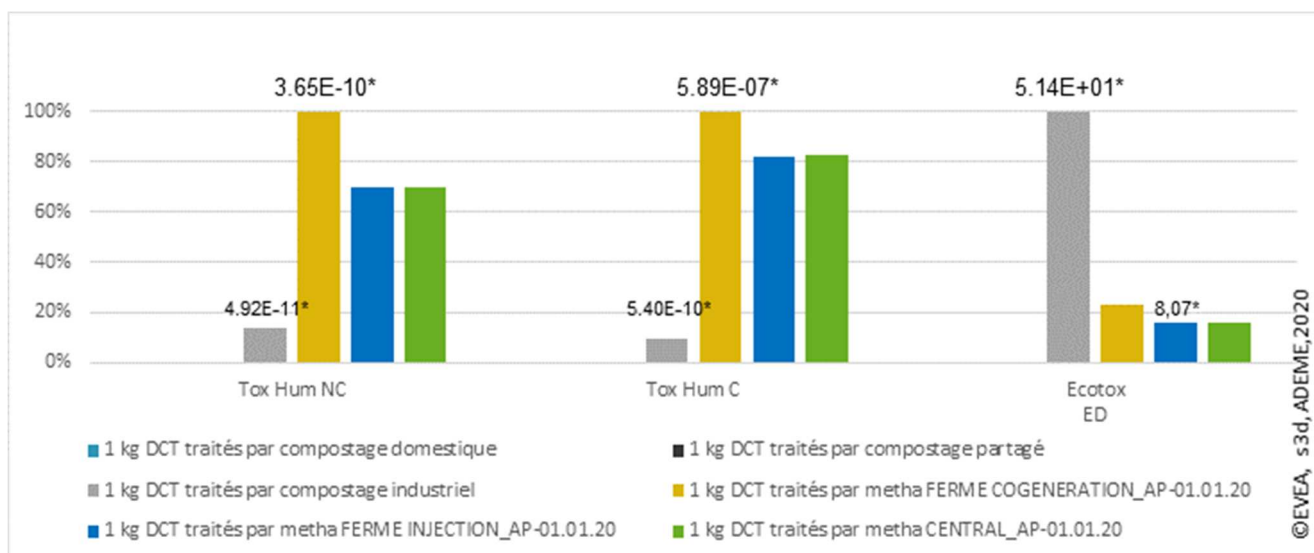
Il n'y a que peu d'impacts évités pour les filières de compostage domestique et partagé puisque seul a été pris en compte le stockage de carbone dans le sol (cf. paragraphe 4.2.8). Ce stockage de carbone n'a d'effet bénéfique que sur l'indicateur changement climatique.

Pour la filière compostage industriel, en plus de la prise en compte d'un stockage de carbone dans le sol, une quantité évitée de tourbe a été considérée et génère la majorité des impacts évités de cette filière. Cependant, en dehors du potentiel sur le changement climatique, les bénéfices environnementaux potentiels sont inférieurs à ceux apportés par la substitution d'engrais minéraux azotés et phosphorés via l'usage du digestat pour les filières méthanisation.

La Figure 30 : Comparaison des impacts évités des six filières (UF=1 kg DCT traité)

présente les résultats d'impacts évités des six filières, en utilisant la méthode Usetox 2 (recommended) pour les indicateurs de toxicité et écotoxicité (les valeurs absolues sont disponibles en annexe 7.1.2). Conformément aux recommandations liées à l'usage de la méthode Usetox 2, nous réalisons ci-dessous une analyse de sensibilité en utilisant la méthode Usetox 2 (recommended + interim), qui prend en compte les métaux lourds (cf. figure 31).





*Les valeurs numériques indiquées sont les valeurs absolues des scénarios les plus et les moins impactant

Figure 31 : Impacts évités des six filières pour les trois indicateurs de toxicité (Usetox 2 recommandé + interim)

De la même façon qu'en figure 30 les résultats sur ces indicateurs se situent dans la marge d'incertitude de la méthode selon (Fantke, 2017) et sont à considérer avec nuance puisque les différences observées entre filières sont jugées non significatives.

Contribution relative aux impacts évités par filière

Les graphiques de cette partie sont représentés en base 100 pour chaque catégorie d'impact. Les catégories d'impact ne doivent pas être comparées entre elles. C'est au sein d'une même catégorie d'impact, que les contributions des différentes substitutions peuvent être comparées.

Méthanisation à la ferme en cogénération

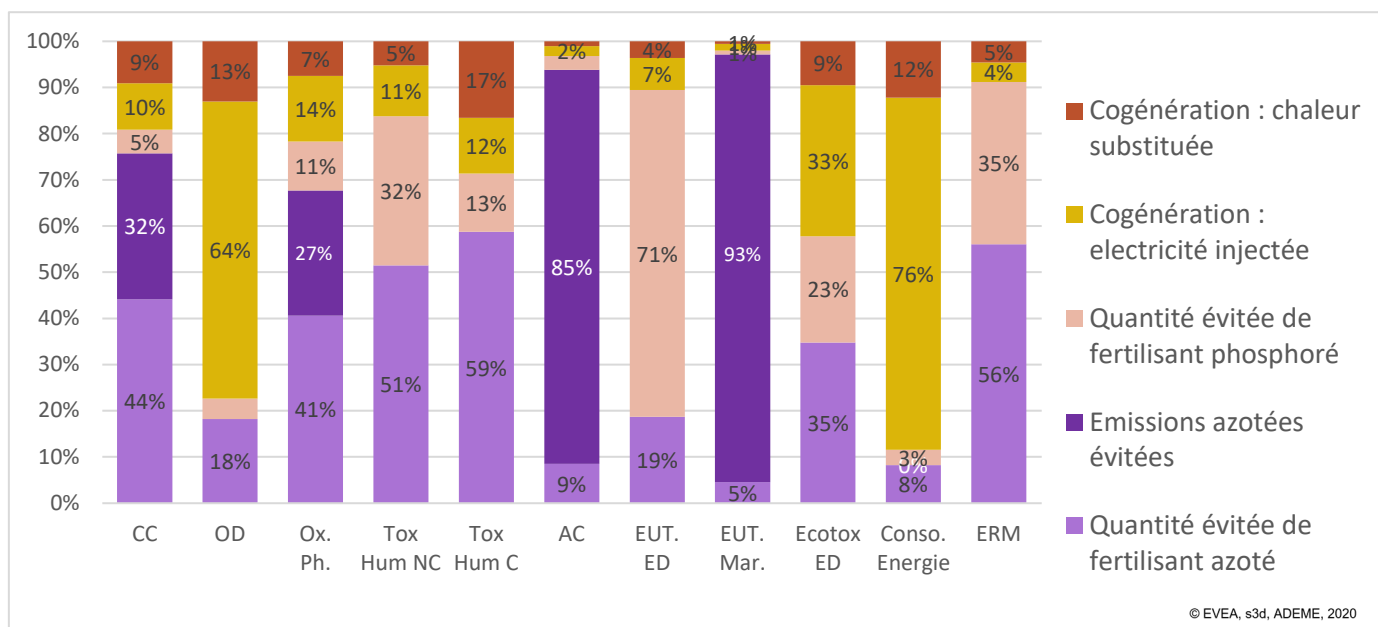


Figure 32 : Distribution des impacts évités pour la filière Méthanisation à la Ferme Cogénération

Pour la filière méthanisation à la ferme en cogénération, les principaux contributeurs aux impacts évités sont (figure 32) :

- La valorisation du contenu azote des digestats, principalement sur les indicateurs changement climatique (CC), oxydation photochimique (Ox. Ph.), acidification (AC) et eutrophisation marine (EUT. Mar.)
- La valorisation du contenu phosphore des digestats, principalement sur l'indicateur eutrophisation eau douce (EUT. ED)



- La cogénération, principalement sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone (OD), consommation d'énergie

N.B. : Pour la filière cogénération : l'électricité est substituée au mix français électrique alors qu'en pratique on substitue à des types d'énergie particuliers qui pourraient être de l'énergie issue du fioul et du charbon (émettrices en CO₂).

Méthanisation à la ferme en injection

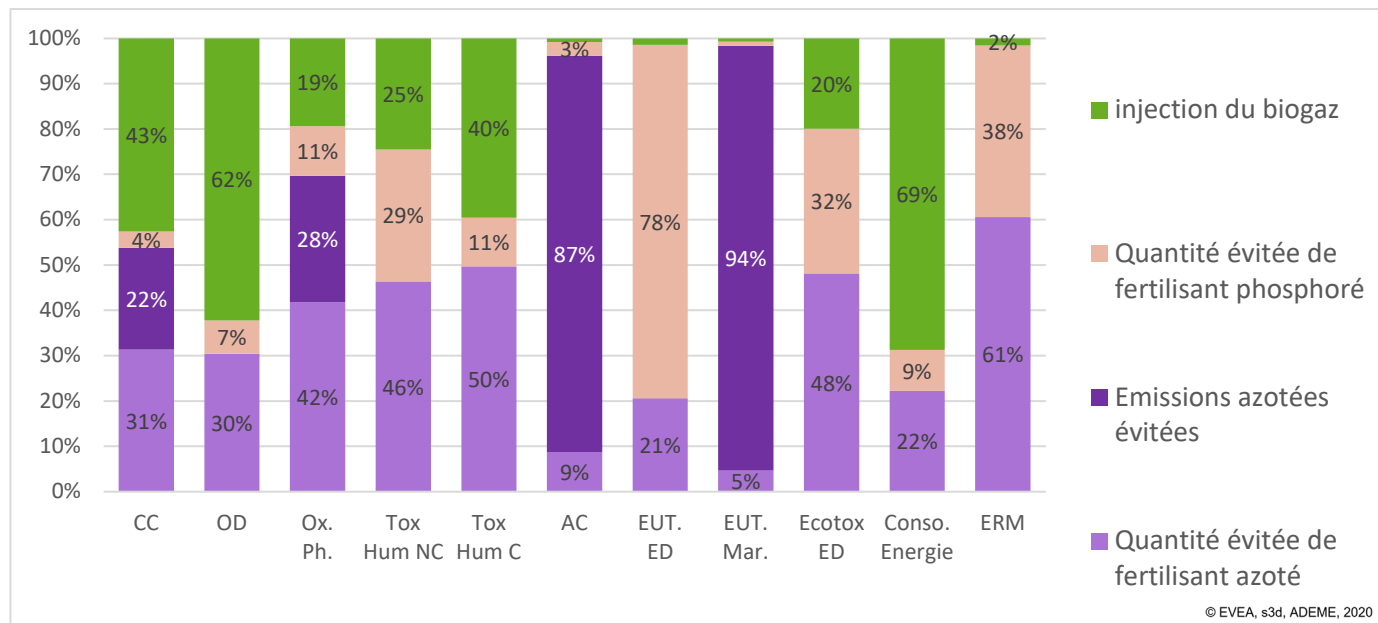


Figure 33 : Distribution des impacts évités pour la filière Méthanisation à la Ferme Injection

Pour la filière méthanisation à la ferme en injection, les principaux contributeurs aux impacts évités sont (figure 33):

- La valorisation du contenu azote des digestats, principalement sur les indicateurs acidification (AC) et eutrophisation marine (EUT. Mar.), oxydation photochimique (Ox. Ph.), et changement climatique (CC),
- La valorisation du contenu phosphore des digestats, principalement sur l'indicateur eutrophisation eau douce (EUT. ED)
- L'injection du biogaz produit, principalement sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone (OD), consommation d'énergie et changement climatique.

5.2.3. Focus sur les impacts agrégés pour les filières méthanisation

Il est généralement recommandé de ne pas présenter les résultats d'impacts générés et d'impacts évités de manière agrégée car cela peut conduire à des erreurs d'interprétation. Toutefois, le choix a été fait de présenter des résultats en termes d'impacts agrégés uniquement pour les filières méthanisation (figure 34). Ce choix d'exclusion des filières de compostage pour la présentation des résultats agrégés est justifié par les raisons suivantes :

- Les filières compostage et méthanisation s'appuient sur des hypothèses très différentes, avec de nombreuses incertitudes.
- Les scénarios utilisés pour estimer les impacts évités par la production de compost (filieres compostage) sont moins robustes que pour les digestats (filieres méthanisation) qui reposent sur une méthodologie reconnue (Brockman et al., 2018), une substitution robuste basée sur les éléments nutritifs et des inventaires de fertilisants de synthèse de qualité.
- Pour le compost, le choix de substitution par la tourbe est plus discutable, la tourbe étant peu utilisée en agriculture mis à part pour les cultures hors sol. De plus l'apport d'amendement génère des bénéfices plus complexes qui ne peuvent être exprimés par la seule valeur de la matière organique apportée. Ainsi,



on peut avancer que les avantages potentiels de l'amendement apportés par le compost sont minimisés par l'ACV.

- Les données ne permettant donc pas une comparaison exhaustive de l'ensemble des impacts et bénéfices environnementaux de ces filières, les comparer du point de vue des impacts agrégés risquerait de dégager des conclusions simplistes sur l'intérêt de ces filières les unes par rapport aux autres.

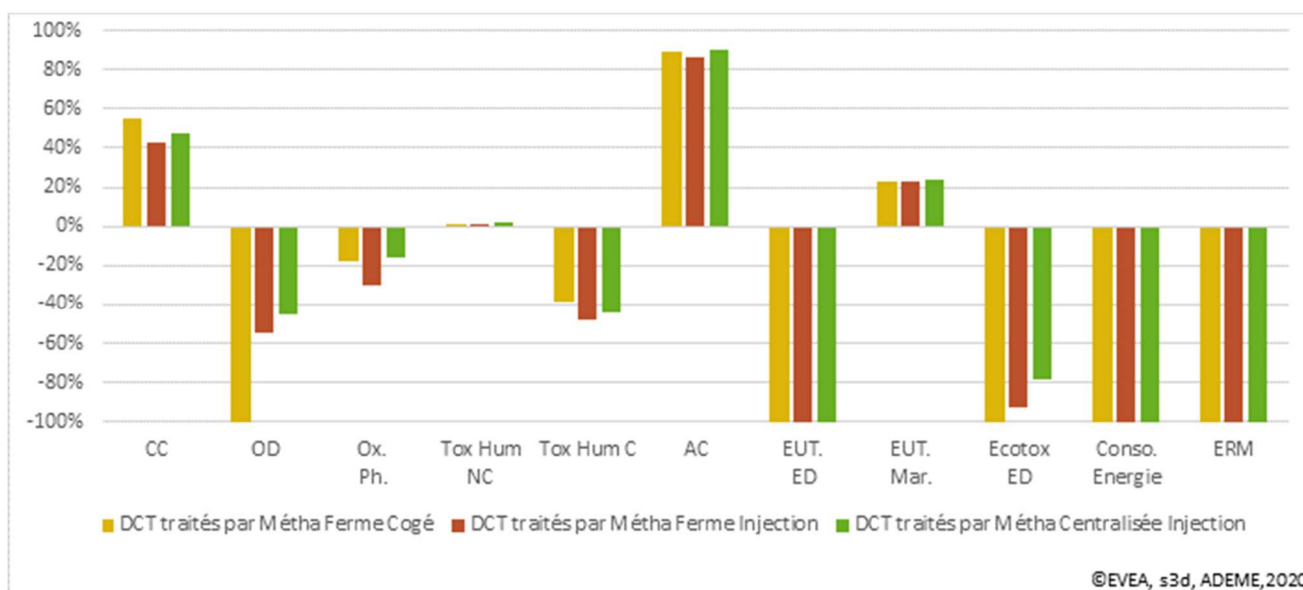


Figure 34 : Comparaison des impacts agrégés des filières méthanisation (UF=1 kg DCT traité)

Les impacts agrégés sont ici discutés pour les filières méthanisation.

Les résultats présentés ci-dessus sont interprétés au regard du traitement des résultats par analyse d'incertitude (A.I.) (cf. Annexe 7.2).

Les filières de méthanisation présentent une balance favorable sur l'environnement (<0) pour 7 des 11 indicateurs, dont 4 indicateurs dont la robustesse est de niveau II (recommandés mais des améliorations nécessaires) et 2 indicateurs de niveau III (à considérer avec prudence). Ceci s'explique par l'importance des impacts potentiels évités sur ces filières : en effet la valorisation des contenus azoté et phosphoré des digestats ainsi que les valorisations énergétiques (injection ou cogénération) peuvent potentiellement compenser les impacts générés sur la plupart des indicateurs.

5.3. Analyse de sensibilité

Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour tester la robustesse des conclusions par rapport à la variation de certains paramètres (tableaux 34).

Les conclusions de ces analyses de sensibilité sont présentées ici, les valeurs détaillées des paramètres, les résultats d'impacts sont présentés en annexe 7.23 pour ceux présentant une importance qualifiée de « forte ».

Paramètres de sensibilité	Valeurs considérées	Conclusions	Importance du paramètre
Prise en compte des impacts évités : substitution : (concerne toutes les valorisations (N, P, tourbe))	AVEC vs SANS substitution à l'épandage (engrais ou tourbe)	<u>Analyse de sensibilité portant sur des paramètres de toutes les filières :</u> Sur le changement climatique, la non prise en compte des substitutions à l'épandage réduit les impacts évités : les filières CI, MFC, MFi et MC sont plus impactantes. Les indicateurs Oxydation Photochimique, Eutrophisation ED, et épuisement des ressources minérales, pour lesquels la balance des impacts agrégés était positive pour les filières de méthanisation, présentent des balances négatives lorsqu'on considère que la substitution d'engrais grâce à l'épandage du digestat est nulle.	Forte
Facteur d'émission CH₄ (pertes lors de la digestion)	{REF=5% ; MIN=0% ; MAX=20%}	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur des paramètres des filières de méthanisation :</u> Sur le changement climatique, la prise en compte de la valeur maximale de pertes entraîne une forte augmentation des impacts des filières de méthanisation qui deviennent les plus impactantes.	Forte
Facteur d'émission N₂O lors du compostage	{REF=0,36 kg N ₂ O/t MB DCT ; MIN=0}	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur des paramètres des filières de compostage :</u> Sur le changement climatique, la prise en compte d'une valeur nulle d'émission de N ₂ O entraîne une forte diminution des impacts des filières de compostage qui deviennent les moins impactantes par rapport aux filières de méthanisation.	Forte
Types de pratiques d'épandage	Bonnes pratiques VS Mauvaises pratiques	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur des paramètres des filières de méthanisation et compostage industriel :</u> Fortes variations des impacts pour les filières de méthanisation (car à la différence de la filière CI) ces pratiques ont un impact sur les émissions générées mais également sur les impacts évités liés à l'azote. Les filières de méthanisation deviennent plus impactantes que les filières de compostage sur les indicateurs changement climatique, Acidification et Eutrophication ED.	Forte
Facteur de substitution équivalent azote (MFE)	Pour digestats liquides : {REF=0,7 ; MIN= 0,5} Pour digestats solides : {REF=0,4 ; MIN= 0,15}	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur des paramètres des filières de méthanisation :</u> Sur le MFE digestat liquide : Les filières de méthanisation deviennent plus impactantes que les autres. Sur l'indicateur oxydation Photochimique, la balance entre impacts générés et évités qui était positive pour les filières de méthanisation devient négative. Sur le MFE digestat solide : Pas de modification des conclusions comparatives entre filières	Moyenne
Facteur de substitution tourbe	{REF=1 ; MIN=0,25}	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur un paramètre de la filière compostage industriel :</u> Augmentation des impacts sur tous les indicateurs pour la filière compostage industriel (CI) : fortes variations sur 2 indicateurs (CC et Conso d'énergie) qui inversent les conclusions comparatives : la filière CI est alors la filière la plus impactante sur l'ensemble des indicateurs analysés ici.	Moyenne

Tableau 34 : Conclusions des analyses de sensibilité menées (1/2)



Paramètres de sensibilité	Valeurs considérées	Conclusions	Importance du paramètre
Facteur de substitution équivalent phosphore	{REF=1 ; MIN=0,8}	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur des paramètres des filières de méthanisation :</u> Aucune variation sur les indicateurs excepté sur l'eutrophisation marine où les variations sont extrêmement faibles.	Faible
Facteur d'émission NH ₃ lors du stockage des digestats	{REF=0,0136 kg/t MB DCT ; MAX=0,068 kg/t MB DCT}	<u>Analyse de sensibilité ne portant que sur des paramètres des filières de méthanisation :</u> Pas de modification des conclusions comparatives entre filières	Faible
Méthode de caractérisation	EF 2018 VS Recipe 2016 Midpoint H	<u>Analyse de sensibilité concernant toutes les filières :</u> Toutes les analyses sont réalisées en relatif puisque les unités des indicateurs issus des 2 méthodes ne sont pas les mêmes : les valeurs absolues ne peuvent être comparées. En remplaçant la méthode d'analyse EF 2018 par ReCiPe 2016 v1.1 midpoint (H) on observe des modifications dans les conclusions comparatives concernant 4 indicateurs sur 11, cependant il est important de noter que ces indicateurs sont tous de faible robustesse dans l'une et/ou l'autre méthode retenue : Diminution de la couche d'ozone (OD) : les impacts des filières Compostage Domestique (CD) & Compostage Partagé (CP) sont équivalents à celui de la filière Compostage Industriel (CI) alors qu'elle avait avec la méthode de référence un impact plus élevé==> N.B. le modèle utilisé dans la méthode EF 2018 a été classé de niveau 1 (recommandé et satisfaisant) Toxicité humaine (Non cancer) : Toutes les filières semblent avoir des impacts équivalents alors que la filière CI avait avec la méthode de référence un impact plus élevé==> Cet indicateur est peu robuste comme il l'est également dans le modèle utilisé dans la méthode EF2018 Ecotoxicité ED : Les filières CD et CP ont des impacts semblables alors que CP avait avec la méthode de référence un impact plus faible que CD==> Cet indicateur est peu robuste comme il l'est également dans le modèle utilisé dans la méthode EF2018 Ressources fossile (Fossil Res) : Les filières CI, méthanisation à la ferme en injection (MFi) et méthanisation centralisée (MC) ont le moins d'impact sur cet indicateur alors que la filière méthanisation à la ferme en cogénération (MFC) avait avec la méthode de référence l'impact le plus faible==> Modèle non retenu par le groupe de travail de la commission européenne (JRC, 2011).	Faible

Tableau 34 : Conclusions des analyses de sensibilité menées (2/2)

Quatre des neufs paramètres ont été identifiés comme **clés** pour les résultats de l'ACV comparative :

- Les facteurs d'émissions gazeuses des processus de digestion et de compostage :
 - Facteur d'émission CH₄ (pertes lors de la digestion)** : la valeur maximale inverse les résultats comparatifs sur l'indicateur CC, cependant il est impossible dans l'état actuel des connaissances de dire si une valeur de pertes de 20% peut être fréquemment rencontrée sur les installations en fonctionnement (ni même si la valeur de 5% retenue dans cette ACV est bien une valeur moyenne représentative). Ce niveau de pertes est très dépendant des conditions d'exploitation (suralimentation, fonctionnement de la torchère versus enclenchement de la soupape...). Le projet TrackyLeaks avait mesuré un niveau de perte de 20% sur une installation pour laquelle la soupape était ouverte 70% du temps qu'avait duré la mesure. La suite de TrackyLeaks, FELeacks, devrait permettre de mieux appréhender les niveaux de perte possibles grâce à des campagnes de mesure sur une dizaine de sites. **Ainsi, la valeur de pertes de CH₄ retenue pour l'ACV est raisonnable dans l'état actuel des connaissances, mais pourra être revue à la hausse ou à la baisse à l'avenir avec une analyse plus précise des niveaux de pertes possibles en fonction des conditions d'exploitation. L'ADEME préconise un suivi des pertes (soupape de sécurité) et fuites (via des suivis à l'infrarouge) de méthane.**
 - Facteur d'émission N₂O lors du compostage** : la valeur minimale inverse les résultats comparatifs sur l'indicateur CC, cependant la valeur de référence s'avère être justifiée et a été



discutée avec des experts chercheurs d'INRAE. Le facteur d'émission de N₂O pris dans les filières de référence est raisonnable dans l'état actuel des connaissances.

- L'approche de la substitution qui génère des impacts évités, notamment à travers la prise en compte de la substitution ou non à des engrais : en effet les impacts évités liés à ces quantités évitées d'engrais (N et P) et leurs émissions associées ont un impact fort sur les résultats. C'est pourquoi tout au long de cette analyse, nous nous sommes efforcés de présenter les résultats sur les trois plans : impacts générés, impacts évités et impacts agrégés.
- Le type de pratiques d'épandage : la variété des pratiques d'épandage est telle qu'il est difficile d'appréhender des pratiques standards pour cette ACV. Ce paramètre est un paramètre très influençant et qui reste difficile à préciser d'où l'analyse de sensibilité réalisée en « best case/worst case » afin d'envisager la gamme de valeurs potentielles sur les différents indicateurs selon les pratiques d'épandage réalisées.

6. Conclusion / Perspectives

Cette étude visait à développer une analyse de cycle de vie (ACV) comparative de six filières de traitement de DCT (trois filières par voie de compostage, et trois filières par voie de méthanisation) afin d'en déterminer les impacts environnementaux potentiels respectifs.

L'analyse est représentative des pratiques du territoire français, et les DCT sont ceux des ménages. Les DCT des industries agro-alimentaires, des magasins de distribution, de la restauration collective et des artisans sont exclus du champ de l'étude.

L'unité de référence (unité fonctionnelle) retenue pour l'évaluation est le traitement d'un kilogramme de DCT.

L'étude ACV a fait l'objet d'une revue critique dont le rapport est joint en annexe.

Pour chacune des filières, l'analyse sépare les impacts potentiels générés par le traitement des DCT des impacts évités par la valorisation des coproduits de la filière de traitement (énergie : production de biogaz, chaleur, électricité, ou fertilisation et stockage de carbone dans les sols : engrais, amendement).

Pour l'analyse et l'interprétation des résultats comparatifs entre filières, bien qu'il soit tentant de le faire et que d'autres études s'autorisent à franchir le pas, il n'est pas recommandé, pour des raisons de cohérence et de robustesse méthodologique¹², d'agréger les résultats des impacts générés et des impacts évités.

Enfin, ce travail répond aux questions posées à l'ADEME sur le choix des filières de traitements en montrant que la simple comparaison des filières pour une même unité de déchets n'est pas suffisante. D'un point de vue territoriale les déchets de cuisine et de table n'auront pas une destination unique et les éléments du présent travail pourront être réutilisés lors d'évaluations environnementales de différentes organisations territoriales.

6.1. Impacts potentiels générés par les différentes filières

De la comparaison des résultats d'impacts potentiels entre les six filières, il ressort que :

- La filière de compostage industriel est significativement plus impactante sur une majorité des indicateurs (6/11). Elle fait également partie des filières les plus impactantes pour le changement climatique.
- Les filières de compostage domestique et partagé sont les moins impactantes sur l'ensemble des indicateurs.
- Les filières de méthanisation sont les plus impactantes sur 3/11 des indicateurs. Les trois filières de méthanisation sont généralement assez proches en termes d'impacts, excepté sur l'indicateur consommation d'énergie où la filière méthanisation à la ferme en cogénération se démarque par son impact plus faible.

¹² D'une part, les impacts potentiels générés et les impacts potentiels évités ont généralement lieu sur des territoires différents, et d'autre part ils ne sont pas forcément comparables du fait de potentiels transfert d'impacts (potentiellement à des échelles différentes, locales, régionales, ou globales). De plus, les incertitudes sur les hypothèses (par exemple l'hypothèse de « 1 kg de biogaz évite la production de 1 kg de gaz naturel) et les différents niveaux de qualité des données (par exemple données de premier plan pour des impacts générés et données de second plan pour des impacts évités) rendent les résultats respectifs difficilement agrégeables sans biais.



6.1.1. Principales conclusions relatives aux filières de compostage

Parmi les filières de compostage, la filière de compostage industriel est la filière qui ressort comme significativement la plus impactante sur l'ensemble des indicateurs, exceptés pour le changement climatique et l'eutrophisation marine, indicateurs pour lesquels l'impact de la filière compostage industriel est aussi supérieur mais de manière relativement moins significative.

Les principaux contributeurs aux impacts de la filière compostage industriel sont :

- Le transport pour la collecte des DCT et pour l'acheminement des produits de valorisation post-traitement
- L'énergie consommée sur la plateforme
- Les infrastructures
- Dans une moindre mesure, les émissions lors de l'épandage

Concernant le changement climatique, les trois filières de compostage ont un impact sensiblement équivalent par kg de DCT traité, dont les contributeurs principaux sont, par ordre d'importance, les émissions de protoxyde d'azote et de méthane.

6.1.2. Principales conclusions relatives aux filières de méthanisation

Les impacts potentiels générés par chacune des trois filières de méthanisation étudiées sont sensiblement équivalents. Il convient toutefois de noter que la méthanisation à la ferme avec cogénération :

- a un impact réduit par rapport aux deux autres filières sur la consommation d'énergie (impact divisé par 2) en raison d'un procédé moins énergivore (pas de consommation d'électricité pour l'épuration), et sur la diminution de la couche d'ozone (moins 50% par rapport à la méthanisation centralisée) en raison d'une moindre consommation d'énergie pour le procédé et d'un transport moins important pour la collecte,
- a un impact moindre de 15% par rapport à la méthanisation centralisée, même si cet écart reste peu significatif, pour le changement climatique en raison d'émissions de méthane potentiellement inférieures lors du processus de méthanisation (pas de pertes à l'épuration).

Les principaux contributeurs aux impacts des filières de méthanisation sont :

- L'épandage des digestats (émissions de NH₃ et lixiviation P)
- Les émissions fugitives de CH₄ lors du processus de méthanisation
- L'énergie requise pour le processus de méthanisation

Il est important de souligner que le calcul des émissions lors de l'apport au sol repose sur des estimations des compositions des matières organiques en azote et en phosphore. A défaut de données moyennes de composition des digestats, cette estimation repose sur des hypothèses fortes (tous les éléments présents dans les DCT se retrouvent dans le digestat brut puis sont répartis dans les digestats liquide et solide selon un ratio empirique basé sur la bibliographie) qui peuvent avoir des conséquences sur les émissions. **A noter que dans le cas de mauvaises pratiques d'épandage et/ou des pertes de CH₄ importantes, les filières de méthanisation deviennent plus impactantes que les filières de compostage sur les indicateurs changement climatique, acidification et eutrophisation eau douce.**

6.2. Impacts potentiels évités par chacune des différentes filières

D'une manière générale les impacts potentiellement évités par les filières de méthanisation via la cogénération ou l'injection de biométhane dans le réseau sont très supérieurs aux impacts évités par les filières de compostage, à l'exception notable de l'impact sur le changement climatique pour le compostage industriel. La méthanisation présente davantage d'impacts évités que le compostage en raison des quantités évitées d'engrais liées à la valorisation des digestats (N et P) et de l'énergie valorisée (biogaz).

De la comparaison des résultats d'impacts potentiellement évités, il ressort que :

- Les impacts évités relatifs à chacune des trois filières de méthanisation sont sensiblement équivalents.
- Toutefois, la cogénération montre des impacts évités potentiels supérieurs sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone et sur la consommation d'énergie (respectivement +65% et +150% pour la cogénération par rapport aux deux autres filières de méthanisation), et significativement inférieurs sur le changement climatique (-30% pour la cogénération par rapport aux deux autres filières de méthanisation).

6.2.1. Principales conclusions relatives aux filières de compostage

Les impacts évités pour les filières de compostage domestique et partagé sont faibles puisque seul un stockage de carbone dans le sol a été considéré en termes de substitution. Ce stockage de carbone n'a d'effet bénéfique que sur l'indicateur changement climatique.

Pour la filière compostage industriel, en plus d'un stockage de carbone dans le sol, une quantité évitée de tourbe a été considérée entraînant la majorité des impacts évités de cette filière. Cependant les bénéfices environnementaux potentiels sont moindres que ceux apportés par les quantités de fertilisants azotés et phosphorés des filières de méthanisation.

Selon (Favoino, 2008), l'application de compost a d'autres effets sur les émissions de gaz à effet de serre et l'atténuation des impacts liés au changement climatique (non pris en compte dans cette analyse).

1. Réduction de l'utilisation des pesticides (ce qui impliquerait une réduction des émissions de gaz à effet de serre associées à leur production, ainsi que des avantages environnementaux plus larges).
2. Facilitation du travail du sol par sa décompaction (ce qui pourrait conduire à réduction de la consommation de carburant).
3. Réduction des besoins en eau d'irrigation pendant les périodes de la sécheresse.
4. Augmentation du potentiel de rétention de l'humidité par les sols durant les périodes de pluie, ce qui réduit la probabilité d'inondation.

6.2.2. Principales conclusions relatives aux filières de méthanisation

Pour la filière méthanisation à la ferme (générant les principaux impacts évités), les principaux contributeurs aux impacts évités sont :

- La valorisation du contenu en azote des digestats, principalement sur les indicateurs changement climatique, création d'ozone photochimique, acidification, et eutrophisation marine.
- La valorisation du contenu en phosphore des digestats, principalement sur l'indicateur eutrophisation eau douce.
- Le procédé de cogénération, principalement sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone et consommation d'énergie
- L'injection du biométhane, principalement sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone, consommation d'énergie et changement climatique

Il est important de souligner que les quantités évitées d'engrais liées à la valorisation des digestats (N et P) sont calculées à partir d'estimations de la composition en azote et en phosphore des digestats. A défaut de données moyennes, cette estimation repose sur des hypothèses fortes qui peuvent avoir des conséquences sur les quantités d'engrais évitées et les émissions associées.

N.B. : Pour la filière cogénération, l'électricité produite est considérée comme permettant de substituer la même production générée par le mix électrique français, ce qui reste une approche *a priori* simpliste mais raisonnable dans le cadre de la réalisation de cette ACV attributionnelle. Pour une plus grande pertinence et notamment dans le cadre d'une ACV conséquentielle, il serait nécessaire de se référer à la quantité (production fatale) et la qualité du mix substitué en fonction des plages horaires et saisonnières.

6.3. Principales conclusions sur les paramètres influençant les résultats de l'ACV

Sur l'indicateur changement climatique, les premiers contributeurs sont les pertes de biogaz (CH₄) pour les filières de méthanisation, et les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) pour les filières compostage.

- En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de dire si un taux de fuite des soupapes de sécurité de 5% de biogaz au niveau de la digestion est représentatif de la réalité étant donné la grande variabilité en fonction des sites (de même que les pertes par torchère et lors de l'épuration). Un taux de pertes supérieur à celui considéré dans le scénario de référence pourrait obérer le bilan carbone des filières de méthanisation par rapport aux scénarios de compostage, **et à l'inverse un taux de pertes inférieur conduirait à améliorer le bilan environnemental de la méthanisation.**
- Des taux d'émissions de N₂O nuls, ou du moins inférieurs à la valeur considérée dans le scénario de référence, pourraient améliorer l'intérêt environnemental des filières compostage. La conduite de nouvelles campagnes de mesures pour affiner les chiffres considérés dans ce travail et l'amélioration



des procédés de compostage sont deux leviers pour améliorer l'intérêt environnemental des filières compostage.

L'ACV montre des variations des impacts pour les filières de méthanisation liées aux pratiques d'épandage sur les indicateurs changement climatique, acidification, oxydation photochimique et eutrophisation marine. Les pratiques d'épandage sont influentes et sont difficiles à appréhender en raison de leur variabilité.

Enfin, on observe une forte influence de la prise en compte de la substitution à des engrais.

6.4. Utilisation des résultats de l'étude pour la prise de décision et perspectives

Le travail a exposé la limite de la comparaison du compostage et de la méthanisation pour les raisons ci-dessous :

- Le compostage domestique ou partagé revêt des intérêts sociaux et sociétaux non pris en compte dans la présente évaluation
- Le bénéfice potentiel de la méthanisation est fortement dépendant des possibles pertes de biogaz, des possibles valorisations du biogaz, du digestat et de la substitution du digestat aux engrais azotés industriels et du biogaz aux différents bouquets d'énergie thermique et/ou électrique.
- Les déchets de cuisine et de table des ménages n'auront probablement pas, au niveau des territoires, une seule destination de traitement. Ainsi, la comparaison directe des filières de traitement aérobique et anaérobique et leurs différents modèles économiques (à la ferme, centralisé, domestique, partagé, industriel) présente un intérêt limité, puisque ces filières présentent une complémentarité selon les besoins et la configuration d'un territoire donné.

Les résultats de ce travail ne peuvent pas conduire à des recommandations pour l'aide à la décision relative à la gestion des déchets de cuisine et de table des ménages. Toutefois, une étude qui comparerait diverses organisations territoriales des flux de gestion des DCT ayant recours de manière concomitante ou non au compostage domestique, partagé, industriel, et à la méthanisation permettrait de mieux connaître les solutions environnementalement optimales et adaptées aux caractéristiques socio-économiques et environnementales des territoires.

Grâce aux résultats de l'ACV l'ADEME identifie les points ou les préconisations ci-dessous :

- Pour la filière compostage, le compostage domestique ou partagé génère des impacts moindres que le compostage industriel
- Pour l'utilisation des composts et des digestats, il est rappelé le nécessaire usage des [bonnes pratiques d'épandage](#) et de maximiser les substitutions d'engrais minéraux.
- Il est souhaitable de mettre en place une bonne gestion des soupapes de sécurité et d'intégrer la recherche des fuites de CH₄ dans les procédures d'exploitation des méthaniseurs (soupapes de sécurité) pour en augmenter la rentabilité et améliorer le bilan environnemental.

Références bibliographiques

- ADEME. (2007a). Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts.
- ADEME. (2007b). Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Département Gestion Biologique et Sols. Etude réalisée pour l'ADEME par SOGREAH.
- ADEME. (2008). Enquête nationale sur la gestion domestique des déchets organiques. Étude réalisée pour l'ADEME par INDDIGO, LH2.
- ADEME. (2009a). Enquête collecte 2007 : Analyse des distances parcourues par les véhicules de collecte et de transport des ordures ménagères.
- ADEME. (2009b). Bilan des connaissances et analyse des impacts sanitaires et environnementaux du compostage domestique. Étude réalisée pour l'ADEME par RDC-Environnement et Vincent Nedellec Conseil.
- ADEME. (2012a). Etude des différents types de pratiques de gestion domestique des biodéchets. Etude réalisée pour l'ADEME par L.M.Environnement et AWIPLAN.
- ADEME. (2012b). Guide méthodologique du compostage partagé (ou semi-collectif) : compostage en pied d'immeuble, de quartier... Étude réalisée pour l'ADEME par INDDIGO, COMPOSTAGE ECO-CITOYEN, COMPOSTRI pour le RESEAU COMPOST CITOYEN & GESPER.
- ADEME. (2012c). Programme de recherche ADEME sur les émissions liées au compostage-connaissances acquises et synthèse bibliographique.
- ADEME. (2016). Chaleur issue de la méthanisation, de réelles opportunités. ADEME Éditions.
- ADEME. (2018a). Matières fertilisantes organiques : gestion et épandage. Guide des bonnes pratiques. ADEME Éditions.
- ADEME. (2018b). Compostage des sacs en plastiques déclarés au compostage domestique et des sacs en papier. Etude réalisée pour l'ADEME par OrgaNeo, RITTMO Agroenvironnement, Microhumus.
- ADEME MODECOM. (2007). Campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères.
- ADEME, IN NUMERI, Carpenè, L., & Haeusler, L. (2019). Les réseaux de chaleur et de froid : état des lieux de la filière. 87 pages.
- Adhikari. (2013). Adhikari, Bijaya K.; Trémier, Anne; Barrington, Suzelle; Martinez, José; Daumoin, Mylène. Gas emissions as influenced by home composting system configuration. *Journal of Environmental Management*, 116, 163-171. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.008>
- AEA Technology. (2001). Smith A, Brown K, Ogilvie S, Rushton K and Bates J ; Waste Management Options and Climate Change, final report for the european commission, DG Environment, AEA Technology. Etude réalisée pour la Commission Européenne, DG Environnement par AEA Technology.
- AJBD, CITEXIA, & ADEME. (2018). Etude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets. 115 pages.
- Andersen. (2010a). Andersen J.K., Thomas H. Christensen, Charlotte Scheutz ; Substitution of peat, fertiliser and manure by compost in hobby gardening: User surveys and case studies. *Waste Management*, 30(12), 2483-2489. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.011>
- Andersen. (2010b). J.K. Andersen, A. Boldrin, T.H. Christensen, C. Scheutz. Green house gas emissions from home composting of organic household waste. *Waste Management*, 30(12), 2475-2482. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.004>
- Andersen. (2011). J.K. Andersen, A. Boldrin, T.H. Christensen, C. Scheutz. Mass balance and life cycle inventory of home composting of organic waste. *Waste Management*, 31(9-10), 1934-1942. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.004>
- Andersen. (2012). Andersen, A. Boldrin, T.H. Christensen, C. Scheutz. Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark. *Waste Management*(32), 31-40. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.014>
- APESA. (2015). APESA, OLENTICA, BIO Intelligence Service. Impacts sanitaires et environnementaux du compostage domestique.
- Boldrin. (2009). Boldrin A, Andersen JK, Moller J, Christensen TH, Favoino E. Composting and compost utilization : accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Resources*, 27(8). doi: <http://doi.org/10.1177/0734242X09345275>
- Brockmann. (2018). Brockmann D., Pradel M. & Hélias A. . Agricultural use of organic residues in life cycle assessment: Current practices and proposal for the computation of field emissions and of the nitrogen mineral fertilizer equivalent. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 50-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.034>
- Collet, A. (2011). Evaluation environnementale (ACV) de la méthanisation des effluents d'élevage et d'industries agroalimentaires sur le territoire du Coglais (35). *Sciences de l'environnement*. 2011. (hal-02596438)
- Compostaction. (2019). Compostaction. Consulté le 2019, sur Compostaction: <https://www.compostaction.org/compostage/compostage-partage>



- Delgado. (2009). End-of-Waste Criteria, Final Report . JRC.
- DIGES. (2006). Gac, A., Béline, F., Bioteau, T. ; Application pour le calcul du bilan des émissions de gaz à effet de serre des installations de digestion anaérobie, version 1.0. Guide méthodologique. Récupéré sur <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/diges-application-pour-le-calcul-du-bilan-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-des-installations-de-o>
- EMEP/EEA guidebook. (2016). C. Trozzi, J. M. Ramirez Garcia, J. Webb, B.Amon, M.Broomfield, H.-D. Haenel, S. Wulf ; EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. European environment agency 14 p.
- ENEA Quantis. (2017). Evaluation des impacts GES de l'injection du biométhane dans le réseau de gaz naturel. Etude réalisée pour GrDF.
- European Commission . (2015). PEF / OEF : Default data to be used to model distribution and storage.
- European Commission. (2018). Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method, New models and differences with ILCD. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/supporting-information-characterisation-factors-recommended-ef-life-cycle-impact-assessment-methods> : JRC Technical Reports.
- Fantke. (2017). Fantke, P. (Ed.), Bijster, M., Guignard, C., Hauschild, M., Huijbregts, M., Jolliet, O., Kounina, A., Magaud, V., Margni, M., McKone, T.E., Posthuma, L., Rosenbaum, R.K., van de Meent, D., van Zelm, R.. USEtox® Documentation (version 1). <http://usetox.org>, ISBN: 978-87-998335-0-4, 10.11581/DTU:00000011. doi: <http://doi.org/10.11581/DTU:00000011>
- Favoino. (2008). Favoino E, Hogg D ; The potential role of compost in reducing greenhouse gases. Waste management and Ressources, 26(1), p. 61. doi: <http://doi.org/10.1177/0734242X08088584>
- Guide sur le biogaz. (2010). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) ; Guide sur le biogaz : de la production à l'utilisation. Publié avec le soutien du ministère fédéral de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Protection des Consommateurs suite à une décision du Parlement fédéral allemand.
- Hellenbrand. (1998). Hellenbrand, H. J. ; Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste. Journal of Agricultural Engineering Research, 69(4), 365-375. doi:<http://doi.org/10.1006/jaer.1997.0257>
- INERIS. (2015). Etat des lieux des connaissances des émissions de CH₄ et de N₂O des installations de méthanisation. Rapport d'étude INERIS-DRC-14-141736-12606A.
- INSEE. (2017, Janvier 1). Les consommations d'énergie dans l'industrie en 2017. Résultats sur les secteurs d'activités de la NAF rév.2. (INSEE) Consulté le Mai 31, 2019, sur <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3702790?sommaire=3702794#titre-bloc-7>
- Jasim. (2003). Jasim S., Smith S. ; The practicability of home composting for the management of biodegradable domestic solid waste. University of London, Centre for Environmental Control and Waste Management, Department of Civil and Environmental Engineering.
- Johansson. (2008). Johansson, K.; Perzon, M.; Froling, M.; Mossakowska, A.; Svanstrom, M. ; Sewage sludge handling with phosphorus utilization - life cycle assessment of four alternatives. 16, 135-151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.12.004>
- JRC. (2011). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. Publications Office of the European Union.
- Lléo. (2013). Lléo, Albacete, Barrena, Font, Artola, Sanchez ; Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. Journal of Cleaner Production, 47, 70-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.011>
- Martinez-Blanco. (2010). Julia Martínez-Blanco, Joan Colón, Xavier Gabarrell, Xavier Font, Antoni Sánchez, Adriana Artola, Joan Rieradevall. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. Waste Management, 30(6), 983-994. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.023>
- Martinez-Blanco. (2013). Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T.H. et al. ; Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. Agronomy for Sustainable Development, 33(4), 721-732. doi:<https://doi.org/10.1007/s13593-013-0148-7>
- Pellerin. (2013). Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de 10 actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.
- Prasuhn. (2006). Erfassung der PO₄- Austräge für die Ökobilanzierung SALCA Phosphor. Agroscope, 22.
- Projet ECCOVAL. (2009). Etat de l'art du compostage domestique. Etude réalisée par Cle emagref, UHB-Crppc-Laureps.
- Projet TRACKYLEAKS, Rapport final. (2018). Bioteau T., Loisel P., Peu P., Guibert A., Auvinet N., Barbu I., Aissani L., De Oliveira Fernandes M., Heitz D., échaux C., Nunes G., Buffet J., Blondel L., Georgeault P., ADEME. TRACKYLEAKS - Développement d'une méthode d'identification et de quantification des émissions fugitives de biogaz - Application aux installations de méthanisation. 51 p.
- Rapport final ESCo Mafor. (2014). Matières fertilisantes d'origine résiduaire .

- Resse. (2013). Resse Anne; Tremier A. ; Evaluation de l'impact des quantités compostées en habitat individuel sur les ordures ménagères collectées par la collectivité. Techniques Sciences Méthodes (TSM) numéro 9, pp. 50-58.
- Rincon. (2019). C.A. Rincón, A. De Guardia, A. Couvert, S. Le Roux, I. Soutrel, M. Daumoin, J. C. Benoist . Chemical and odor characterization of gas emissions released during composting of solid wastes and digestates. Journal of Environmental Management, 233, 39-53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.009>
- Slorach. (2019). Peter C. Slorach, Harish K. Jeswani, Rosa Cuéllar-Franca*, Adisa Azapagic ; Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. 236, 798-814. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.001>
- SOeS. (2014). Consommation d'énergie, les exploitations agricoles consomment majoritairement des produits pétroliers. (C. général, & S. d. statistiques, Éd.) Chiffres et statistiques, 517, 3-4.
- Weidema, B.P. and Wesnæs, M.S. (1996) Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. Journal of Cleaner Production 4(3), 167-174.



Index des tableaux et figures

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des tonnages traités par installation type pour chaque filière	14
Tableau 2 : Dimensionnement des filières de compostage.....	21
Tableau 3 : Répartition des intrants pour le compostage.....	22
Tableau 4 : Caractéristiques des 2 types de bac pour le compostage particulier.....	23
Tableau 5 : Caractéristiques des deux types de bac pour le compostage partagé (ADEME, 2012b).....	24
Tableau 6 : Inventaire pris en compte pour la plateforme de compostage industriel d'une durée de vie de 30 ans	26
Tableau 7 : Consommation d'énergie sur la plateforme de compostage industriel	27
Tableau 8 : Quantité d'eau prise en compte pour le compostage.....	28
Tableau 9 : Extraits de références sur les émissions dans l'air lors du compostage domestique	28
Tableau 10 : Emissions sur les modalités avec compostage en bac fermé (APESA, 2015)	29
Tableau 11 : Composition des DCT utilisées selon les modalités de compostage (APESA, 2015)	29
Tableau 12 : Composition des composts (incluant les ETM) et quantification des émissions dans l'air pour différentes modalités de compostage, utilisées dans la construction des ICV des différents scénarios (APESA, 2015)	30
Tableau 13 : Facteurs d'émission dans l'air lors du compostage de DCT et teneur en ETM du compost.....	31
Tableau 14 : ICV utilisés dans la modélisation pour les différents scénarios	32
Tableau 15 : Caractéristiques du transport et épandage pour le compost industriel.....	33
Tableau 16 : Composition des composts (incluant les ETM) et quantification des quantités de carbone stockés dans les sols pour différentes modalités de compostage, utilisées dans la construction des ICV des différents scénarios (APESA, 2015)	34
Tableau 17 : Valeurs d'émissions azotées prises en compte pour l'épandage des composts	34
Tableau 18 : Valeurs d'émissions ETM prises en compte lors de l'épandage des composts	35
Tableau 19 : Calcul du stockage de carbone dans le sol par le compost pris en compte dans l'ICV.....	36
Tableau 20 : Hypothèses de calcul retenues pour la séparation de phase du digestat.....	39
Tableau 21 : Infrastructures propres au flux de traitement des DCT pour la méthanisation à la ferme.....	40
Tableau 22 : Infrastructures propres au flux de traitement des DCT pour la méthanisation centralisée	40
Tableau 23 : Equipements sur les sites de méthanisation	41
Tableau 24 : Consommation d'énergie des différentes filières de méthanisation	44
Tableau 25 : Facteurs d'émission retenus pour les différentes étapes de la méthanisation (1/2)	45
Tableau 26 : Facteurs d'émission retenus pour les différentes étapes de la méthanisation (2/2)	46
Tableau 27 : Bilan énergie de la production de biogaz par les DCT des trois filières de méthanisation	47
Tableau 28 : Transport et épandage des digestats	50
Tableau 29 : Valeurs d'émissions azotées prises en compte pour les digestats	52
Tableau 30 : Valeurs d'émissions ETM prises en compte pour les digestats	53
Tableau 31 : Quantités de fertilisants et émissions associées évitées lors de l'épandage.....	54
Tableau 32 : Présentation des indicateurs d'impacts et robustesse	56
Tableau 33 : Indicateurs d'impacts retenus pour cette ACV	58
Tableau 34 : Conclusions des analyses de sensibilité menées (2/2).....	70
Tableau 35 : Valeurs absolues des impacts générés des filières	81
Tableau 36 : Valeurs absolues des impacts évités des filières	82
Tableau 37 : Matrice avec 6 indicateurs de qualité des données (Weidema et al d'après Joliet).....	83
Tableau 38 : Conclusion sur les analyses d'incertitudes.....	84
Tableau 39 : Notation de la qualité des données sur les cinq critères	92
Tableau 40 : Résumé des analyses de sensibilité	94
Tableau 41 : Sélection des valeurs de paramètre pour l'analyse.....	95

FIGURES



Figure 1 : Cycle de vie	10
Figure 2 : Filières de traitement retenues	13
Figure 3 : Principales caractéristiques des filières de compostage.....	13
Figure 4 : Principales caractéristiques des filières de méthanisation.....	14
Figure 5 : Valorisations prises en compte pour les filières compostage	17
Figure 6 : Valorisations prises en compte pour les filières méthanisation	18
Figure 7 : Synoptique du site de compostage industriel considéré	25
Figure 8 : Bilan massique des flux pour les filières de compostage.....	36
Figure 9 : Répartition des intrants pour les deux filières de méthanisation.....	38
Figure 10 : Synoptique de l'unité de méthanisation à la ferme considéré.....	39
Figure 11 : Bilan énergétique de la filière méthanisation à la ferme avec valorisation par cogénération	42
Figure 12 : Bilan énergétique de la filière méthanisation à la ferme avec valorisation par injection.....	43
Figure 13 : Bilan énergétique de la filière méthanisation centralisée avec valorisation par injection	43
Figure 14 : Bilan matière des flux pour les scénarios méthanisation	48
Figure 15 : Schéma des flux entrants et sortant pour la méthanisation à la ferme par cogénération.....	49
Figure 16 : Schéma des flux entrants et sortants - Méthanisation à la ferme par injection	49
Figure 17 : Schéma des flux entrants et sortants - Méthanisation centralisée par injection	50
Figure 18 : Devenir de la chaleur produite sur site.....	55
Figure 19 : Comparaison des impacts générés des filières (UF=1 kg DCT traité).....	59
Figure 20 : Impacts générés des filières pour les 3 indicateurs de toxicité (Usetox 2 recommended + interim)	60
Figure 21 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur changement climatique (UF= 1 kg DCT traité)	60
Figure 22 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur oxydation photochimique (UF= 1 kg DCT traité)	61
Figure 23 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur acidification (UF= 1 kg DCT traité).....	62
Figure 24 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur eutrophisation eau douce (UF= 1 kg DCT traité)	62
Figure 25 : Comparaison des impacts générés sur l'indicateur eutrophisation eau douce, avec distinction impact local/global	62
Figure 26 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur les indicateurs diminution de la couche d'ozone et consommation d'énergie (UF= 1 kg DCT traité)	63
Figure 27 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur épuisement des ressources (UF= 1 kg DCT traité)	63
Figure 28 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur d'eutrophisation marine (UF= 1 kg DCT traité)	64
Figure 29 : Comparaison des impacts générés par les six filières sur l'indicateur d'eutrophisation marine, avec distinction impact local/global	64
Figure 30 : Comparaison des impacts évités des six filières (UF=1 kg DCT traité).....	65
Figure 31 : Impacts évités des six filières pour les trois indicateurs de toxicité (Usetox 2 recommandé + interim)	66
Figure 32 : Distribution des impacts évités pour la filière Méthanisation à la Ferme Cogénération	66
Figure 33 : Distribution des impacts évités pour la filière Méthanisation à la Ferme Injection.....	67
Figure 34 : Comparaison des impacts agrégés des filières méthanisation (UF=1 kg DCT traité)	68
Figure 35 : Résultats des analyses d'incertitudes sur les 11 indicateurs	86
Figure 36 : Analyse de sensibilité sur la prise en compte des impacts évités	96
Figure 37 : Analyse de sensibilité sur le facteur d'émission CH ₄ , impacts générés.....	97
Figure 38 : Analyse de sensibilité sur le facteur d'émission CH ₄ , impacts évités	97
Figure 39 : Analyse de sensibilité sur le facteur d'émission N ₂ O, impacts générés	98
Figure 40 : Analyse de sensibilité sur les impacts générés des pratiques d'épandage	98
Figure 41 : Analyse de sensibilité sur les impacts évités des pratiques d'épandage.....	99



GLOSSAIRE

Donnée spécifique (ou primaire) : Valeur quantifiée issue d'une mesure directe ou d'un calcul à partir de mesures directes d'une activité ou d'un processus du cycle de vie du produit.

Donnée générique (ou secondaire) : Valeur quantifiée d'une activité ou d'un processus de cycle de vie du produit obtenue à partir de sources autres que la mesure directe ou le calcul à partir de mesures directes.

Impacts générés : impacts négatifs sur l'environnement qui sont liés à l'emploi des matières premières et aux rejets et émissions

Impacts évités : impacts positifs sur l'environnement liés à la production de produits ou d'énergie permettant d'éviter des impacts générés par ailleurs

Impacts agrégés : ces impacts somment les impacts générés et évités

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
JRC	Joint Research Center
DCT	Déchets de cuisine et de table des ménages
N.C.	Non concerné
N.P.	N.P. Non précisé
CC	Changement climatique
OD	Diminution de la couche d'ozone
Ox. Ph.	Formation d'O ₃ photochim.
Tox Hum NC	Toxicité humaine non cancérigène
Tox Hum C	Toxicité humaine cancérigène
AC	Acidification
EUT. ED	Eutrophisation eau douce
EUT. Mar.	Eutrophisation marine
Ecotox. ED	Ecotoxicité eau douce
Conso éner	Consommation d'énergie
ERM	Epuisement des ressources minérales
MFc ou MàF cogé	Méthanisation à la ferme en cogénération
MFi ou MàF inj	Méthanisation à la ferme en injection
MC	Méthanisation centralisée (100 % injection)
CD	Compostage domestique
CP	Compostage partagé
CI	Compostage industriel

7. ANNEXES

7.1. Valeurs absolues

7.1.1. Comparaison des impacts générés des filières

Catégorie d'impact	Unité	DCT traités par compostage domestique	DCT traités par compostage partagé	DCT traités par compostage industriel	DCT traités par méthanisation	DCT traités par méthanisation	DCT traités par méthanisation CENTRAL
Climate change	kg CO2 eq	1,3E-01	1,3E-01	1,6E-01	1.54E-01	1.79E-01	1.85E-01
Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,2E-10	1,1E-10	1,0E-08	2.52E-09	3.90E-09	4.91E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	1,4E-04	8,3E-05	1,1E-02	3.65E-03	7.39E-03	7.25E-03
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	6,6E-05	6,1E-05	2,0E-04	1.76E-04	1.48E-04	1.74E-04
Respiratory inorganics	disease inc.	3,8E-09	3,7E-09	5,5E-09	1.63E-08	1.62E-08	1.66E-08
Human toxicity, non-cancer	cases	5,2E-13	1,1E-13	9,2E-11	1.62E-12	1.46E-12	3.18E-12
Human toxicity, cancer	cases	2,9E-13	1,2E-13	7,0E-12	4.42E-13	4.04E-13	6.48E-13
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	5,6E-04	5,6E-04	7,1E-04	2.45E-03	2.36E-03	2.39E-03
Eutrophication freshwater	kg P eq	1,3E-07	6,8E-08	9,6E-07	6.70E-07	6.08E-07	6.71E-07
Eutrophication marine	kg N eq	4,6E-04	4,6E-04	5,0E-04	7.72E-04	7.62E-04	7.70E-04
Eutrophication terrestrial	mol N eq	2,5E-03	2,5E-03	2,9E-03	1.06E-02	1.05E-02	1.06E-02
Freshwater ecotoxicity	PAF.m3.day	2,1E-05	5,9E-06	8,8E-05	3.33E-05	2.81E-05	3.92E-05
Land use	Pt	1,2E+00	3,3E-01	2,6E-01	1.12E-01	1.12E-01	1.86E-01
Water scarcity	m3 depriv.	1,1E-03	1,1E-03	2,1E-02	4.15E-03	7.37E-03	7.54E-03
Resource use, energy carriers	MJ	3,2E-02	1,7E-02	1,3E+00	4.06E-01	7.55E-01	7.89E-01
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	5,6E-09	1,8E-09	1,0E-07	4.36E-08	3.66E-08	5.48E-08

Tableau 35 : Valeurs absolues des impacts générés des filières



7.1.2. Comparaison des impacts évités des filières

Catégorie d'impact	Unité	DCT traités par compostage domestique	DCT traités par compostage partagé	DCT traités par compostage industriel	DCT traités par méthanisation ferme cogénération	DCT traités par méthanisation ferme injection	DCT traités par méthanisation CENTRAL
Climate change	kg CO2 eq	2,1E-02	2,1E-02	1,3E-02	0,9E-02	1,3E-02	1,3E-02
Ozone depletion	kg CFC11 eq	0	0	5,1E-10	1,5408E-08	9,2337E-09	9,3381E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0	0	3,4E-04	2,9E-02	1,4E-03	1,4E-03
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0	0	2,2E-05	2,1E-04	2,1E-04	2,1E-04
Respiratory inorganics	disease inc.	0	0	4,0E-10	1,3E-08	1,2E-08	1,2E-08
Human toxicity, non-cancer	cases	0	0	2,5E-12	1,2E-12	1,3E-12	1,3E-12
Human toxicity, cancer	cases	0	0	4,2E-13	3,0E-12	3,5E-12	3,6E-12
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	0	0	3,4E-05	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03
Eutrophication freshwater	kg P eq	0	0	3,2E-07	7,5E-06	6,8E-06	6,8E-06
Eutrophication marine	kg N eq	0	0	8,4E-06	6,6E-04	6,6E-04	6,6E-04
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0	0	9,6E-05	7,5E-03	7,4E-03	7,4E-03
Freshwater ecotoxicity	PAF.m3.day	0	0	9,3E-06	1,4E-04	1,2E-04	1,2E-04
Land use	Pt	0	0	8,1	3,8E-01	2,9E-01	2,9E-01
Water scarcity	m3 depriv.	0	0	1,7E-03	5,2E-02	2,6E-02	2,6E-02
Resource use, energy carriers	MJ	0	0	1,4	3,1	1,2	1,18
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	0	0	1,1E-08	3,0E-07	2,8E-07	2,8E-07

Tableau 36 : Valeurs absolues des impacts évités des filières

7.2. Analyse d'incertitude sur l'inventaire

7.2.1. Critères de qualité des données

Les données génériques utilisées sont basées sur la base de données ecoinvent v3.5 dont le niveau de fiabilité peut être consulté dans les logiciels ACV. On s'intéresse ici à la qualité des données spécifiques utilisées pour l'ACV.

Plusieurs indicateurs de qualité des données existent (Weidema, 1996):

- La fiabilité des données découle de la méthode de mesure utilisée et des procédures de vérification,
- L'exhaustivité dépend du nombre d'entreprises considéré sur une période de temps donnée,
- Les corrélations géographiques, temporelles et technologiques indiquent si les données utilisées couvrent le lieu, la période et la technologie du processus étudié,
- La taille de l'échantillon.

Le tableau ci-après présente la matrice avec les 5 indicateurs de qualité pour les données utilisées. La note 1 correspond à une donnée de bonne qualité et la note 5 correspond à une donnée de mauvaise qualité.

L'évaluation de la qualité des données utilisées dans cette ACV est réalisée selon ces 6 critères et pour les différentes étapes du cycle de vie.

Score de qualité	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Taille de l'échantillon
1	Données vérifiées basées sur des mesures	Données représentatives d'un échantillon suffisant d'entreprises sur une période adéquate	Moins de 3 ans de différence avec l'année de l'étude	Données de la zone à l'étude	Données d'entreprises, de processus et de matériaux à l'étude	Supérieur à 100 Mesures continues
2	Données vérifiées partiellement basées sur des hypothèses ou données non vérifiées basées sur des mesures	Données représentatives d'un petit nombre d'entreprises mais pour des périodes adéquates	Moins de 6 ans de différence	Données moyennes d'une zone plus large dans laquelle la zone à l'étude est incluse	Données de processus et matériaux à l'étude mais de différentes entreprises	Supérieur à 20
3	Données non vérifiées partiellement basées sur des hypothèses	Données représentatives pour un nombre adéquat d'entreprises pour des périodes plus courtes	Moins de 10 ans de différence	Données d'une zone ayant des conditions similaires	Données de processus et matériaux à l'étude mais de différentes technologies	Supérieur à 10
4	Estimation qualifiée (par exemple par un expert industriel)	Données représentatives mais pour un petit nombre d'entreprises et pour des courtes périodes ou données incomplètes pour un nombre adéquat d'entreprises et périodes	Moins de 15 ans de différence	Données d'une zone ayant des conditions légèrement similaires	Données de processus ou matériaux relatifs mais de technologies identiques	Supérieur ou égal à 3
5	Estimation non qualifiée	Représentativité inconnue ou données incomplètes provenant d'un petit nombre d'entreprises et/ou pour des périodes plus courtes	Age des données inconnu ou plus de 15 ans de différence	Données d'une zone inconnue ou zone avec des conditions de production très différentes	Données sur processus ou matériaux relatifs mais de technologies différentes	Inconnu

Tableau 37 : Matrice avec 6 indicateurs de qualité des données (Weidema et al d'après Jolliet)

Le tableau de notation des données utilisées pour l'ACV est en annexe 7.2.3.

Cette évaluation de la qualité des données est la base de l'analyse d'incertitude présentée ci-après. Il n'a pas été fait d'analyse d'incertitude sur toutes les évaluations, notamment sur les scénarios d'analyse de sensibilité. Dans ces cas, seules les informations sur la fiabilité des indicateurs et des seuils de différence d'impact seront utilisées pour conclure sur la significativité ou non des résultats.

7.2.2. Résultats de l'analyse d'incertitude sur l'inventaire

Afin de permettre une meilleure interprétation des résultats de l'analyse comparative des filières de traitement des DCT, une analyse d'incertitude de type Monte Carlo a été réalisée sur les résultats agrégés. Cette dernière permet l'étude de la propagation de la variabilité des données d'inventaire lors des calculs, qui sont alors « probabilistes ».

Les informations sur la qualité des données, synthétisées dans l'annexe 7.2.3, sont intégrées au modèle sous SimaPro.

Des plages d'incertitude sont renseignées à la fois sur les données d'arrière-plan et les données spécifiques. Pour l'ensemble des filières de 64% à 73% des données contiennent des informations d'incertitude.

SimaPro calcule le résultat sur 2000 itérations, chacune modélisée avec des données comprises dans les plages d'incertitude renseignées pour chaque paramètre. L'intervalle de confiance est de 95%.

N'étant pas possible dans SimaPro d'exclure les émissions à long terme dans ce type de calcul, nous avons dû prendre en compte les émissions à long terme dans cette analyse d'incertitude.

Le choix de réaliser cette analyse sur les impacts agrégés rend difficile son interprétation. Cela dit, cette analyse d'incertitude permet de déterminer des plages de variations sur les différents indicateurs selon les filières et d'en déduire ainsi la significativité des résultats comparatifs.

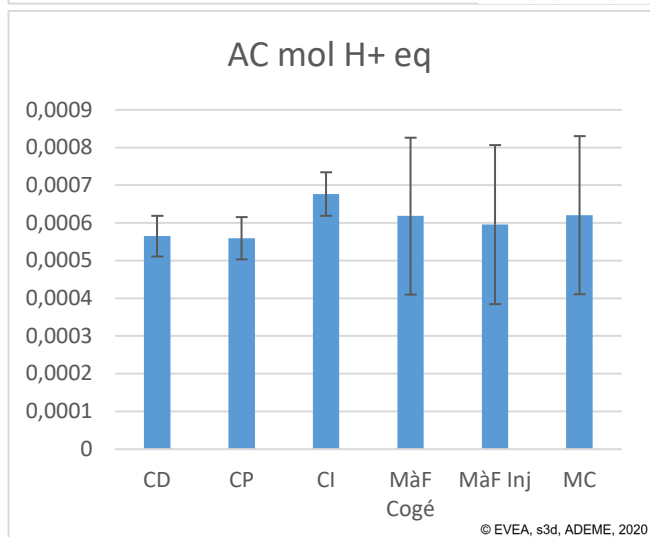
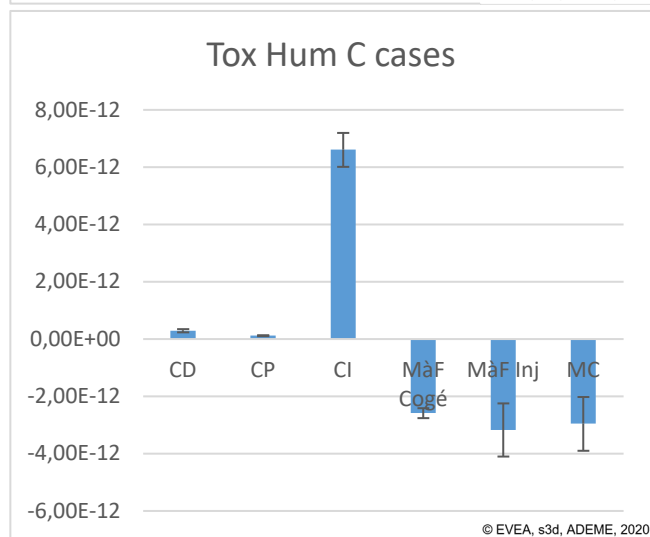
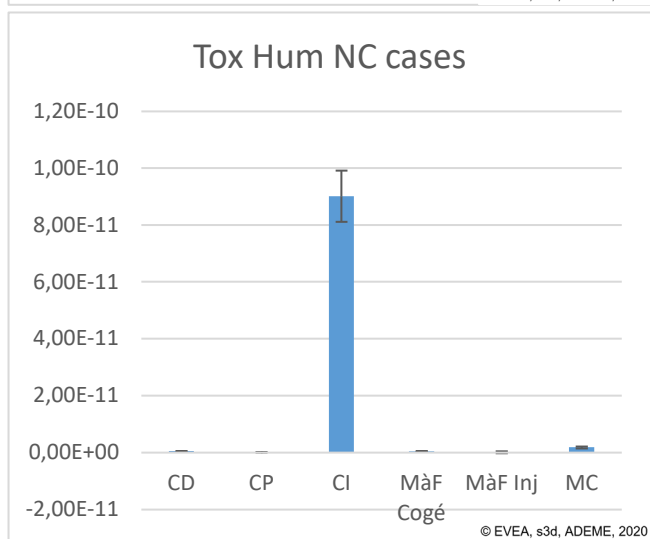
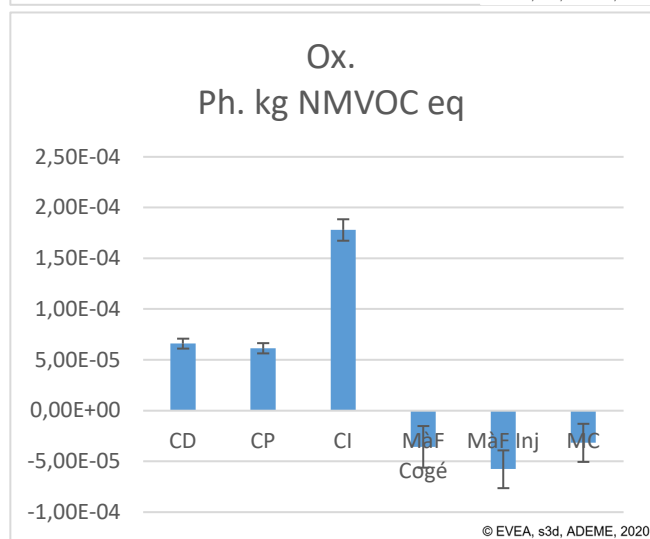
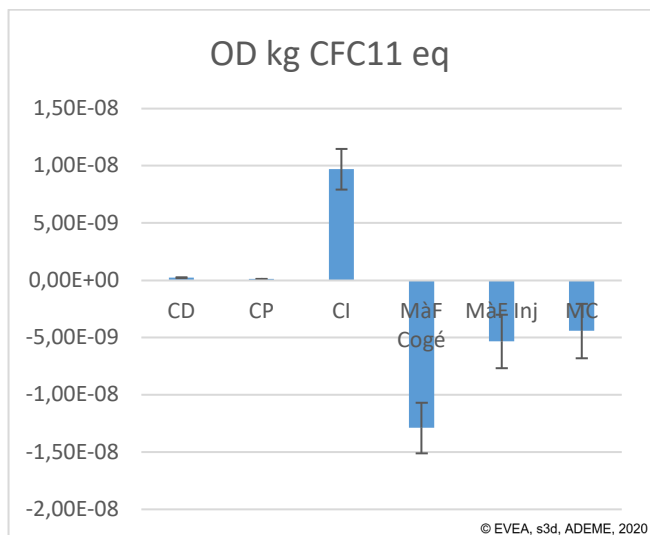
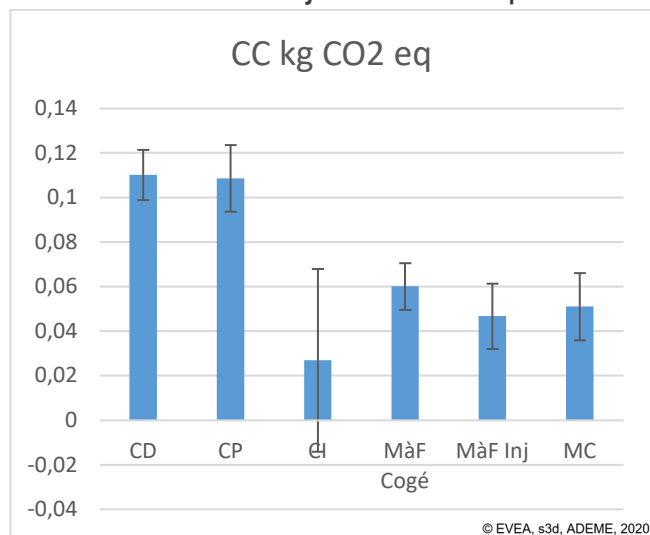


Conclusion sur les analyses d'incertitudes (en impacts agrégés)

Indicateurs	Conclusions
CC	Les filières CD & CP se démarquent des autres filières : impact plus élevé. Pas de conclusion comparative possible entre les autres filières.
OD	La filière CI est significativement la plus impactante, la filière MÀF en cogénération est significativement la moins impactante. Pas de conclusion comparative possible entre les filières CD et CP (plus impactantes que les filières de méthanisation) d'une part et MÀF en injection et MC d'autre part.
Ox. Ph.	Les filières de méthanisation sont significativement les moins impactantes. La filière CI est significativement la plus impactante, devant les filières CD et CP.
Tox Hum NC	Pas de conclusion comparative possible entre les autres filières car différences inférieures à un facteur 10^5 (cf. (Fantke, 2017)).
Tox Hum C	
AC	Pas de conclusion comparative possible entre les filières.
EUT. ED	La filière CI est significativement la plus impactante, les filières de méthanisation sont significativement les moins impactantes (pas de différence significative entre ces dernières). Pas de conclusion comparative possible entre les filières CD et CP (plus impactantes que les filières de méthanisation).
EUT. Mar.	Les filières de compostage sont significativement plus impactantes que les filières méthanisation. Pas de conclusion comparative possible entre les filières compostage entre elles et méthanisation entre elles.
Ecotox ED	Pas de conclusion comparative possible entre les autres filières car différences inférieures à un facteur 10^4 . (cf. (Fantke, 2017))
Conso. Energie	La filière MÀF en cogénération est significativement la moins impactante, suivi des 2 autres filières méthanisation.
ERM	La filière CI est significativement la plus impactante, les filières de méthanisation sont significativement les moins impactantes (pas de différence significative entre ces dernières). Pas de conclusion comparative possible entre les filières CD et CP (plus impactantes que les filières de méthanisation).

Tableau 38 : Conclusion sur les analyses d'incertitudes

Détail des résultats des analyses d'incertitudes par indicateur



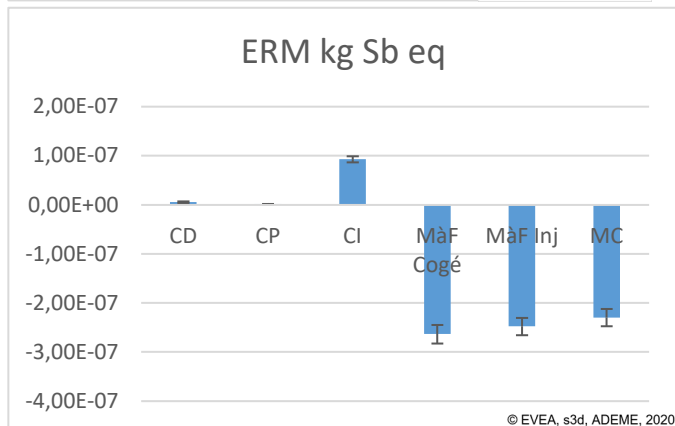
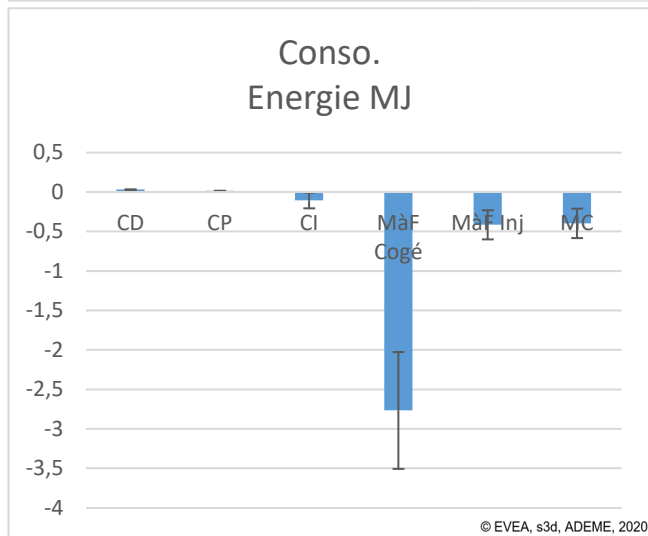
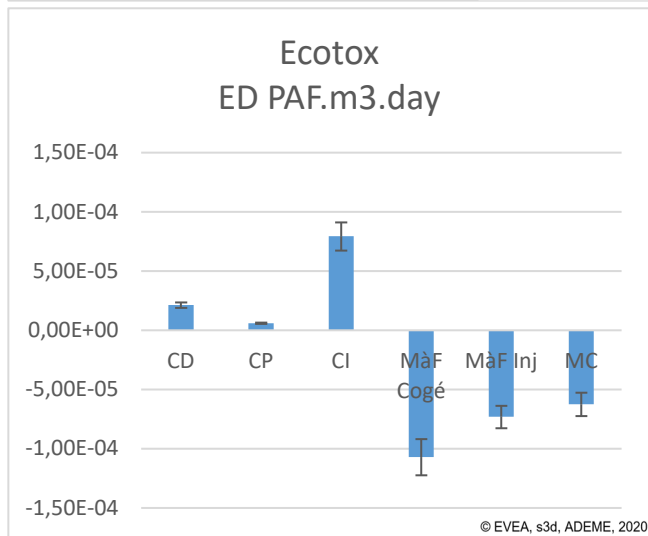
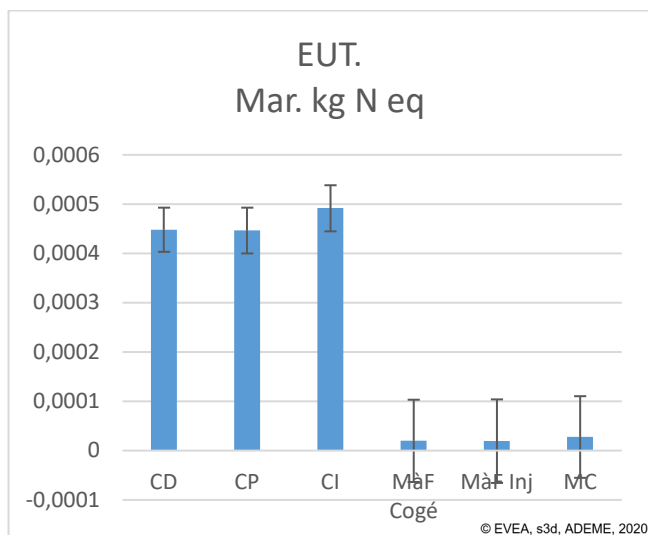
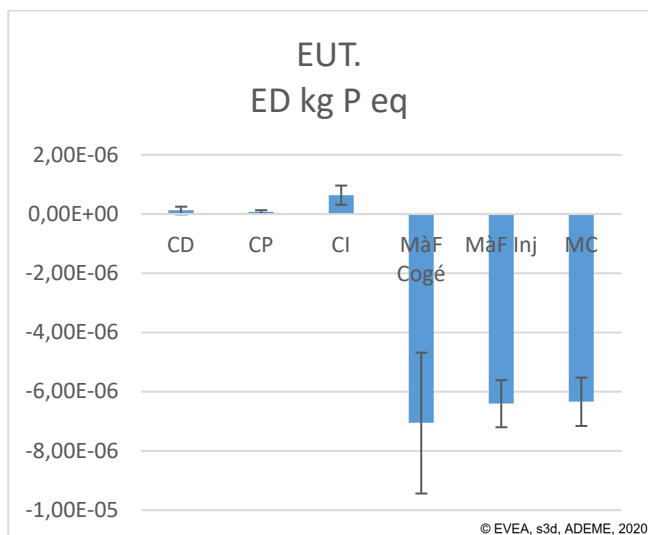


Figure 35 : Résultats des analyses d'incertitudes sur les 11 indicateurs

7.2.3. Notation de la qualité des données

Les tableaux suivants présentent les résultats de qualité des données réalisées par auto-évaluation sur la base des critères développées par (Weidema, 1996). Par principe les résultats et leur interprétation sont hautement subjectifs.

	Fiabilité						Exhaustivité						Corrélation temporelle					
	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC
Collecte des DCT	NA	NA	4	4	4	4	NA	NA	5	5	5	5	NA	NA	2	2	2	2
			Estimation qualifiée						Représentativité inconnue						Expertise sur les dernières années			
Emissions du procédé de compostage	2	2	2	NA	NA	NA	5	5	5	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA
Stockage substrats	NA	NA	NA	3	3	3	NA	NA	NA	5	5	5	NA	NA	NA	2	2	2
																D'après émissions liées au compostage tirées de (APESA, 2015)		
Digestion	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	5	5	5	NA	NA	NA	1	1	1
Stockage digestat	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	4	4	4	NA	NA	NA	3	3	3
Epuration	NA	NA	NA	4	4	4	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	1	1	1
Cogénération	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA
				Données ecoinvent						Données ecoinvent						Donnée ecoinvent spécifiée valide jusqu'à fin 2018		
Torchère	NA	NA	NA	NA	1	1	NA	NA	NA	NA	2	2	NA	NA	NA	NA	1	1
					Données ecoinvent						Données ecoinvent						Donnée ecoinvent spécifiée valide jusqu'à fin 2018	





	Fiabilité						Exhaustivité						Corrélation temporelle					
	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC
Procédé : Infrastructure s du site	4	4	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1
	Basée sur le volume traité par an		Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D			Données représentatives de plusieurs constructeurs		Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D					Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D		
Procédé : Consommation d'énergie sur site	NA	NA	2	2	2	2	NA	NA	1	1	1	1	NA	NA	4	1	1	1
			Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D					Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D					Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D		
Procédé : Consommation d'eau	2	2	2	NA	NA	NA	5	5	3	NA	NA	NA	2	2	3	NA	NA	NA
	Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2013"		Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2010"				Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2013"		Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2010"				Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2013"		Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2010"			
Transport des sortants	NA	NA	4	4	4	4	NA	NA	5	5	5	5	NA	NA	2	2	2	2
			Estimation qualifiée						Représentativité inconnue						Expertise sur les dernières années			



	Fiabilité						Exhaustivité						Corrélation temporelle					
	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC
Application au sol : impacts générés (caractérisation des sortants et devenir)	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2
	Calculs sur la base des données d'entrées (APESA 2015) et modèles d'émissions						Représentativité inconnue						Données d'entrées pour les valeurs azotées et P (APESA de 2015)					
Application au sol : impacts évités (facteur de substitution ET stockage carbone)	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2
	Données non vérifiées basées sur des mesures						Représentativité inconnue						Données d'entrées pour les valeurs azotées et P (APESA de 2015)					
Valorisation injection : impacts générés : émissions	NA	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	1	1	1
					données ecoinvent basées sur Outil S3D						données ecoinvent basées sur Outil S3D					donnée ecoinvent spécifiée valide jusqu'à fin 2018		
Valorisation énergie ou injection : impacts générés : infrastructures	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	1	1	1
				données ecoinvent sur la base du dimensionnement avec Outil S3D						données ecoinvent sur la base du dimensionnement avec Outil S3D						donnée ecoinvent spécifiée valide jusqu'à fin 2018		
Valorisation énergie ou injection : impacts évités (substitution)	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	1	1	1
				données ecoinvent sur la base du dimensionnement avec Outil S3D						données ecoinvent sur la base du dimensionnement avec Outil S3D						Donnée ecoinvent spécifiée valide jusqu'à fin 2018		

	Corrélation géographique						Corrélation technologique					
	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC
Collecte des DCT	NA	NA	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1
			Données non vérifiées basées sur des hypothèses				Les camions peuvent être de différents fournisseurs					
Emissions du procédé de compostage	1	1	1	NA	NA	NA	1	3	5	NA	NA	NA
Stockage substrats	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	5	5	5
Digestion	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	1	1	1
Stockage digestat	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	1	1	1
Epuration	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	1	1	1
Cogénération	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA	4	NA	NA
				Données ecoinvent FR						Donnée ecoinvent sur les émissions d'un procédé de production d'énergie à partir de biogaz de différentes sources (biodéchets et boues d'épuration)		
Torchère	NA	NA	NA	NA	2	2	NA	NA	NA	NA	4	4
					Données ecoinvent FR						Donnée ecoinvent sur les émissions d'un procédé à partir de biogaz de différentes sources (biodéchets et boues d'épuration)	

	Corrélation géographique						Corrélation technologique					
	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC	CD	CP	CI	MàF Cogé	MàF Inj	MC
Procédé : Infrastructures du site	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D					Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D		
Procédé : Consommation d'énergie sur site	NA	NA	1	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1
			Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D					Données issues de l'audit ADEME 2007 des plateformes de compostage	Dimensionnement Outil S3D		
Procédé : Consommation d'eau	4	4	4	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA
	Espagne	Espagne	Espagne				Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2013"		Basé sur 1 publication "Martinez blanco 2010"			
Transport des sortants	NA	NA	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
			Données non vérifiées basées sur des hypothèses				Les camions peuvent être de différents fournisseurs					
Application au sol : impacts générés (caractérisation des sortants et devenir)	2	2	2	2	2	2	NA	NA	2	2	2	2
	Données pour un contexte France						Pas de technologie car pas d'équipement		Equipements d'épandage moyens France source Agribalyse			
Application au sol : impacts évités (facteur de substitution ET stockage carbone)	2	2	2	2	2	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Données pour un contexte France						Pas de technologie que cette substitution					
Valorisation injection : impacts générés : émissions	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	2	2	2
				Données ecoinvent périmètre FR						Données ecoinvent technologies semblables		
Valorisation énergie ou injection : impacts générés : infrastructures	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	2	2	2
				Données ecoinvent périmètre FR						Données ecoinvent technologies semblables		
Valorisation énergie ou injection : impacts évités (substitution)	NA	NA	NA	2	2	2	NA	NA	NA	2	2	2
				Données ecoinvent périmètre FR						Données ecoinvent technologies semblables		

Tableau 39 : Notation de la qualité des données sur les cinq critères

Taille de l'échantillon : NA pour toutes les filières et toutes étapes du CDV



7.3. Graphiques des analyses de sensibilités

Le tableau ci-dessous résume les analyses de sensibilité menées.

Type d'analyse de sensibilité	Paramètres de sensibilité	Compostage domestique	Compostage partagé	Compostage industriel	Méthanisation ferme Cogé	Méthanisation ferme Injection	Méthanisation centralisée
AS sur les impacts évités	Prise en compte des impacts évités : substitution	Avec substitution (impacts agrégés) ; sans substitution (impact générés)					
	Facteur de substitution (FS) équivalent azote	N.C.	N.C.	N.C.	Dig liquide : {REF=0,8; MIN= 0,5 } Dig solide : {REF=0,4; MIN= 0,15}		
	Facteur de substitution (FS) équivalent phosphore	N.C.	N.C.	N.C.	REF {1}==> AS {0,8}		
	Facteur de substitution (FS) tourbe	N.C.	N.C.	FS_tourbe_REF {1} FS_tourbe_AS {0,25}	N.C.	N.C.	N.C.
AS sur les facteurs d'émissions lors du processus	Facteur d'émission CH ₄ (fuites lors de la digestion)	N.C.	N.C.	N.C.	FE_CH ₄ _REF {fuites= 5% du CH ₄ produit} FE_CH ₄ _AS {0% ; 20%}		
	Facteur d'émission N ₂ O lors du compostage	FE_N ₂ O_REF {0,36 kg N ₂ O/t MB DCT} FE_N ₂ O_AS {0}			N.C.	N.C.	N.C.
	Facteur d'émission NH ₃ lors du stockage des digestats	N.C.	N.C.	N.C.	FE_NH ₃ _REF = 0,0136 kg/tMB DCT (Stockage couvert 80% de réduction) FE_NH ₃ _AS = 0,068 kg/tMB DCT (Stockage NON couvert)		
AS sur les pratiques d'épandage	Types de pratiques d'épandage	N.C.	N.C.	Paramètres du modèle NH₃ (Bonnes pratiques VS Mauvaises pratiques): Temps d'incorporation (Dig. Solides/Compost) : dans les 8h VS pas d'incorporation Application (Dig. Liquides): deep injection VS broadcaster Saison d'application (Tous types): sept à Mai VS non spécifié Application (Tous types) aux heures chaudes jamais VS quelques fois Paramètres du modèle Nitrates (Bonnes pratiques VS Mauvaises pratiques)(Tous types): 700 VS 1200 mm/an pour représenter différents climats			
AS sur la méthode d'analyse	Recipe	Remplacement de la méthode d'analyse EF 2018 par ReCiPe 2016 v1.1 midpoint method, Hierarchist version.					

Tableau 40 : Résumé des analyses de sensibilité

Sources des valeurs du tableau des analyses de sensibilité :

Analyse de sensibilité	Valeur	Source / commentaires
Facteur d'émission CH₄ (fuites lors de la digestion)	5%	d'après (INERIS, 2015), (Projet TRACKYLEAKS, Rapport final, 2018)
	20%	(Projet TRACKYLEAKS, Rapport final, 2018) (22% si soupape ouverte en permanence)
	0%	absence de fuites
Facteur d'émission N₂O lors du compostage	0,36 kg N ₂ O/t MB DCT	Facteur Andersen/ (Adhikari, 2013)
	0	Sous le seuil de détection (APESA, 2015)
Facteur d'émission NH₃ lors du stockage des digestats	Valeur de REF : couvert	(EMEP/EEA guidebook, 2016): stockage digestat liquide non couvert 0,0116 N-NH ₃ /kg N intrants et stockage digestat solide 0,015 N-NH ₃ /kg N intrants ; (Guide sur le biogaz, 2010): réduction de 80 à 90% des émissions avec une couverture type bâche flottante (p.207) Pas de modification d'émission pour les digestats solides car hangar semi-ouvert pas considéré comme réduisant les émissions de NH ₃
	Valeur AS : non couvert	(EMEP/EEA guidebook, 2016): stockage digestat liquide non couvert 0,0116 NH ₃ -N/kg N intrants et stockage digestat solide 0,015 N-NH ₃ /kg N intrants Pas de modification d'émission pour les digestats solides car hangar semi-ouvert pas considéré comme réduisant les émissions de NH ₃
Types de pratiques d'épandage	Scénarios modélisés pour chaque épandage	Outil (Brockmann, 2018)

Tableau 41 : Sélection des valeurs de paramètre pour l'analyse

N.B. Les résultats sont présentés uniquement sur les indicateurs sur lesquels l'analyse de sensibilité a une influence (Facteurs de caractérisation associés au paramètre de sensibilités).

7.3.1. Analyses de sensibilité sur les impacts évités

Prise en compte des impacts évités : substitution ou non

Prendre ou ne pas prendre en compte la substitution lors de l'épandage revient à comparer les impacts agrégés des filières aux impacts générés avec prise en compte des substitutions uniquement énergétiques des filières méthanisation.

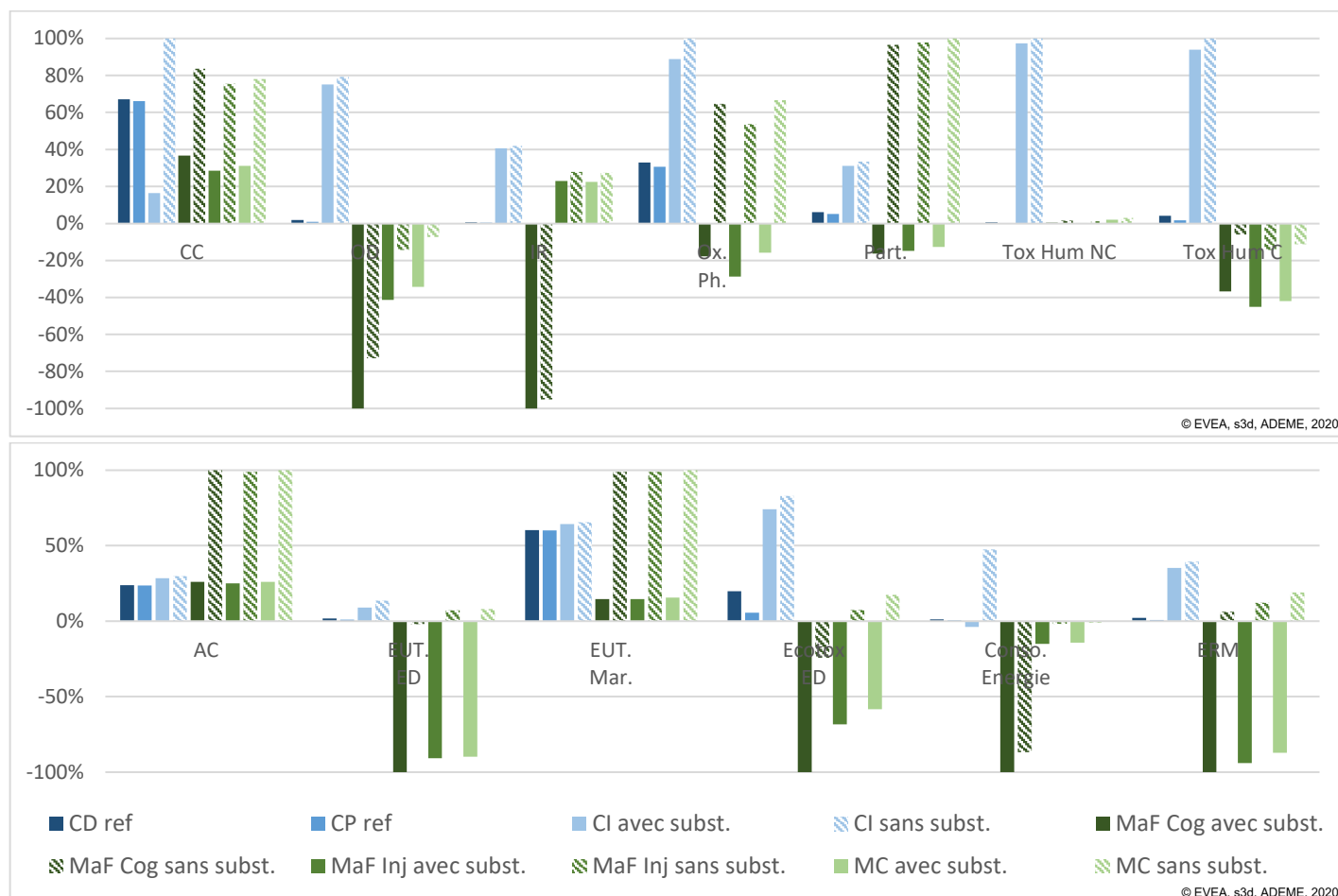


Figure 36 : Analyse de sensibilité sur la prise en compte des impacts évités

7.3.2. Analyses de sensibilité sur les facteurs d'émission

Facteur d'émission CH₄ (fuites lors de la digestion) {REF=5% ; MIN=0% ; MAX=20%}

En trait plein REFERENCE, en damier : scénario Min, en hachuré scénario Max

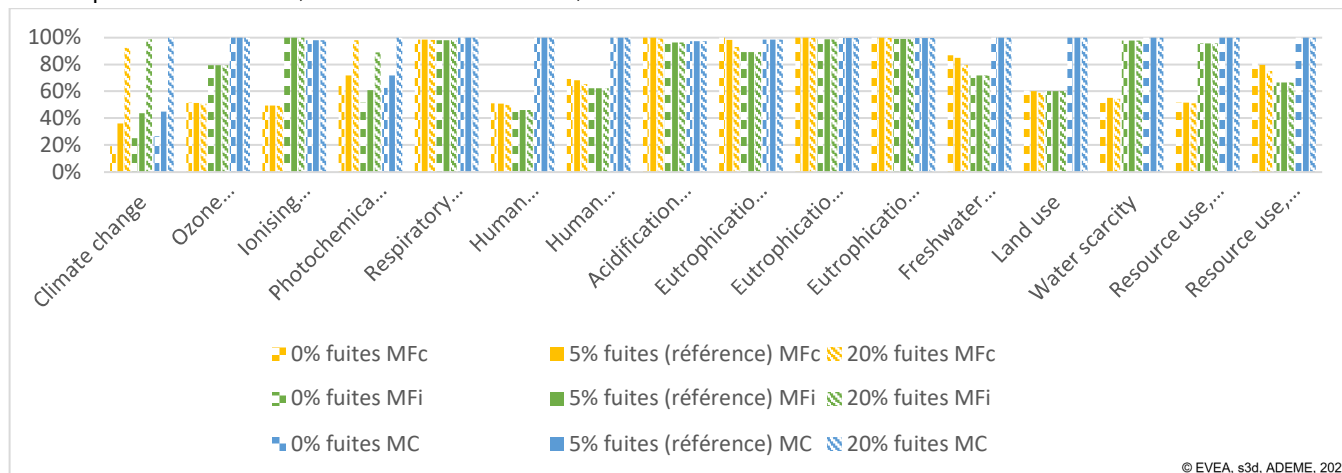


Figure 37 : Analyse de sensibilité sur le facteur d'émission CH₄, impacts générés

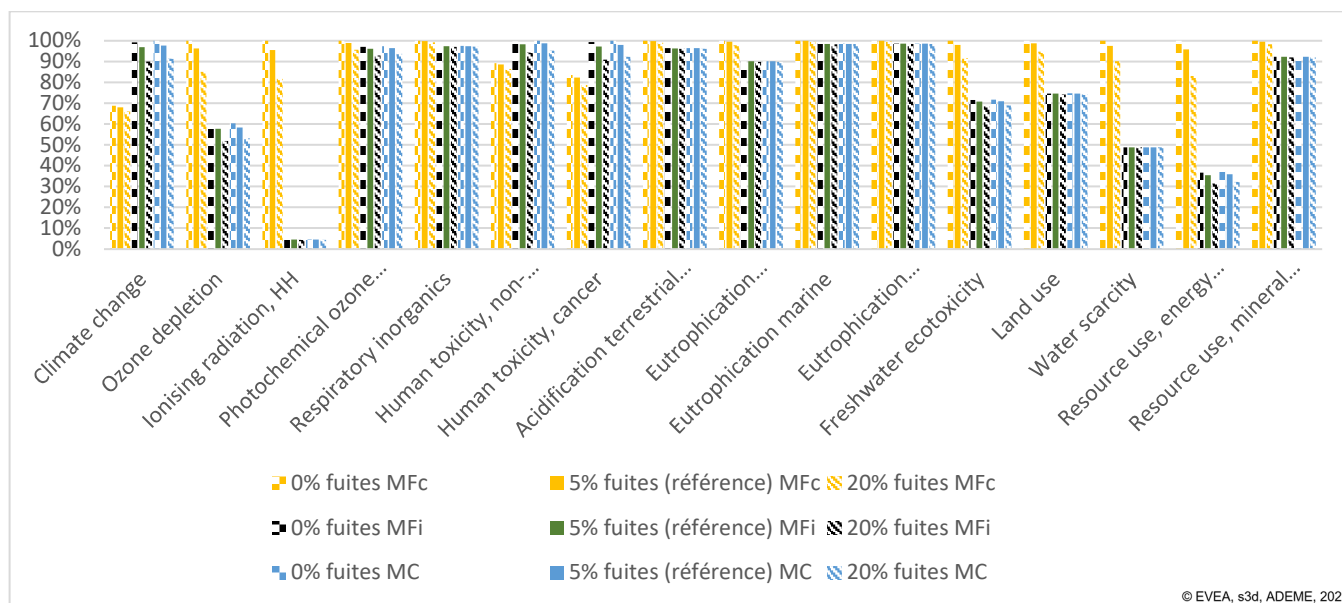


Figure 38 : Analyse de sensibilité sur le facteur d'émission CH₄, impacts évités

Facteur d'émission N₂O lors du compostage {REF=0,36 kg N₂O/t MB DCT ; MIN=0}

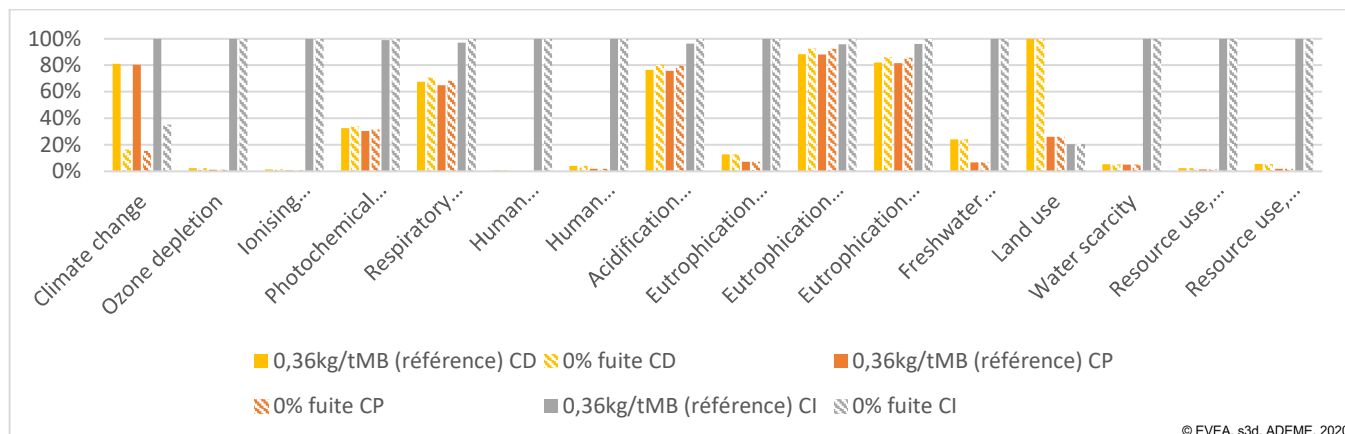


Figure 39 : Analyse de sensibilité sur le facteur d'émission N₂O, impacts générés

L'analyse de sensibilité sur le facteur d'émission N₂O intègre également le facteur d'émission NH₃, mise en cohérence du bilan massique de l'azote. Elle ne révèle aucun changement concernant les impacts évités.

7.3.3. Analyses de sensibilité sur les pratiques d'épandage

Les figures ci-dessous présentent les impacts générés et évités des bonnes (références) et mauvaises (analyse de sensibilité) pratiques d'épandage. Les paramètres modifiés entre bonnes et mauvaises pratiques sont l'incorporation des digestats solides/compost (dans les 8h ou pas d'incorporation), le mode d'application des digestats liquides (deep injection ou broadcaster), la saison d'application (de septembre à mai ou non spécifié), l'application ou non aux heures chaudes...

Impacts générés

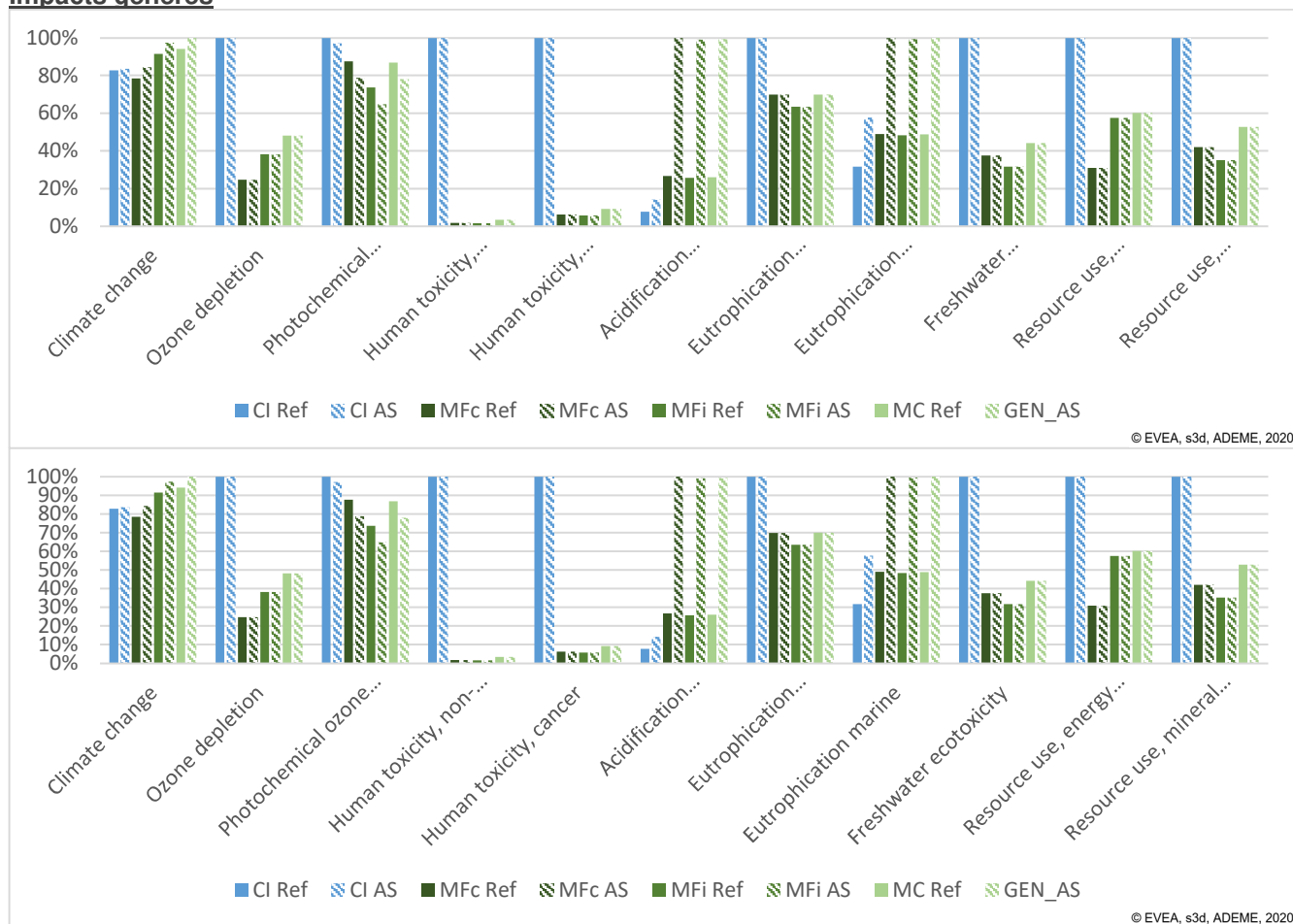


Figure 40 : Analyse de sensibilité sur les impacts générés des pratiques d'épandage

Impacts évités

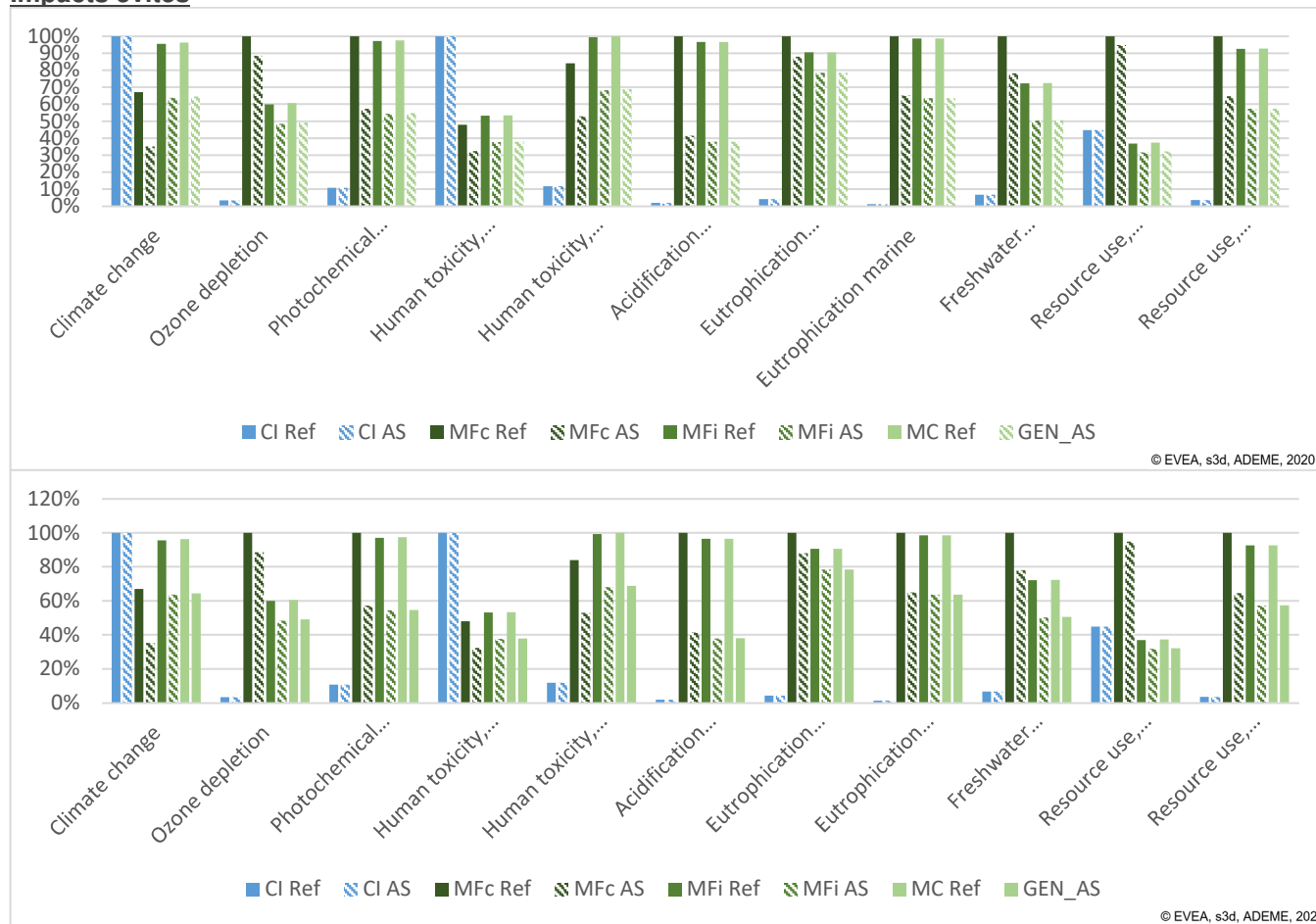


Figure 41 : Analyse de sensibilité sur les impacts évités des pratiques d'épandage

7.4. Synthèse bibliographique

Titre	Mass balance and Life Cycle Inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Réf.	Waste Management & Research, 2010, 28, 11, 1010-1020																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Auteurs	J. K. Andersen, A. Boldrin, T. H. Christensen and C. Scheutz																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Représentativité géographique	Danemark/Europe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Objectif de l'étude	Construction de l'Inventaire de Cycle de Vie (émissions et consommations) lors du compostage industriel de déchets de jardin.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Etapes de du cycle de vie considérées	Seulement le compostage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Méthodologie	Collecte de données auprès du site de compostage industriel (rapports et communications personnelles). Les données manquantes ont été générées par analyses d'échantillons (composition des déchets et du compost produit entre autres). Les analyses ont été réalisées sur 1 an afin de prendre en compte l'hétérogénéité du gisement ainsi que sa saisonnalité. Les émissions ont été quantifiées par analyse également des gaz issus du compostage.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Données brutes utilisées dans la présente étude	<p>Les données brutes utilisées pour l'étude ADEME sont la composition des déchets de jardins (colonne 1 du présent tableau) :</p> <p>Table 2. Chemical composition of the input garden waste (annual average data; taken from Boldrin and Christensen, 2009) and the compost from five sampling campaigns in 2006–2007, including a weighted annual average</p> <table><tr><th>Parameter</th><th>Unit</th><th>Input waste</th><th>Compost Nov 06</th><th>Compost Jan 07</th><th>Compost Mar 07</th><th>Compost May 07</th><th>Compost Aug 07</th><th>Compost annual average</th></tr><tr><td>TS</td><td>%</td><td>60.9</td><td>63.1</td><td>70.6</td><td>68.7</td><td>69.2</td><td>75.8</td><td>69.5</td></tr><tr><td>VS</td><td>% TS</td><td>51.7</td><td>25.5</td><td>21.2</td><td>22.2</td><td>26.0</td><td>21.3</td><td>23.2</td></tr><tr><td>Ash</td><td>% TS</td><td>48.3</td><td>74.5</td><td>78.8</td><td>77.8</td><td>74.0</td><td>78.7</td><td>76.8</td></tr><tr><td>S</td><td>% TS</td><td>0.06</td><td>0.11</td><td>0.09</td><td>0.09</td><td>0.09</td><td>0.09</td><td>0.09</td></tr><tr><td>Cl</td><td>% TS</td><td>0.10</td><td>0.003</td><td>0.001</td><td>0.001</td><td>0.001</td><td>0.05</td><td>0.02</td></tr><tr><td>F</td><td>% TS</td><td>0.01</td><td>0.32*</td><td>0.02</td><td>0.03</td><td>0.03</td><td>0.01</td><td>0.08</td></tr><tr><td>C</td><td>% TS</td><td>26.8</td><td>12.4</td><td>11.2</td><td>10.4</td><td>15.0</td><td>10.5</td><td>11.9</td></tr><tr><td>H</td><td>% TS</td><td>3.3</td><td>1.3</td><td>1.1</td><td>1.0</td><td>1.4</td><td>1.0</td><td>1.2</td></tr><tr><td>N</td><td>% TS</td><td>0.56</td><td>0.80</td><td>0.80</td><td>0.70</td><td>0.80</td><td>0.60</td><td>0.74</td></tr><tr><td>O</td><td>% TS</td><td>22.6</td><td>8.5</td><td>6.7</td><td>8.5</td><td>8.1</td><td>7.8</td><td>7.9</td></tr><tr><td>C:N</td><td></td><td>57.4</td><td>15.5</td><td>14.0</td><td>14.9</td><td>18.8</td><td>17.5</td><td>16.1</td></tr><tr><td>Cal. value</td><td>MJ kg⁻¹ TS</td><td>10.4</td><td>4.5</td><td>4.0</td><td>4.1</td><td>5.0</td><td>3.8</td><td>4.3</td></tr><tr><td>Cal. value</td><td>MJ kg⁻¹ ww</td><td>6.4</td><td>2.8</td><td>2.8</td><td>2.8</td><td>3.5</td><td>2.8</td><td>3.0</td></tr><tr><td>Density</td><td>kg m⁻³</td><td>–</td><td>670</td><td>774</td><td>746</td><td>–</td><td>–</td><td>730</td></tr><tr><td>Si</td><td>% TS</td><td>15.6</td><td>23</td><td>26</td><td>26</td><td>24</td><td>21</td><td>24</td></tr><tr><td>Al</td><td>% TS</td><td>1.4</td><td>2.6</td><td>3.0</td><td>3.1</td><td>2.6</td><td>2.3</td><td>2.7</td></tr><tr><td>Ca</td><td>% TS</td><td>1.2</td><td>2.2</td><td>2.3</td><td>2.6</td><td>2.5</td><td>1.7</td><td>2.2</td></tr><tr><td>Fe</td><td>% TS</td><td>0.7</td><td>1.1</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>1.2</td><td>1.0</td><td>1.2</td></tr><tr><td>K</td><td>% TS</td><td>1.0</td><td>1.7</td><td>1.9</td><td>1.9</td><td>1.6</td><td>1.5</td><td>1.7</td></tr><tr><td>Mg</td><td>% TS</td><td>0.18</td><td>0.29</td><td>0.34</td><td>0.37</td><td>0.33</td><td>0.26</td><td>0.32</td></tr><tr><td>Mn</td><td>% TS</td><td>0.02</td><td>0.04</td><td>0.05</td><td>0.05</td><td>0.05</td><td>0.04</td><td>0.05</td></tr><tr><td>Na</td><td>% TS</td><td>0.41</td><td>0.67</td><td>0.79</td><td>0.70</td><td>0.74</td><td>0.61</td><td>0.70</td></tr><tr><td>P</td><td>% TS</td><td>0.11</td><td>0.16</td><td>0.21</td><td>0.23</td><td>0.19</td><td>0.14</td><td>0.18</td></tr><tr><td>Ti</td><td>% TS</td><td>0.09</td><td>0.15</td><td>0.18</td><td>0.18</td><td>0.16</td><td>0.14</td><td>0.16</td></tr><tr><td>As</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>2.6</td><td>3.6</td><td>3.3</td><td>3.6</td><td>3.5</td><td>4.7</td><td>3.7</td></tr><tr><td>Ba</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>193</td><td>348</td><td>370</td><td>418</td><td>341</td><td>341</td><td>364</td></tr><tr><td>Be</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>0.44</td><td>0.68</td><td>0.81</td><td>0.91</td><td>0.72</td><td>0.67</td><td>0.76</td></tr><tr><td>Cd</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>0.23</td><td>0.29</td><td>0.24</td><td>0.28</td><td>0.26</td><td>0.32</td><td>0.28</td></tr><tr><td>Co</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>2.4</td><td>3.3</td><td>2.9</td><td>2.9</td><td>3.1</td><td>3.5</td><td>3.2</td></tr><tr><td>Cr</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>18</td><td>26</td><td>32</td><td>38</td><td>35</td><td>30</td><td>32</td></tr><tr><td>Cu</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>13</td><td>28</td><td>31</td><td>9.8*</td><td>33</td><td>35</td><td>27</td></tr><tr><td>Hg</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>0.04</td><td>0.05</td><td>0.05</td><td>0.07</td><td>0.06</td><td>0.07</td><td>0.06</td></tr><tr><td>Mo</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>2.7</td><td><4</td><td><5</td><td><5</td><td><4</td><td><5</td><td><4.6</td></tr><tr><td>Nb</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>4.5</td><td>5.8</td><td>5.6</td><td>5.3</td><td>5.1</td><td>5.0</td><td>5.4</td></tr><tr><td>Ni</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>4.5</td><td>7.5</td><td>6.5</td><td>6.4</td><td>6.8</td><td>8.2</td><td>7.1</td></tr><tr><td>Pb</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>9.6</td><td>31</td><td>20</td><td>23</td><td>25</td><td>23</td><td>25</td></tr><tr><td>Sb</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>0.14</td><td>0.09</td><td>0.05</td><td>0.05</td><td>0.06</td><td>0.22*</td><td>0.09</td></tr><tr><td>Sc</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>1.5</td><td>3.2</td><td>4.0</td><td>4.1</td><td>3.4</td><td>2.8</td><td>3.5</td></tr><tr><td>Sn</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>12.3</td><td><20</td><td><20</td><td><20</td><td><20</td><td><20</td><td><20</td></tr><tr><td>Sr</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>661</td><td>129</td><td>156</td><td>152</td><td>133</td><td>116</td><td>137</td></tr><tr><td>V</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>15.4</td><td>26</td><td>32</td><td>34</td><td>29</td><td>23</td><td>29</td></tr><tr><td>W</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>27.2</td><td><40</td><td><50</td><td><50</td><td><40</td><td><50</td><td><46</td></tr><tr><td>Y</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>5.6</td><td>11</td><td>11</td><td>12</td><td>12</td><td>8.7</td><td>11</td></tr><tr><td>Zn</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>64.5</td><td>117</td><td>111</td><td>135</td><td>133</td><td>134</td><td>126</td></tr><tr><td>Zr</td><td>mg kg⁻¹ TS</td><td>104</td><td>178</td><td>239</td><td>169</td><td>4.36*</td><td>127</td><td>143</td></tr></table>	Parameter	Unit	Input waste	Compost Nov 06	Compost Jan 07	Compost Mar 07	Compost May 07	Compost Aug 07	Compost annual average	TS	%	60.9	63.1	70.6	68.7	69.2	75.8	69.5	VS	% TS	51.7	25.5	21.2	22.2	26.0	21.3	23.2	Ash	% TS	48.3	74.5	78.8	77.8	74.0	78.7	76.8	S	% TS	0.06	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	Cl	% TS	0.10	0.003	0.001	0.001	0.001	0.05	0.02	F	% TS	0.01	0.32*	0.02	0.03	0.03	0.01	0.08	C	% TS	26.8	12.4	11.2	10.4	15.0	10.5	11.9	H	% TS	3.3	1.3	1.1	1.0	1.4	1.0	1.2	N	% TS	0.56	0.80	0.80	0.70	0.80	0.60	0.74	O	% TS	22.6	8.5	6.7	8.5	8.1	7.8	7.9	C:N		57.4	15.5	14.0	14.9	18.8	17.5	16.1	Cal. value	MJ kg ⁻¹ TS	10.4	4.5	4.0	4.1	5.0	3.8	4.3	Cal. value	MJ kg ⁻¹ ww	6.4	2.8	2.8	2.8	3.5	2.8	3.0	Density	kg m ⁻³	–	670	774	746	–	–	730	Si	% TS	15.6	23	26	26	24	21	24	Al	% TS	1.4	2.6	3.0	3.1	2.6	2.3	2.7	Ca	% TS	1.2	2.2	2.3	2.6	2.5	1.7	2.2	Fe	% TS	0.7	1.1	1.3	1.5	1.2	1.0	1.2	K	% TS	1.0	1.7	1.9	1.9	1.6	1.5	1.7	Mg	% TS	0.18	0.29	0.34	0.37	0.33	0.26	0.32	Mn	% TS	0.02	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	Na	% TS	0.41	0.67	0.79	0.70	0.74	0.61	0.70	P	% TS	0.11	0.16	0.21	0.23	0.19	0.14	0.18	Ti	% TS	0.09	0.15	0.18	0.18	0.16	0.14	0.16	As	mg kg ⁻¹ TS	2.6	3.6	3.3	3.6	3.5	4.7	3.7	Ba	mg kg ⁻¹ TS	193	348	370	418	341	341	364	Be	mg kg ⁻¹ TS	0.44	0.68	0.81	0.91	0.72	0.67	0.76	Cd	mg kg ⁻¹ TS	0.23	0.29	0.24	0.28	0.26	0.32	0.28	Co	mg kg ⁻¹ TS	2.4	3.3	2.9	2.9	3.1	3.5	3.2	Cr	mg kg ⁻¹ TS	18	26	32	38	35	30	32	Cu	mg kg ⁻¹ TS	13	28	31	9.8*	33	35	27	Hg	mg kg ⁻¹ TS	0.04	0.05	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06	Mo	mg kg ⁻¹ TS	2.7	<4	<5	<5	<4	<5	<4.6	Nb	mg kg ⁻¹ TS	4.5	5.8	5.6	5.3	5.1	5.0	5.4	Ni	mg kg ⁻¹ TS	4.5	7.5	6.5	6.4	6.8	8.2	7.1	Pb	mg kg ⁻¹ TS	9.6	31	20	23	25	23	25	Sb	mg kg ⁻¹ TS	0.14	0.09	0.05	0.05	0.06	0.22*	0.09	Sc	mg kg ⁻¹ TS	1.5	3.2	4.0	4.1	3.4	2.8	3.5	Sn	mg kg ⁻¹ TS	12.3	<20	<20	<20	<20	<20	<20	Sr	mg kg ⁻¹ TS	661	129	156	152	133	116	137	V	mg kg ⁻¹ TS	15.4	26	32	34	29	23	29	W	mg kg ⁻¹ TS	27.2	<40	<50	<50	<40	<50	<46	Y	mg kg ⁻¹ TS	5.6	11	11	12	12	8.7	11	Zn	mg kg ⁻¹ TS	64.5	117	111	135	133	134	126	Zr	mg kg ⁻¹ TS	104	178	239	169	4.36*	127	143
Parameter	Unit	Input waste	Compost Nov 06	Compost Jan 07	Compost Mar 07	Compost May 07	Compost Aug 07	Compost annual average																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
TS	%	60.9	63.1	70.6	68.7	69.2	75.8	69.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
VS	% TS	51.7	25.5	21.2	22.2	26.0	21.3	23.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Ash	% TS	48.3	74.5	78.8	77.8	74.0	78.7	76.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
S	% TS	0.06	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Cl	% TS	0.10	0.003	0.001	0.001	0.001	0.05	0.02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
F	% TS	0.01	0.32*	0.02	0.03	0.03	0.01	0.08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
C	% TS	26.8	12.4	11.2	10.4	15.0	10.5	11.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
H	% TS	3.3	1.3	1.1	1.0	1.4	1.0	1.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
N	% TS	0.56	0.80	0.80	0.70	0.80	0.60	0.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
O	% TS	22.6	8.5	6.7	8.5	8.1	7.8	7.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
C:N		57.4	15.5	14.0	14.9	18.8	17.5	16.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Cal. value	MJ kg ⁻¹ TS	10.4	4.5	4.0	4.1	5.0	3.8	4.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Cal. value	MJ kg ⁻¹ ww	6.4	2.8	2.8	2.8	3.5	2.8	3.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Density	kg m ⁻³	–	670	774	746	–	–	730																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Si	% TS	15.6	23	26	26	24	21	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Al	% TS	1.4	2.6	3.0	3.1	2.6	2.3	2.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Ca	% TS	1.2	2.2	2.3	2.6	2.5	1.7	2.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Fe	% TS	0.7	1.1	1.3	1.5	1.2	1.0	1.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
K	% TS	1.0	1.7	1.9	1.9	1.6	1.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Mg	% TS	0.18	0.29	0.34	0.37	0.33	0.26	0.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Mn	% TS	0.02	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Na	% TS	0.41	0.67	0.79	0.70	0.74	0.61	0.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P	% TS	0.11	0.16	0.21	0.23	0.19	0.14	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Ti	% TS	0.09	0.15	0.18	0.18	0.16	0.14	0.16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
As	mg kg ⁻¹ TS	2.6	3.6	3.3	3.6	3.5	4.7	3.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Ba	mg kg ⁻¹ TS	193	348	370	418	341	341	364																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Be	mg kg ⁻¹ TS	0.44	0.68	0.81	0.91	0.72	0.67	0.76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Cd	mg kg ⁻¹ TS	0.23	0.29	0.24	0.28	0.26	0.32	0.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Co	mg kg ⁻¹ TS	2.4	3.3	2.9	2.9	3.1	3.5	3.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Cr	mg kg ⁻¹ TS	18	26	32	38	35	30	32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Cu	mg kg ⁻¹ TS	13	28	31	9.8*	33	35	27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Hg	mg kg ⁻¹ TS	0.04	0.05	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Mo	mg kg ⁻¹ TS	2.7	<4	<5	<5	<4	<5	<4.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Nb	mg kg ⁻¹ TS	4.5	5.8	5.6	5.3	5.1	5.0	5.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Ni	mg kg ⁻¹ TS	4.5	7.5	6.5	6.4	6.8	8.2	7.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Pb	mg kg ⁻¹ TS	9.6	31	20	23	25	23	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Sb	mg kg ⁻¹ TS	0.14	0.09	0.05	0.05	0.06	0.22*	0.09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Sc	mg kg ⁻¹ TS	1.5	3.2	4.0	4.1	3.4	2.8	3.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Sn	mg kg ⁻¹ TS	12.3	<20	<20	<20	<20	<20	<20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Sr	mg kg ⁻¹ TS	661	129	156	152	133	116	137																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
V	mg kg ⁻¹ TS	15.4	26	32	34	29	23	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
W	mg kg ⁻¹ TS	27.2	<40	<50	<50	<40	<50	<46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Y	mg kg ⁻¹ TS	5.6	11	11	12	12	8.7	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Zn	mg kg ⁻¹ TS	64.5	117	111	135	133	134	126																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Zr	mg kg ⁻¹ TS	104	178	239	169	4.36*	127	143																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

	<p>Table 4. LCI data for Aarhus windrow composting plant. All data, except the amount of garden waste, are presented in unit per Mg of wet waste (ww)</p>																																								
	<table> <tr> <th></th><th>LCI data</th><th>Amount</th></tr> <tr> <td>Garden waste</td><td>Amount in 2007</td><td>16220 Mg ww yr⁻¹</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Energy consumption</td><td>Electricity</td><td>0.2 kWh Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Diesel</td><td>3.04 L Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td rowspan="4">Materials consumption</td><td>Lubricating grease</td><td>0.013 L Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Motor oil</td><td>0.005 L Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Hydraulic oil</td><td>0.005 L Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Cleaning fluid</td><td>0.001 L Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td rowspan="4">Gaseous emissions</td><td>CO₂-C</td><td>86 ± 10 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>CH₄-C</td><td>1.9 ± 0.4 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>N₂O-N</td><td>0.05 ± 0.01 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>CO-C</td><td>0.12 ± 0.06 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td rowspan="5">Finished product</td><td>Compost</td><td>649 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Wood to incineration (screen rejects)</td><td>37 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Wood to incineration (sorting rejects)</td><td>31 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Hard materials to C&D facility</td><td>4.8 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> <tr> <td>Foreign items to incineration</td><td>6.5 kg Mg⁻¹ ww</td></tr> </table>		LCI data	Amount	Garden waste	Amount in 2007	16220 Mg ww yr ⁻¹	Energy consumption	Electricity	0.2 kWh Mg ⁻¹ ww	Diesel	3.04 L Mg ⁻¹ ww	Materials consumption	Lubricating grease	0.013 L Mg ⁻¹ ww	Motor oil	0.005 L Mg ⁻¹ ww	Hydraulic oil	0.005 L Mg ⁻¹ ww	Cleaning fluid	0.001 L Mg ⁻¹ ww	Gaseous emissions	CO ₂ -C	86 ± 10 kg Mg ⁻¹ ww	CH ₄ -C	1.9 ± 0.4 kg Mg ⁻¹ ww	N ₂ O-N	0.05 ± 0.01 kg Mg ⁻¹ ww	CO-C	0.12 ± 0.06 kg Mg ⁻¹ ww	Finished product	Compost	649 kg Mg ⁻¹ ww	Wood to incineration (screen rejects)	37 kg Mg ⁻¹ ww	Wood to incineration (sorting rejects)	31 kg Mg ⁻¹ ww	Hard materials to C&D facility	4.8 kg Mg ⁻¹ ww	Foreign items to incineration	6.5 kg Mg ⁻¹ ww
	LCI data	Amount																																							
Garden waste	Amount in 2007	16220 Mg ww yr ⁻¹																																							
Energy consumption	Electricity	0.2 kWh Mg ⁻¹ ww																																							
	Diesel	3.04 L Mg ⁻¹ ww																																							
Materials consumption	Lubricating grease	0.013 L Mg ⁻¹ ww																																							
	Motor oil	0.005 L Mg ⁻¹ ww																																							
	Hydraulic oil	0.005 L Mg ⁻¹ ww																																							
	Cleaning fluid	0.001 L Mg ⁻¹ ww																																							
Gaseous emissions	CO ₂ -C	86 ± 10 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	CH ₄ -C	1.9 ± 0.4 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	N ₂ O-N	0.05 ± 0.01 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	CO-C	0.12 ± 0.06 kg Mg ⁻¹ ww																																							
Finished product	Compost	649 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	Wood to incineration (screen rejects)	37 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	Wood to incineration (sorting rejects)	31 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	Hard materials to C&D facility	4.8 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	Foreign items to incineration	6.5 kg Mg ⁻¹ ww																																							
	Ainsi que les émissions générées par le compostage de déchets de jardin :																																								
Remarque/pertinence pour la présente étude	Ces données ont été utilisées à des fins de comparaison à la composition des déchets verts présentée dans l'étude APESA (ADEME, 2015) et qui a été utilisée dans la présente étude.																																								

Titre	Mass balance and Life Cycle Inventory of home composting of organic waste
Réf.	Waste Management, 2011, 31, 1934-1942
Auteurs	J.K. Andersen, A. Boldrin, T. H. Christensen, C. Scheutz
Représentativité géographique	Danemark/Europe
Objectif de l'étude	Construction de l'inventaire de cycle de vie du compostage domestique de déchets ménagers
Etapes de du cycle de vie considérées	Compostage uniquement
Méthodologie	Monitoring de 6 composts familiaux pendant 1 an. Etude de l'influence du niveau d'entretien des composts (retournement, aération etc), dans le but de représenter les familles assidues et les familles négligentes. Les données sont récoltées durant les campagnes de mesure, principalement concernant les émissions gaz et liquide.
Données brutes utilisées dans la présente étude	Les données utilisées sont la composition des déchets entrant dans un but de comparaison avec les hypothèses retenues (moyenne sur les 3 premières colonnes du tableau suivant) :

Table 2

Composition of input material and compost from Units 1 and 3 and the range of all parameters in composting units 1–6. Some literature reference values are given for home composts.

Parameter	Unit	Input: Unit 1	Input: Unit 3	Input: range of Unit 1–6	Compost: Unit 1	Compost: Unit 3 "fresh" ^a	Compost: Unit 3 "mature" ^a	Compost: Unit 3 weighted average	Compost: range of Units 1–6	Compost: literature reference
TS	%	28.6 ± 1.3	27.0 ± 2.3	21.1–36.2	24.9	28.2	30.6	29.9	24.9–33.0	56 ^b , 56.4 ^c , 29.9–36.6 ^c
VS	% TS	86.2 ± 1.8	71.9 ± 8.5	71.9–86.2	62.3	62.2	45.2	50.4	45.2–62.3	49 ^b , 48.0 ^c , 28.2–32.9 ^c
C	% TS	43.8 ± 0.8	38.2 ± 3.9	38.2–43.8	35.6	36.2	24.7	28.2	24.7–35.6	19–32 ^d
H	% TS	5.8 ± 0.1	5.0 ± 0.6	5.0–5.8	4.2	3.9	2.6	3.0	2.6–4.2	–
N	% TS	1.8 ± 0.03	1.6 ± 0.13	1.6–1.9	2.2	2.2	1.4	1.6	1.4–2.2	2.4 ^b , 1.7 ^c , 1.1–2.3 ^d , 3.2–3.5 ^e
O	% TS	34.5 ± 0.8	26.9 ± 4.0	26.9–35.0	20.0	19.6	16.1	17.2	15.8–20.0	–
S	% TS	0.18 ± 0.004	0.18 ± 0.03	0.18–0.22	0.37	0.38	0.33	0.34	0.33–0.38	–
C:N	–	24.3 ± 0.09	23.6 ± 0.4	21.7–24.7	16.0	16.8	18.0	17.7	15.8–18.0	13 2–18.2 ^d
Al	% TS	0.24 ± 0.03	0.41 ± 0.04	0.24–0.41	0.56	0.16	0.54	0.42	0.50–0.58	–
Ca	% TS	1.4 ± 0.06	2.7 ± 0.27	1.4–2.7	3.5	7.0	4.8	5.5	3.1–6.8	–
Fe	% TS	0.13 ± 0.02	0.25 ± 0.10	0.13–0.25	0.37	0.09	0.35	0.27	0.35–0.41	–
K	% TS	1.4 ± 0.01	1.7 ± 0.08	1.4–1.8	1.8	2.9	2.0	2.3	1.8–2.4	1.3–1.9 ^e
Na	% TS	0.41 ± 0.01	0.30 ± 0.05	0.25–0.49	0.50	0.49	0.28	0.34	0.18–0.50	–
P	% TS	0.26 ± 0.005	0.26 ± 0.018	0.26–0.29	0.50	0.59	0.53	0.55	0.46–0.56	0.6–0.7 ^e
As	mg kg ⁻¹ TS	0.69 ± 0.08	1.2 ± 0.7	0.7–1.2	1.7	1.4	2.0	1.8	1.7–2.1	–
Cd	mg kg ⁻¹ TS	0.13 ± 0.004	0.14 ± 0.008	0.13–0.16	0.22	0.18	0.30	0.26	0.22–0.38	0.3 ^c
Co	mg kg ⁻¹ TS	0.59 ± 0.06	1.3 ± 0.05	0.6–1.3	1.7	0.42	1.8	1.4	1.6–3.0	–
Cr	mg kg ⁻¹ TS	6.4 ± 0.4	13.7 ± 5.3	5.9–13.7	23.1	3.8	17.3	13.2	17.3–44.8	9 ^c
Cu	mg kg ⁻¹ TS	11.3 ± 0.07	12.3 ± 0.9	10.2–14.0	29.5	20.9	27.4	25.4	27.4–59.9	44 ^c
Hg	mg kg ⁻¹ TS	0.02 ± 0.0002	0.04 ± 0.005	0.02–0.05	0.05	0.03	0.08	0.06	0.04–0.10	–
Mn	mg kg ⁻¹ TS	83.6 ± 17.7	96.0 ± 4.0	69–142	182	127	212	186	182–294	–
Mo	mg kg ⁻¹ TS	0.74 ± 0.018	0.80 ± 0.01	0.67–0.81	1.4	1.9	1.6	1.7	1.4–1.9	–
Ni	mg kg ⁻¹ TS	2.3 ± 0.12	4.0 ± 0.9	2.3–4.1	6.7	2.5	5.6	4.7	5.6–7.9	9 ^c
Pb	mg kg ⁻¹ TS	3.7 ± 0.47	6.4 ± 1.1	3.7–8.8	10.6	2.6	12.7	9.6	10.6–22.2	28 ^c
Zn	mg kg ⁻¹ TS	34.2 ± 1.5	52.9 ± 10.3	34.2–52.9	86.1	57.2	95.9	84.0	76.6–109	156 ^c

^a The output material in Units 3–6 were divided into "fresh" (top) and "mature" (bottom) compost.

^b Colón et al., 2010, home composting.

^c Martínez-Blanco et al., 2010, home composting.

^d Papadopoulos et al., 2009, home composting.

^e Jasim and Smith, 2003, home composting (average values).

Les émissions gaz et liquide ont également été utilisées pour l'étude ADEME, afin de construire le bilan matière du compostage individuel de déchets ménagers :

Table 6

LCI data for home composting of organic household waste.

	LCI data	Amount	Unit ^a
Input waste	Organic household waste	113–273	kg ww yr ⁻¹
Energy and materials consumption	Garden waste	6–22	kg ww yr ⁻¹
	Electricity	0	kWh Mg ⁻¹ ww
	Water	0	L Mg ⁻¹ ww
Gaseous emissions (to atmosphere)	CO ₂ -C (biogenic)	177–252	kg Mg ⁻¹ ww
		51–95	(% of total C emitted)
	CH ₄ -C	0.4–4.2	kg Mg ⁻¹ ww
		0.3–3.9	(% of total C emitted)
	CO-C	0.07–0.13	kg Mg ⁻¹ ww
		0.04–0.08	(% of total C emitted)
	N ₂ O-N	0.30–0.55	kg Mg ⁻¹ ww
		2.8–6.3	(% of total N emitted)
	NH ₃	~0	kg Mg ⁻¹ ww
Liquid emissions (to groundwater)	Leachate	130	L Mg ⁻¹ ww
	N losses	0.05	kg Mg ⁻¹ ww
		0.3–0.6	(% of total N emitted)
	C losses	0.33	kg Mg ⁻¹ ww
		1.3–3.0	(% of total C emitted)
	BOD	3.5	kg Mg ⁻¹ ww
	COD	9.9	kg Mg ⁻¹ ww
	K	6.4	kg Mg ⁻¹ ww
	P	0.08	kg Mg ⁻¹ ww
	As	2.4 × 10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww
	Cd	2.5 × 10 ⁻⁶	kg Mg ⁻¹ ww
	Cr	3.2 × 10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww
	Cu	2.9 × 10 ⁻⁴	kg Mg ⁻¹ ww
	Hg	2.8 × 10 ⁻⁷	kg Mg ⁻¹ ww
	Ni	8.7 × 10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww
	Pb	9.9 × 10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww
Finished product	Compost	0.27–0.45	kg Mg ⁻¹ ww

^a All data are for the composting process and do not include transport.

Remarque/pertinence pour la présente étude

Le cadre de cette publication correspond tout à fait au cadre de la présente étude, à savoir le compostage individuel de déchets de table. Ces données ont été utilisées à des fins de comparaison à la composition des déchets verts présentée dans l'étude APESA (ADEME, 2015) et qui a été utilisée dans la présente étude.



Titre	Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using Life Cycle assessment-modelling																																																																																																												
Réf.	Waste Management, 2012, 32, 31-40																																																																																																												
Auteurs	J. K. Andersen, A. Boldrin, T. H. Christensen, C. Scheutz																																																																																																												
Représentativité géographique	Danemark/ Europe																																																																																																												
Objectif de l'étude	Etude environnementale concernant le management de déchets organiques ménagers à l'aide du modèle d'Analyse de Cycle de Vie EASEWASTE, comparaison à l'incinération et enfouissement.																																																																																																												
Etapes de du cycle de vie considérées	Phase de compostage ainsi que les étapes amont et aval du procédé, en particulier pour le traitement des effluents.																																																																																																												
Méthodologie	Monitoring de 6 composts familiaux pendant 1 an. Etude de l'influence du niveau d'entretien des composts (retournement, aération etc.), dans le but de représenter les familles assidues et les familles négligentes. Les données sont récoltées durant les campagnes de mesure, principalement concernant les émissions gaz et liquide.																																																																																																												
Données brutes utilisées dans la présente étude	<p>Les données utilisées pour la présente étude sont les émissions générées par le compostage domestique de déchets organiques ménager (tableau ci-dessous) :</p> <p>Table 3 LCI data for home composting of organic household waste. Data adapted from Andersen et al. (2010d) and Andersen et al. (2011).</p> <table><tr><th></th><th>LCI data</th><th>Amount</th><th>Unit</th></tr><tr><td rowspan="2">Input waste</td><td>Organic household waste</td><td>113–273</td><td>kg ww year⁻¹</td></tr><tr><td>Garden waste</td><td>6–22</td><td>kg ww year⁻¹</td></tr><tr><td rowspan="2">Energy and materials consumption</td><td>Electricity</td><td>0</td><td>kWh Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Water</td><td>0</td><td>L Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td rowspan="10">Gaseous emissions (to atmosphere)</td><td>CO₂-C (biogenic)</td><td>177–252</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td></td><td>51–95</td><td>(% of total C emitted)</td></tr><tr><td>CH₄-C</td><td>0.4–4.2</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td></td><td>0.3–3.9</td><td>(% of total C emitted)</td></tr><tr><td>CO-C</td><td>0.07–0.13</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td></td><td>0.04–0.08</td><td>(% of total C emitted)</td></tr><tr><td>N₂O-N</td><td>0.30–0.55</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td></td><td>2.8–6.3</td><td>(% of total N emitted)</td></tr><tr><td>NH₃</td><td>~0</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td rowspan="19">Liquid emissions (to groundwater)</td><td>Leachate generation</td><td>130</td><td>L Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Total N losses</td><td>0.05</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td></td><td>0.3–0.6</td><td>(% of total N emitted)</td></tr><tr><td>Total C losses</td><td>0.33</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td></td><td>1.3–3.0</td><td>(% of total C emitted)</td></tr><tr><td>BOD</td><td>3.5</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>COD</td><td>9.9</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>K</td><td>6.4</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>P</td><td>0.08</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>As</td><td>2.4·10⁻⁵</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Cd</td><td>2.5·10⁻⁶</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Cr</td><td>3.2·10⁻⁵</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Cu</td><td>2.9·10⁻⁴</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Hg</td><td>2.8·10⁻⁷</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Ni</td><td>8.7·10⁻⁵</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Pb</td><td>9.9·10⁻⁵</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td rowspan="4">Finished product</td><td>Compost</td><td>0.27–0.45</td><td>kg Mg⁻¹ ww</td></tr><tr><td>Substitution of peat</td><td>21</td><td>% Substitution</td></tr><tr><td>Substitution of fertiliser</td><td>18</td><td>% Substitution</td></tr><tr><td>Substitution of manure</td><td>0</td><td>% Substitution</td></tr></table>		LCI data	Amount	Unit	Input waste	Organic household waste	113–273	kg ww year ⁻¹	Garden waste	6–22	kg ww year ⁻¹	Energy and materials consumption	Electricity	0	kWh Mg ⁻¹ ww	Water	0	L Mg ⁻¹ ww	Gaseous emissions (to atmosphere)	CO ₂ -C (biogenic)	177–252	kg Mg ⁻¹ ww		51–95	(% of total C emitted)	CH ₄ -C	0.4–4.2	kg Mg ⁻¹ ww		0.3–3.9	(% of total C emitted)	CO-C	0.07–0.13	kg Mg ⁻¹ ww		0.04–0.08	(% of total C emitted)	N ₂ O-N	0.30–0.55	kg Mg ⁻¹ ww		2.8–6.3	(% of total N emitted)	NH ₃	~0	kg Mg ⁻¹ ww	Liquid emissions (to groundwater)	Leachate generation	130	L Mg ⁻¹ ww	Total N losses	0.05	kg Mg ⁻¹ ww		0.3–0.6	(% of total N emitted)	Total C losses	0.33	kg Mg ⁻¹ ww		1.3–3.0	(% of total C emitted)	BOD	3.5	kg Mg ⁻¹ ww	COD	9.9	kg Mg ⁻¹ ww	K	6.4	kg Mg ⁻¹ ww	P	0.08	kg Mg ⁻¹ ww	As	2.4·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww	Cd	2.5·10 ⁻⁶	kg Mg ⁻¹ ww	Cr	3.2·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww	Cu	2.9·10 ⁻⁴	kg Mg ⁻¹ ww	Hg	2.8·10 ⁻⁷	kg Mg ⁻¹ ww	Ni	8.7·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww	Pb	9.9·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww	Finished product	Compost	0.27–0.45	kg Mg ⁻¹ ww	Substitution of peat	21	% Substitution	Substitution of fertiliser	18	% Substitution	Substitution of manure	0	% Substitution
	LCI data	Amount	Unit																																																																																																										
Input waste	Organic household waste	113–273	kg ww year ⁻¹																																																																																																										
	Garden waste	6–22	kg ww year ⁻¹																																																																																																										
Energy and materials consumption	Electricity	0	kWh Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
	Water	0	L Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Gaseous emissions (to atmosphere)	CO ₂ -C (biogenic)	177–252	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
		51–95	(% of total C emitted)																																																																																																										
	CH ₄ -C	0.4–4.2	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
		0.3–3.9	(% of total C emitted)																																																																																																										
	CO-C	0.07–0.13	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
		0.04–0.08	(% of total C emitted)																																																																																																										
	N ₂ O-N	0.30–0.55	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
		2.8–6.3	(% of total N emitted)																																																																																																										
	NH ₃	~0	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
	Liquid emissions (to groundwater)	Leachate generation	130	L Mg ⁻¹ ww																																																																																																									
Total N losses		0.05	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
		0.3–0.6	(% of total N emitted)																																																																																																										
Total C losses		0.33	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
		1.3–3.0	(% of total C emitted)																																																																																																										
BOD		3.5	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
COD		9.9	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
K		6.4	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
P		0.08	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
As		2.4·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Cd		2.5·10 ⁻⁶	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Cr		3.2·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Cu		2.9·10 ⁻⁴	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Hg		2.8·10 ⁻⁷	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Ni		8.7·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Pb		9.9·10 ⁻⁵	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																										
Finished product		Compost	0.27–0.45	kg Mg ⁻¹ ww																																																																																																									
		Substitution of peat	21	% Substitution																																																																																																									
		Substitution of fertiliser	18	% Substitution																																																																																																									
	Substitution of manure	0	% Substitution																																																																																																										
Remarque/pertinence pour la présente étude	Le cadre de cette publication correspond tout à fait au cadre de la présente étude, à savoir le compostage individuel de déchets de table. Ces données ont été utilisées à des fins de comparaison à la composition des déchets verts présentée dans l'étude APESA (ADEME, 2015) et qui a été utilisée dans la présente étude.																																																																																																												

Titre	Characterization of chemical composition and energy content of green waste and municipal solid waste from Greater Brisbane, Australia
Réf.	Waste Management, 2015

Auteurs	S. S. Hla, D. Roberts																																																																																																																																																																				
Représentativité géographique	Australie																																																																																																																																																																				
Objectif de l'étude	Détermination de la composition des déchets verts et déchets municipaux																																																																																																																																																																				
Etapas de du cycle de vie considérées	-																																																																																																																																																																				
Méthodologie	Analyses réalisées sur des échantillons de déchets verts provenant de stations de transit, durant 3 semaines en Février. Même méthodologie pour la caractérisation des déchets municipaux.																																																																																																																																																																				
Données brutes utilisées dans la présente étude	<p>Les données brutes utilisées pour l'étude ADEME concernant la composition des déchets verts, présentée dans le tableau ci-dessous (colonne 02-GdnW pour « les déchets de jardin ») :</p> <p>Table 7 Chemical analyses of each category of MSW samples.</p> <table><tr><th>Analysis</th><th>Parameters</th><th>01-FW</th><th>02-GdnW</th><th>03-Pnt Ppr</th><th>04-Pkg Ppr</th><th>05-Pkg Plst</th><th>06-O Plst</th><th>07-Tex</th><th>08-WW</th><th>09-OC</th></tr><tr><td rowspan="4">Proximate</td><td>Total moisture (%wb)</td><td>70.6</td><td>59.9</td><td>19.8</td><td>25.0</td><td>25.6</td><td>2.2</td><td>20.1</td><td>11.9</td><td>28.2</td></tr><tr><td>Volatile matter (%db)</td><td>77.1</td><td>69.9</td><td>74.8</td><td>75.4</td><td>91.5</td><td>97.8</td><td>81.7</td><td>80.8</td><td>72.3</td></tr><tr><td>Fixed carbon (%db)</td><td>16.9</td><td>21.8</td><td>15.5</td><td>12.4</td><td>4.6</td><td>0.9</td><td>16.9</td><td>18.2</td><td>7.3</td></tr><tr><td>Ash (%db)</td><td>6.1</td><td>8.3</td><td>9.7</td><td>12.2</td><td>3.9</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.0</td><td>20.4</td></tr><tr><td rowspan="7">Ultimate</td><td>C (%db)</td><td>48.4</td><td>47.7</td><td>42.9</td><td>41.2</td><td>72.8</td><td>83.8</td><td>51.8</td><td>49.6</td><td>56.1</td></tr><tr><td>H (%db)</td><td>6.7</td><td>5.7</td><td>5.4</td><td>5.2</td><td>9.4</td><td>9.5</td><td>6.1</td><td>6.1</td><td>7.0</td></tr><tr><td>N (%db)</td><td>2.94</td><td>1.24</td><td>0.13</td><td>0.19</td><td>0.34</td><td>3.31</td><td>1.74</td><td>0.17</td><td>1.3</td></tr><tr><td>O (%db)</td><td>34.80</td><td>36.26</td><td>41.76</td><td>41.04</td><td>11.53</td><td>0.96</td><td>38.71</td><td>43.04</td><td>13.95</td></tr><tr><td>S (%db)</td><td>0.2</td><td>0.21</td><td>0.03</td><td>0.08</td><td>0.03</td><td>0.03</td><td>0.2</td><td>0.02</td><td>0.66</td></tr><tr><td>Cl (%db)</td><td>0.86</td><td>0.59</td><td>0.08</td><td>0.09</td><td>2.0</td><td>1.1</td><td>0.05</td><td>0.07</td><td>0.59</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">Energy content (MJ/kg)</td><td>HHV_{db}</td><td>20.3</td><td>18.7</td><td>16.3</td><td>15.5</td><td>25.9</td><td>40.6</td><td>20.9</td><td>19.5</td><td>25.6</td></tr><tr><td>HHV_{wb}</td><td>6.0</td><td>7.5</td><td>13.1</td><td>11.6</td><td>19.3</td><td>39.7</td><td>16.7</td><td>17.2</td><td>18.4</td></tr><tr><td>LHV_{db}</td><td>18.8</td><td>17.5</td><td>15.1</td><td>14.4</td><td>23.9</td><td>38.6</td><td>19.6</td><td>18.2</td><td>24.1</td></tr><tr><td>LHV_{wb}</td><td>3.8</td><td>5.5</td><td>11.6</td><td>10.2</td><td>17.1</td><td>37.7</td><td>15.2</td><td>15.7</td><td>16.6</td></tr></table>	Analysis	Parameters	01-FW	02-GdnW	03-Pnt Ppr	04-Pkg Ppr	05-Pkg Plst	06-O Plst	07-Tex	08-WW	09-OC	Proximate	Total moisture (%wb)	70.6	59.9	19.8	25.0	25.6	2.2	20.1	11.9	28.2	Volatile matter (%db)	77.1	69.9	74.8	75.4	91.5	97.8	81.7	80.8	72.3	Fixed carbon (%db)	16.9	21.8	15.5	12.4	4.6	0.9	16.9	18.2	7.3	Ash (%db)	6.1	8.3	9.7	12.2	3.9	1.3	1.4	1.0	20.4	Ultimate	C (%db)	48.4	47.7	42.9	41.2	72.8	83.8	51.8	49.6	56.1	H (%db)	6.7	5.7	5.4	5.2	9.4	9.5	6.1	6.1	7.0	N (%db)	2.94	1.24	0.13	0.19	0.34	3.31	1.74	0.17	1.3	O (%db)	34.80	36.26	41.76	41.04	11.53	0.96	38.71	43.04	13.95	S (%db)	0.2	0.21	0.03	0.08	0.03	0.03	0.2	0.02	0.66	Cl (%db)	0.86	0.59	0.08	0.09	2.0	1.1	0.05	0.07	0.59											Energy content (MJ/kg)	HHV _{db}	20.3	18.7	16.3	15.5	25.9	40.6	20.9	19.5	25.6	HHV _{wb}	6.0	7.5	13.1	11.6	19.3	39.7	16.7	17.2	18.4	LHV _{db}	18.8	17.5	15.1	14.4	23.9	38.6	19.6	18.2	24.1	LHV _{wb}	3.8	5.5	11.6	10.2	17.1	37.7	15.2	15.7	16.6
Analysis	Parameters	01-FW	02-GdnW	03-Pnt Ppr	04-Pkg Ppr	05-Pkg Plst	06-O Plst	07-Tex	08-WW	09-OC																																																																																																																																																											
Proximate	Total moisture (%wb)	70.6	59.9	19.8	25.0	25.6	2.2	20.1	11.9	28.2																																																																																																																																																											
	Volatile matter (%db)	77.1	69.9	74.8	75.4	91.5	97.8	81.7	80.8	72.3																																																																																																																																																											
	Fixed carbon (%db)	16.9	21.8	15.5	12.4	4.6	0.9	16.9	18.2	7.3																																																																																																																																																											
	Ash (%db)	6.1	8.3	9.7	12.2	3.9	1.3	1.4	1.0	20.4																																																																																																																																																											
Ultimate	C (%db)	48.4	47.7	42.9	41.2	72.8	83.8	51.8	49.6	56.1																																																																																																																																																											
	H (%db)	6.7	5.7	5.4	5.2	9.4	9.5	6.1	6.1	7.0																																																																																																																																																											
	N (%db)	2.94	1.24	0.13	0.19	0.34	3.31	1.74	0.17	1.3																																																																																																																																																											
	O (%db)	34.80	36.26	41.76	41.04	11.53	0.96	38.71	43.04	13.95																																																																																																																																																											
	S (%db)	0.2	0.21	0.03	0.08	0.03	0.03	0.2	0.02	0.66																																																																																																																																																											
	Cl (%db)	0.86	0.59	0.08	0.09	2.0	1.1	0.05	0.07	0.59																																																																																																																																																											
Energy content (MJ/kg)	HHV _{db}	20.3	18.7	16.3	15.5	25.9	40.6	20.9	19.5	25.6																																																																																																																																																											
	HHV _{wb}	6.0	7.5	13.1	11.6	19.3	39.7	16.7	17.2	18.4																																																																																																																																																											
	LHV _{db}	18.8	17.5	15.1	14.4	23.9	38.6	19.6	18.2	24.1																																																																																																																																																											
	LHV _{wb}	3.8	5.5	11.6	10.2	17.1	37.7	15.2	15.7	16.6																																																																																																																																																											
Remarque/pertinence pour la présente étude	Pour la construction du bilan matière et du compostage, il est nécessaire de connaître la composition des déchets verts ajoutés aux déchets ménagers. Ces données sont suffisamment robustes pour une utilisation dans ce cadre. Ces données ont été utilisées à des fins de comparaison à la composition des déchets verts présentée dans l'étude APESA (ADEME, 2015) et qui a été utilisée dans la présente étude.																																																																																																																																																																				

Titre	Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment																																																																																																									
Réf.	Waste Management and Research, 2008, 26, 47-60																																																																																																									
Auteurs	F. A. Amlinger, S. Peyr																																																																																																									
Représentativité géographique	Europe																																																																																																									
Objectif de l'étude	Quantification des émissions de GES à partir du compostage, étude du compostage domestique, compostage en andains et traitement mécanique biologique entre autres.																																																																																																									
Etapes de du cycle de vie considérées	-																																																																																																									
Méthodologie	Construction d'un compost instrumentalisé de manière à suivre et analyser les émissions gazeuses.																																																																																																									
Données brutes utilisées dans la présente étude	<div>Table 3: Emission factors of GHG and ammoniac per Mg fresh matter input material; own investigations and data from literature.</div> <table><thead><tr><th></th><th>CO₂ (kg Mg⁻¹ FM)</th><th>CH₄ (g Mg⁻¹ FM)</th><th>NH₃</th><th>N₂O</th><th>CO₂-equ (kg Mg⁻¹ FM)</th><th>Experimental rotting time</th></tr></thead><tbody><tr><td>Windrow BW-1: own trials</td><td>43</td><td>293</td><td>52</td><td>27</td><td>14.4</td><td>9 weeks</td></tr><tr><td>Windrow BW-2: own trials</td><td>115</td><td>243</td><td>576</td><td>116</td><td>41.2</td><td>12/21 weeks</td></tr><tr><td>Windrow GW-1: own trials</td><td>118</td><td>49</td><td>25</td><td>25</td><td>8.6</td><td>4 weeks</td></tr><tr><td>Windrow GW-2: own trials</td><td>194</td><td>604</td><td>354</td><td>178</td><td>67.9</td><td>21 weeks</td></tr><tr><td>Windrow SS-1: own trials</td><td>10</td><td>37</td><td>25</td><td>266</td><td>83.3</td><td>4 weeks</td></tr><tr><td>Windrow SS-2: own trials</td><td>25</td><td>45</td><td>19</td><td>165</td><td>52.0</td><td>7 weeks</td></tr><tr><td>Manure composting : Amon <i>et al.</i> (1998)</td><td>–</td><td>142</td><td>643</td><td>34</td><td>13.8</td><td>11 weeks summer, dry</td></tr><tr><td></td><td>–</td><td>692</td><td>303</td><td>47</td><td>36.4</td><td>11 weeks, spring (cooler, humid)</td></tr><tr><td>Stocked manure: Amon <i>et al.</i> (1998)</td><td>–</td><td>1354</td><td>163</td><td>52</td><td>60.9</td><td>11 weeks, summer</td></tr><tr><td></td><td>–</td><td>512</td><td>46</td><td>80</td><td>38.6</td><td>11 weeks, spring (cooler, humid)</td></tr><tr><td>Backyard/BYC-1: own trials</td><td>215</td><td>2185</td><td>972</td><td>454</td><td>186.7</td><td>12 weeks mat. input</td></tr><tr><td>Backyard/BYC-2: own trials</td><td>139</td><td>788</td><td>474</td><td>192</td><td>76.1</td><td>51 weeks mat. input</td></tr><tr><td>Biowaste aerated table heap, in hall; raw gas (Gronauer et al., 1997)</td><td>173</td><td>1840</td><td>670</td><td>120</td><td>75.6</td><td>54 measurements, height: 1.8 m</td></tr><tr><td>Biowaste windrows (Hellmann, 1995)</td><td>150–230</td><td>880–1400</td><td>–</td><td>150–180</td><td>65.0–85.2</td><td>min.-max. values:</td></tr></tbody></table> <p>Utilisation des données brutes d'émissions de CO₂, CH₄, NH₃, N₂O, CO₂ :</p>		CO ₂ (kg Mg ⁻¹ FM)	CH ₄ (g Mg ⁻¹ FM)	NH ₃	N ₂ O	CO ₂ -equ (kg Mg ⁻¹ FM)	Experimental rotting time	Windrow BW-1: own trials	43	293	52	27	14.4	9 weeks	Windrow BW-2: own trials	115	243	576	116	41.2	12/21 weeks	Windrow GW-1: own trials	118	49	25	25	8.6	4 weeks	Windrow GW-2: own trials	194	604	354	178	67.9	21 weeks	Windrow SS-1: own trials	10	37	25	266	83.3	4 weeks	Windrow SS-2: own trials	25	45	19	165	52.0	7 weeks	Manure composting : Amon <i>et al.</i> (1998)	–	142	643	34	13.8	11 weeks summer, dry		–	692	303	47	36.4	11 weeks, spring (cooler, humid)	Stocked manure: Amon <i>et al.</i> (1998)	–	1354	163	52	60.9	11 weeks, summer		–	512	46	80	38.6	11 weeks, spring (cooler, humid)	Backyard/BYC-1: own trials	215	2185	972	454	186.7	12 weeks mat. input	Backyard/BYC-2: own trials	139	788	474	192	76.1	51 weeks mat. input	Biowaste aerated table heap, in hall; raw gas (Gronauer et al., 1997)	173	1840	670	120	75.6	54 measurements, height: 1.8 m	Biowaste windrows (Hellmann, 1995)	150–230	880–1400	–	150–180	65.0–85.2	min.-max. values:
	CO ₂ (kg Mg ⁻¹ FM)	CH ₄ (g Mg ⁻¹ FM)	NH ₃	N ₂ O	CO ₂ -equ (kg Mg ⁻¹ FM)	Experimental rotting time																																																																																																				
Windrow BW-1: own trials	43	293	52	27	14.4	9 weeks																																																																																																				
Windrow BW-2: own trials	115	243	576	116	41.2	12/21 weeks																																																																																																				
Windrow GW-1: own trials	118	49	25	25	8.6	4 weeks																																																																																																				
Windrow GW-2: own trials	194	604	354	178	67.9	21 weeks																																																																																																				
Windrow SS-1: own trials	10	37	25	266	83.3	4 weeks																																																																																																				
Windrow SS-2: own trials	25	45	19	165	52.0	7 weeks																																																																																																				
Manure composting : Amon <i>et al.</i> (1998)	–	142	643	34	13.8	11 weeks summer, dry																																																																																																				
	–	692	303	47	36.4	11 weeks, spring (cooler, humid)																																																																																																				
Stocked manure: Amon <i>et al.</i> (1998)	–	1354	163	52	60.9	11 weeks, summer																																																																																																				
	–	512	46	80	38.6	11 weeks, spring (cooler, humid)																																																																																																				
Backyard/BYC-1: own trials	215	2185	972	454	186.7	12 weeks mat. input																																																																																																				
Backyard/BYC-2: own trials	139	788	474	192	76.1	51 weeks mat. input																																																																																																				
Biowaste aerated table heap, in hall; raw gas (Gronauer et al., 1997)	173	1840	670	120	75.6	54 measurements, height: 1.8 m																																																																																																				
Biowaste windrows (Hellmann, 1995)	150–230	880–1400	–	150–180	65.0–85.2	min.-max. values:																																																																																																				
Remarque/pertinence pour la présente étude	Les données sont pertinentes puisque concernent le compostage domestique. Elles ont été utilisées à titre de comparaison à la composition des déchets verts présentée dans l'étude APESA (ADEME, 2015) et qui a été utilisée dans la présente étude.																																																																																																									

Titre	Gas emissions as influenced by home composting system configuration
Réf.	Journal of Environmental Management, 2013, 116, 163-171
Auteurs	B. K. Adhikari, A. Trémier, S. Barrington, J. Martinez, M. Daumoin
Représentativité géographique	France/Europe
Objectif de l'étude	Détermination de la configuration de compost à l'origine des émissions en CH ₄ et N ₂ O les plus faibles.
Etapes de du cycle de vie considérées	-
Méthodologie	Le même mélange de déchets est traité dans des composteurs de configuration différente et les émissions sont analysées et quantifiées pendant 150 jours.

Données brutes utilisées dans la présente étude	Les données de l'étude ADEME	Table 2 Greenhouse gas emission for the four home composting systems.							utilisées pour les
		Gas/time interval	Composters (kg (ton wet waste treated) ⁻¹)						
Table 1 Initial characteristics of organic waste loaded into the 4 home composting systems (HC) and their evolutions during the 150 days of composting.									
Composter	Day	Wet mass (kg)	DM (%)	OM (%dm)	TC (%dm)	TN (g (kg dm) ⁻¹)	C/N ratio	pH	
WB	0	72.2	24.1 (1.2)	75.3 (0.2)	39.2 (0.7)	22.9 (0.2)	17.1	6.1 (0.2)	
	15	49.3	23.0 (0.8)	63.0 (0.1)	32.7 (0.2)	27.0 (0.2)	12.1	8.8 (0.1)	
	30	37.6	27.0 (2.3)	58.7 (0.2)	30.4 (0.6)	26.3 (0.2)	11.5	8.1 (0.2)	
	45	33.3	30.0 (0.7)	58.1 (0.1)	29.9 (0.2)	25.8 (0.2)	11.6	8.2 (0.0)	
	60	27.6	33.0 (1.3)	54.2 (0.1)	29.2 (0.1)	24.9 (0.4)	11.7	8.6 (0.3)	
	90	17.6	50.4 (0.6)	53.2 (0.3)	28.2 (0.2)	25.2 (0.2)	11.2	8.1 (0.4)	
	120	13.2	65.9 (0.7)	52.6 (0.2)	27.6 (0.2)	26.4 (0.2)	10.5	7.8 (0.1)	
	150	9.2	81.0 (0.8)	50.4 (0.3)	26.6 (0.3)	24.6 (0.1)	10.8	7.5 (0.1)	
PB	0	75.5	24.1 (1.2)	75.2 (0.2)	39.2 (0.7)	22.9 (0.2)	17.1	6.1 (0.2)	
	15	50.9	22.0 (3.0)	60.5 (0.3)	31.2 (0.5)	26.6 (0.5)	11.7	8.4 (0.1)	
	30	44.1	24.0 (3.9)	58.4 (0.2)	30.4 (0.1)	26.2 (0.2)	11.6	8.4 (0.2)	
	45	38.7	26.0 (0.1)	56.2 (0.1)	29.5 (0.3)	25.0 (0.2)	11.8	8.2 (0.0)	
	60	34.6	27.0 (1.0)	52.9 (0.2)	28.7 (0.9)	23.3 (0.1)	12.3	8.8 (0.3)	
	90	24.2	34.5 (0.7)	47.0 (0.2)	25.5 (0.1)	21.3 (1.8)	12.0	8.7 (0.4)	
	120	16.3	50.9 (2.4)	47.4 (0.3)	25.3 (0.2)	21.4 (0.3)	11.8	8.4 (0.1)	
	150	12.0	65.9 (0.7)	52.6 (0.2)	27.6 (0.2)	26.4 (0.2)	10.5	7.8 (0.1)	
caractéristiques déchets pour composteur (dessous) :	120–150 days		0.002		0.001		0.002		
	Total N ₂ O (kg (ton wet waste treated) ⁻¹)		0.333		0.187		0.327		
	Total N ₂ O (kg CO ₂ -eq (ton wet waste treated) ⁻¹)		99		56		97		
WB – wood bin; PB – plastic bin; GPM – mixed ground pile; GP – unmixed ground pile; CO ₂ – carbon dioxide; CH ₄ – methane; N ₂ O – nitrous oxide; nd – not detected. The greenhouse gas emission impact of CH ₄ and N ₂ O are considered to be 25 and 298 times higher than CO ₂ (IPCC, 2007).									
De même, les quantités de CO ₂ , CH ₄ et N ₂ O émises lors de la phase de compostage ont également été utilisées :									
Remarque/pertinence pour la présente étude	Le cadre de cette publication correspond tout à fait au cadre de l'étude ADEME, à savoir le compostage individuel de déchets de table. Ainsi, même si les données sont issues d'expérimentations à échelle réduite (presque laboratoire), elles permettent de mettre en perspectives d'autres données pour la construction du bilan matière. Elles ont notamment été utilisées pour l'estimation des émissions de N ₂ O puisque l'étude APESA (ADEME 2015) n'est pas assez robuste sur ce point.								



Titre	Emission of Nitrous Oxide and other Traces Gases during Composting of Grass and Green Waste																								
Réf.	Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 69, 365-375																								
Auteurs	H. H. Hellebrand																								
Représentativité géographique	Allemagne/Europe																								
Objectif de l'étude	Quantification des émissions de gaz durant la phase de compostage d'herbe et de déchets verts																								
Etapes de du cycle de vie considérées	Phase de compostage uniquement																								
Méthodologie	Construction de composts équipés de tubes de récupération des gaz pour analyse																								
Données brutes utilisées dans la présente étude	<p>Les données utilisées sont les quantités de N₂O, NH₃, CO₂, CH₄ et CO émises pendant la phase de compostage :</p> <table><tr><th colspan="3">Table 1 Emissions during composting of green waste from land maintenance</th></tr><tr><th></th><th colspan="2">Percentage, %</th></tr><tr><th>Component</th><th>Emission, kg (related to initial element mass)</th><th></th></tr><tr><td>N₂O-N</td><td>0.8</td><td>0.5</td></tr><tr><td>NH₃-N</td><td>1.9</td><td>1.2</td></tr><tr><td>CO₂-C</td><td>3500</td><td>81</td></tr><tr><td>CH₄-C</td><td>75</td><td>1.7</td></tr><tr><td>CO-C</td><td>1.7</td><td>0.04</td></tr></table> <p>The initial mass of the compost heap was 14 800 kg with a carbon content of 4300 kg and a nitrogen content of 158 kg.</p>	Table 1 Emissions during composting of green waste from land maintenance				Percentage, %		Component	Emission, kg (related to initial element mass)		N ₂ O-N	0.8	0.5	NH ₃ -N	1.9	1.2	CO ₂ -C	3500	81	CH ₄ -C	75	1.7	CO-C	1.7	0.04
Table 1 Emissions during composting of green waste from land maintenance																									
	Percentage, %																								
Component	Emission, kg (related to initial element mass)																								
N ₂ O-N	0.8	0.5																							
NH ₃ -N	1.9	1.2																							
CO ₂ -C	3500	81																							
CH ₄ -C	75	1.7																							
CO-C	1.7	0.04																							
Remarque/pertinence pour la présente étude	Cette publication datant de 1998, les données n'ont pas été utilisées pour la réalisation des calculs dans la présente étude. En revanche les données ont été utilisées à titre de comparaison des données APESA (ADEME, 2015)																								

Titre	Résumé de l'étude sur l'évaluation des impacts GES de l'injection du biométhane dans les réseaux de gaz naturel
Réf.	GRDF, 2015
Auteurs	Quantis, Enea Consulting
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Quantification des émissions de GES induites et évitées par le développement de l'injection de biométhane en France, au travers de 6 filières de production.
Etapes de du cycle de vie considérées	Collecte / Transport / Méthanisation / Epuration / Injection / Valorisation du digestat
Méthodologie	L'étude est réalisée à partir de données collectées auprès d'experts, dans la littérature, issues de la Base Carbone, de la base de données d'inventaire Ecoinvent, de la base de données interne Quantis et de la base de données interne d'ENEA Consulting

Données brutes utilisées dans la présente étude	Les données brutes utilisées concernent les émissions dans l'air lors du compostage de FFOM, la valeur agronomique du compost ainsi que les émissions dans l'air lors de l'épandage du compost :				
	Emissions dans l'air lors du compostage FFOM	H ₂ O	332	kg/tFFOM	
		CO ₂	0,9	kg/tFFOM	JRC, 2014
		NH ₃	159	g/tFFOM	ADEME/CEMAG 2005
		CH ₄	2400	g/tFFOM	ADEME/CEMAG 2005
		N ₂ O	13,6	g/tFFOM	ADEME/CEMAG 2005
	Valeur agro du compost	N total	1,1	%MB	
		P ₂ O ₅	0,49	%MB	
		K ₂ O	0,65	%MB	
	Emissions lors de l'épandage du compost	N ₂ O	65	g/tMS	
		CH ₄	11	g/tMS	
		NH ₃	0,4	kg N-NH3/tMS	
Remarque/pertinence pour la présente étude	<p>Ces données sont utilisées dans la présente étude à titre de comparaison, dans le but de valider les valeurs APESA (ADEME, 2015) retenues. De plus, de ce rapport sont issues les données permettant le dimensionnement et l'estimation des consommations liées au biofiltre pour l'installation de compostage industriel.</p> <p>Pour la filière méthanisation, cette étude a notamment permis de confronter les hypothèses sur les taux de fuite de biogaz et d'utilisation de la torchère à ceux retenus dans le cadre de la présente étude.</p>				

Titre	Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques du compostage
Réf.	ADEME, 2012
Auteurs	IRSTEA, INERIS, VERI, INRA, CSTB
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	(1) Généralités sur le compostage et les émissions atmosphériques, point sur les connaissances des impacts environnementaux et sur les impacts sanitaires. (2) Quantification des émissions (description des méthodes d'échantillonnage et d'analyse)
Etapes de du cycle de vie considérées	Phase de compostage uniquement
Méthodologie	Veille bibliographique

Données brutes utilisées dans la présente étude	<p>Présentation des différentes échelles de compostage avec procédés associés (p.14 à 19)</p> <p>Synthèse des intervalles d'émissions lors du compostage de biodéchets (NH₃,N₂O,CH₄,CO₂,S), notamment tableau annexe 4 p.235 :</p> <table><tr><td></td><td>Intervalle émission (gNH₃ /tMS₀)</td><td>Intervalle émission (gN₂O /tMS₀)</td><td>Intervalle émission (gCH₄ /tMS₀)</td><td>Intervalle émission (gCO₂/tMS₀)</td><td>Intervalle d'émission (gS/tMS₀)</td></tr><tr><td>Biodéchets</td><td>300 – 50 000 Très grande variabilité, la plupart des valeurs sont inférieures à 15 000</td><td>7 – 400 Peu de données disponibles. La plupart des données compilées ne prennent pas en compte la maturation.</td><td>0 – 3 700 Peu de données disponibles. La plupart des données compilées ne prennent pas en compte la maturation.</td><td>900 – 1 800 Peu de données disponibles</td><td>H₂S : 50 SCOV : 50 - 409 Peu de données disponibles</td></tr></table>		Intervalle émission (gNH ₃ /tMS ₀)	Intervalle émission (gN ₂ O /tMS ₀)	Intervalle émission (gCH ₄ /tMS ₀)	Intervalle émission (gCO ₂ /tMS ₀)	Intervalle d'émission (gS/tMS ₀)	Biodéchets	300 – 50 000 Très grande variabilité, la plupart des valeurs sont inférieures à 15 000	7 – 400 Peu de données disponibles. La plupart des données compilées ne prennent pas en compte la maturation.	0 – 3 700 Peu de données disponibles. La plupart des données compilées ne prennent pas en compte la maturation.	900 – 1 800 Peu de données disponibles	H ₂ S : 50 SCOV : 50 - 409 Peu de données disponibles
	Intervalle émission (gNH ₃ /tMS ₀)	Intervalle émission (gN ₂ O /tMS ₀)	Intervalle émission (gCH ₄ /tMS ₀)	Intervalle émission (gCO ₂ /tMS ₀)	Intervalle d'émission (gS/tMS ₀)								
Biodéchets	300 – 50 000 Très grande variabilité, la plupart des valeurs sont inférieures à 15 000	7 – 400 Peu de données disponibles. La plupart des données compilées ne prennent pas en compte la maturation.	0 – 3 700 Peu de données disponibles. La plupart des données compilées ne prennent pas en compte la maturation.	900 – 1 800 Peu de données disponibles	H ₂ S : 50 SCOV : 50 - 409 Peu de données disponibles								
Remarque/pertinence pour la présente étude	<p>Fourchettes de valeurs très larges permettant une comparaison avec les données utilisées.</p> <p>Explication des facteurs déterminants les variations d'émissions et informations relatives à la quantification des impacts potentiels : durée du compostage, température, pH...</p>												

Titre	Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, bilan des connaissances
Réf.	ADEME, 2005
Auteurs	CEMAGREF, INRA, ENSIACET, CReeD, Anjou Recherche, Ecobilan, Orval, ADEME
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Synthèse des connaissances disponibles ou manquantes pour l'appréciation des impacts environnementaux et sanitaires potentiels attribuables aux différentes filières de gestion biologique : déjections animales, biodéchets ménagers, boues de STEP et résidus agro-industriels
Etapes de du cycle de vie considérées	Compostage et épandage
Méthodologie	Veille bibliographique
Données brutes utilisées dans la présente étude	aucune
Remarque/pertinence pour la présente étude	Cette étude étant un peu ancienne, elle a été consultée pour effectuer des comparaisons et valider les autres références retenues.

Titre	Impact sanitaire et environnemental du compostage domestique
Réf.	ADEME, 2015
Auteurs	APESA, OLENTICA, Bio Intelligence Service
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Analyse de Cycle de Vie et Etude Quantitative des Risques Sanitaires du compostage
Etapes de du cycle de vie considérées	Processus de compostage et valorisation du compost en amendement organique ou support de culture

Méthodologie	Bilan actualisé des connaissances sur les émissions liées au compostage domestique ; Mise en place d'un plan d'expérience sur sites de compostage collectifs et suivi de ces installations ;
Données brutes utilisées dans la présente étude	Synthèse bibliographique des données d'émission existantes sur le compostage domestique Valeurs d'émissions en COV, CH ₄ , N ₂ O et NH ₃ ainsi qu'en équivalent CO ₂ lors du compostage selon différentes modalités utilisées pour le compostage domestique et partagé Caractérisation des intrants et du compost et suivi des émissions pour 8 modalités de compostage différentes.
Remarque/pertinence pour la présente étude	Etude récente comprenant un état de l'art sur les impacts sanitaires et environnementaux du compostage très pertinente pour le compostage domestique et partagé et des données expérimentales permettant d'appréhender les facteurs qui peuvent faire varier les émissions lors du compostage. De cette étude a été repris : <ul style="list-style-type: none"> - La composition des déchets pour la modalité 8 (déchets ménagers avec viande et poisson) - La composition des déchets verts pour la modalité 2 (déchets verts) - Les facteurs d'émission et la composition du compost différenciés pour la modalité 1 (déchets ménagers hors viande et poisson) brassée régulièrement et jamais brassée

Titre	Audit des plateformes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts
Réf.	ADEME, 2007
Auteurs	ADEME
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Recensement et caractérisation du parc des unités existantes et audit d'une centaine d'unité en fonctionnement.
Etapes de du cycle de vie considérées	-
Méthodologie	Inventaire des installations ; élaboration d'une typologie ; audit de 100 installations ; analyse laboratoire des échantillons de composte et d'effluents des installations auditées ; analyse des informations collectées
Données brutes utilisées dans la présente étude	Elaboration du scénario compostage industriel sur la base des sites existants : quantités traitées, proportion de déchets verts et de biodéchets, durée de compostage, consommations énergétiques ...
Remarque/pertinence pour la présente étude	Caractéristiques des sites de compostage des biodéchets susceptible d'avoir évolué depuis 2007 mais référence pertinente car contenant des données détaillées sur le fonctionnement des installations de compostage industriel

Titre	Etat de l'art du compostage domestique – Projet Eccoval
Réf.	Cemagref, 2009
Auteurs	Cemagref, UHB CRPCC-LAUREPS
Représentativité géographique	Monde
Objectif de l'étude	Etat de l'art sur l'ensemble des connaissances sur la mise en place du compostage individuel ou de proximité, dans le but de juger de la pratique, des impacts et des raisons (environnementales, économiques et sociales) de la mise en place de ce type de procédé par une collectivité.
Etapes de du cycle de vie considérées	-
Méthodologie	Recherche au niveau régional (données internes Cemagref), national (données ADEME) et international (veille bibliographique large)
Données brutes utilisées dans la présente étude	Aucune
Remarque/pertinence pour la présente étude	Données utilisées à titre de comparaison avec les données retenues

Titre	TRACKYLEAKS – Développement d'une méthode d'identification et de quantification des émissions fugitives de biogaz – Application aux installations de méthanisation
Réf.	ADEME, 2018
Auteurs	IRSTEA
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Travail de recherche en connaissances nouvelles sur l'identification et la quantification des fuites de biogaz sur les sites de méthanisation.
Etapes de du cycle de vie considérées	-
Méthodologie	Travaux expérimentaux, analyse du flux optique à partir d'imagerie vidéo infrarouge
Données brutes utilisées dans la présente étude	Valeurs d'émissions dans l'air étapes de stockage lisiers, digestion et valorisation par cogénération (dont taux de fuite CH ₄) et valeur d'émissions CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O et NH ₃ lors du stockage

Tableau 6: Synthèse des données utilisées dans l'inventaire de cycle de vie

UF	Idéal Normal Problématique Extrême					Source		
Traitement de 9092 tonnes d'un mélange de substrats pendant un an	Stockage du lisier	Emissions dans l'air				CH ₄ - 19,4% Ctotal CO ₂ -53,3% Ctotal N ₂ O - 0,032% Ntotal NH ₃ - 4,3% Ntotal Dire d'expert ; Pellerin et al. (2013) ; Gac et al. (2007)		
	Digestion	Taux de fuites de biogaz		0,3%	5%	18%	22,16%	Auvinet et al. (2017)
		Biogaz produit		5,20E+05 m ³				Fabbri <i>et al.</i> , (2014) ; Levasseur <i>et al.</i> , (2011) ; Poeschl <i>et al.</i> (2012) ; Peu <i>et al.</i> (2012) ; Raposo <i>et al.</i> (2012)
		Energie demandé		94 960 kWh				Exploitant
	Valorisation biogaz	Torchère	Facteurs d'émission	CH ₄ - 8,2 g/m ³ SOx - 0,0005 g/m ³ NOx - 0,0002 g/m ³ CO - 21,5 g/m ³ CO ₂ - 1626,5 g/m ³				ADEME (2007) ; Swiss Centre for Life Cycle Inventories (2014)
				CH ₄ - 0,07% H ₂ S - 0,00105% CONVM - 0,01% CO - 0,0007% CO ₂ - 10,37%				INERIS (2012)
		Cogénération	Facteurs d'émission (% en volume du gaz de sortie)	Energie généré				9,73E+05 kWh
	Valorisation du digestat	Stockage digestat	Facteurs d'émission	CH ₄ - 5,6% Ctotal CO ₂ - 5,6% Ctotal N ₂ O - 0,032% Ntotal NH ₃ - 0,32% Ntotal				Collet (2011); Pellerin et al. (2013)
				CO ₂ - 92% Ctotal N ₂ O - 1,6% Ntotal NH ₃ - 19,2% Ntotal				INRA (Carbo-Pro) ; Collet (2011)
		Epanchage du digestat	Emissions dans l'air	P ₂ O ₅ - 5% Ptotal NO ₃ - 12% Ntotal				Peyraud <i>et al.</i> (2011) ; Solagro et Irstea (2012)
				Emissions dans le sol	Cu - 0,016% MS Co - 0,00016% MS Ni - 0,00098% MS Zi - 0,0735% MS			
			Surface d'épandage		137,41 ha			

Revue biblio des ACV méthanisation : "dans la moitié des études ACV, les fuites ne sont pas prises en compte ou les taux utilisés ne sont pas explicités"

Remarque/pertinence pour la présente étude

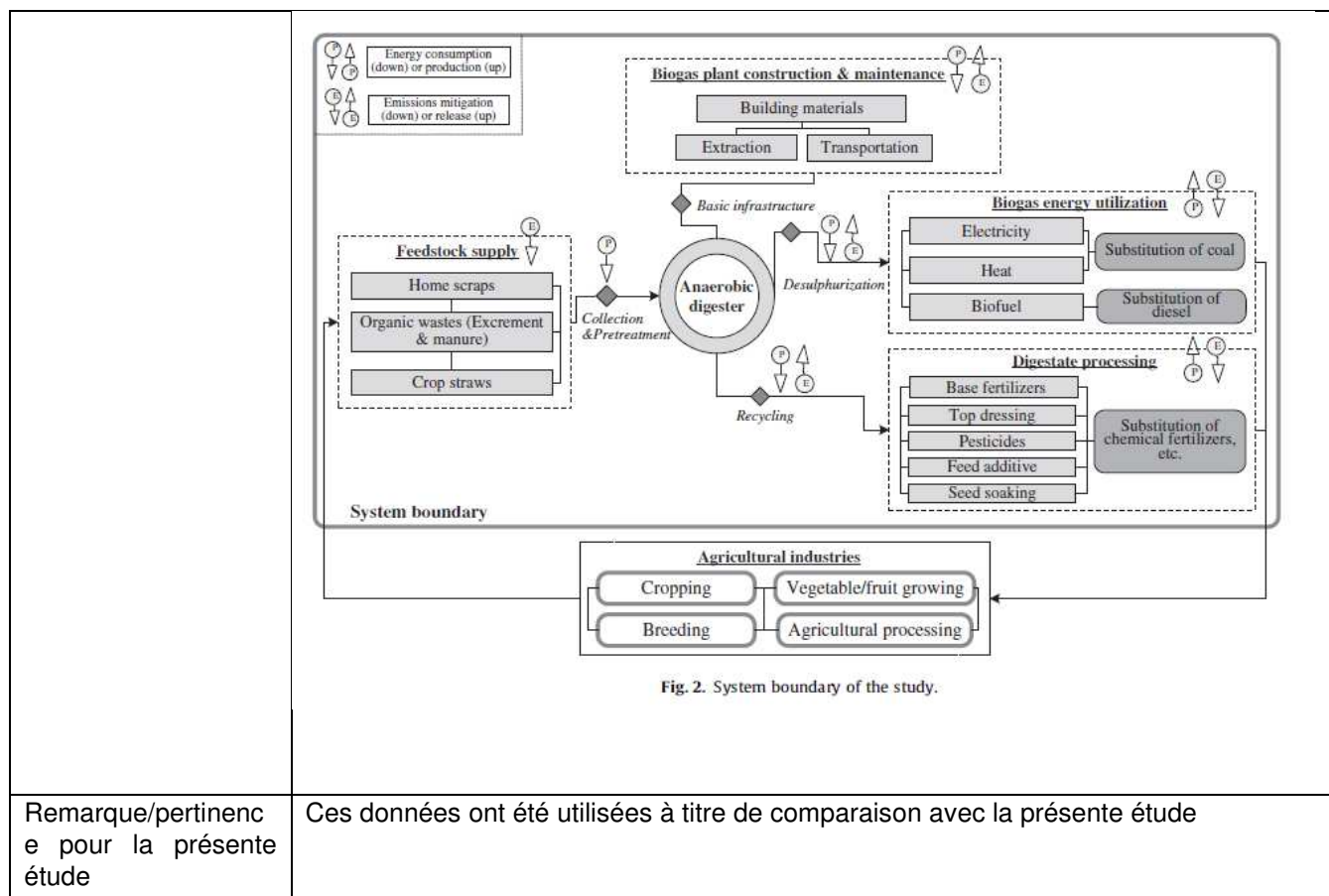
Ce document présente l'intérêt de quantifier les émissions de biogaz qui ne sont pas répertoriées dans la base Ecoinvent et mal documentées pour la France. Les fuites résiduelles mesurées sont faibles (de l'ordre de 0,3%), et les fuites totales, incluant la soupape, évaluées à 5% en fonctionnement normal, valeur retenue pour la présente étude. La valeur maximale a été mesurée à 22% de taux de fuite, ce qui a conduit à fixer la valeur haute lors de l'analyse de sensibilité.

Les valeurs d'émissions utilisées pour chaque étape du procédé ont été reprises dans la présente étude.

Titre	Etat des lieux des connaissances des émissions de CH₄ et de N₂O des installations de méthanisation : émissions sur l'ensemble de l'installation et aux différentes étapes de production et de valorisation du digestat et du biogaz et techniques de mesurage et surveillance du méthane
Réf.	INERIS, 2015
Auteurs	INERIS
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Evaluer les connaissances vis-à-vis des émissions de méthane et N ₂ O des installations de méthanisation, identifier les niveaux d'émissions et leur impact environnemental
Etapes de du cycle de vie considérées	Méthanisation
Méthodologie	Veille bibliographique

Données brutes utilisées dans la présente étude	Données sur les fuites de biogaz
Remarque/pertinence pour la présente étude	Etude consultée pour valider les données retenues par ailleurs

Titre	Life-cycle energy production and emissions mitigation by comprehensive biogas–digestate utilization																																																																																																																																																																	
Réf.	Bioresource Technology – 2012																																																																																																																																																																	
Auteurs	Shaoqing Chen, Bin Chen, Dan Song																																																																																																																																																																	
Représentativité géographique	Chine																																																																																																																																																																	
Objectif de l'étude	Evaluer par analyse de cycle de vie les impacts d'une unité de méthanisation dans son ensemble, suivant la décomposition suivante : -Construction de l'unité de méthanisation -Maintenance de l'unité de méthanisation -Approvisionnement des matières premières -Utilisation du biogaz -Digestat -Unité de méthanisation dans sa globalité																																																																																																																																																																	
Etapas de du cycle de vie considérées	Ensemble du cycle de vie de l'unité de méthanisation																																																																																																																																																																	
Méthodologie	Veille bibliographique																																																																																																																																																																	
Données brutes utilisées dans la présente étude	<div>Table 2</div> <div>Improvement in energy and environmental performance at different stages in SIOBS.</div> <table><tr><th>Stage</th><th>GWP CO₂-eq/ (10⁻⁴ kg)</th><th>AP SO₂-eq/ (10⁻⁴ kg)</th><th>EP PO₄-eq/ (10⁻⁴ kg)</th><th>POCP C₂H₄-eq/ (10⁻⁴ kg)</th><th>HTP 1,4-DCB-eq/ (10⁻⁴ kg)</th><th>ADP Sb-eq/ (10⁻⁴ kg)</th><th>ODP CFC-11-eq (10⁻⁴ kg)</th><th>NEG /(MJ)</th></tr><tr><td>Biogas plant construction</td><td>-70.472 (-2.32%)^a</td><td>-0.263 (-1.06%)</td><td>-0.018 (-0.24%)</td><td>-0.039 (-0.15%)</td><td>-0.076 (-1.06%)</td><td>-0.223 (-3.33%)</td><td>-3.50E-07 (-0.24%)</td><td>-0.052 (-5.84%)</td></tr><tr><td>Biogas plant maintenance</td><td>-47.300 (-1.56%)</td><td>-0.058 (-0.24%)</td><td>-0.008 (-0.12%)</td><td>-0.012 (-0.05%)</td><td>-0.013 (-0.18%)</td><td>-0.071 (-1.05%)</td><td>-1.98E-07 (-0.14%)</td><td>-0.016 (-1.84%)</td></tr><tr><td>Feedstock supply</td><td>1382.785 (45.53%)</td><td>11.351 (45.82%)</td><td>5.905 (79.85%)</td><td>24.962 (97.38%)</td><td>0.474 (6.61%)</td><td>-0.008 (0.12%)</td><td>5.03E-05 (34.83%)</td><td>-0.003 (-0.29%)</td></tr><tr><td>Biogas energy utilization</td><td>850.660 (28.01%)</td><td>7.731(31.21%)</td><td>0.756 (10.23%)</td><td>0.055 (0.21%)</td><td>1.617 (22.57%)</td><td>4.200 (62.82%)</td><td>3.36E-05 (23.25%)</td><td>0.985 (110.12%)</td></tr><tr><td>Digestate processing</td><td>921.135 (30.33%)</td><td>6.014 (24.27%)</td><td>0.760 (10.29%)</td><td>0.669 (2.61%)</td><td>5.161 (72.05%)</td><td>2.770 (41.43%)</td><td>1.11E-04 (-76.82%)</td><td>-0.019 (-2.13%)</td></tr><tr><td>Whole system</td><td>3036.809</td><td>24.775</td><td>7.396</td><td>25.634</td><td>7.163</td><td>6.685</td><td>1.45E-04</td><td>0.894</td></tr></table> <div>^a The value in the bracket denotes the contribution of each stage to the whole system. SIOBS: 'Six in One' biogas system. GWP: global warming; AP: acidification; EP: eutrophication; POCP: photochemical oxidation; HTP: human toxicity; ADP: abiotic depletion; ODP: ozone layer depletion; NEG: net energy gain.</div> <div>Table 1</div> <div>Life-cycle energy and emissions annual inventory of an SIOBS.</div> <table><tr><th></th><th>Biogas plant construction</th><th>Biogas plant maintenance</th><th>Feedstock supply</th><th>Biogas energy utilization</th><th>Digestate processing</th><th>Whole system</th></tr><tr><td>E_{in}/(MJ)</td><td>-0.052</td><td>-0.016</td><td>-0.004</td><td>-0.015</td><td>-1.145</td><td>-1.233</td></tr><tr><td>E_{out}/(MJ)</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.002</td><td>1.000</td><td>1.126</td><td>2.128</td></tr><tr><td>CO₂/(10⁻⁴ kg)</td><td>-70.055</td><td>-47.215</td><td>1027.240</td><td>841.827</td><td>874.708</td><td>2626.505</td></tr><tr><td>CH₄/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.008</td><td>-0.001</td><td>11.041</td><td>0.960</td><td>3.345</td><td>15.338</td></tr><tr><td>CO/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.126</td><td>-0.038</td><td>61.843</td><td>0.998</td><td>0.974</td><td>63.651</td></tr><tr><td>SO₂/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.167</td><td>-0.013</td><td>0.276</td><td>3.796</td><td>6.838</td><td>10.730</td></tr><tr><td>NO_x/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.136</td><td>-0.065</td><td>1.705</td><td>6.015</td><td>3.785</td><td>11.305</td></tr><tr><td>NH₃/(10⁻⁴ kg)</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>5.228</td><td>0.000</td><td>0.986</td><td>6.215</td></tr><tr><td>TN/(10⁻⁴ kg)</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.847</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.847</td></tr><tr><td>TP/(10⁻⁴ kg)</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.718</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.718</td></tr><tr><td>COD/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.003</td><td>-0.002</td><td>13.024</td><td>-0.001</td><td>0.000</td><td>13.020</td></tr><tr><td>VOC/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.003</td><td>-0.001</td><td>10.554</td><td>-0.021</td><td>0.288</td><td>10.817</td></tr><tr><td>PM10/(10⁻⁴ kg)</td><td>-0.239</td><td>-0.086</td><td>3.879</td><td>5.639</td><td>2.722</td><td>11.916</td></tr></table> <div>^a "0.000" signifies no or negligible emission/energy. Negative values indicate emissions release or energy consumption, while positive ones indicate emissions mitigation or energy production. SIOBS: 'Six in One' biogas system. E_{in}: total energy input; E_{out}: total energy output; TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; COD: chemical oxygen demand; VOC: volatile organic compound; PM10: particles on the order of ~10 µm or less.</div>	Stage	GWP CO ₂ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	AP SO ₂ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	EP PO ₄ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	POCP C ₂ H ₄ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	HTP 1,4-DCB-eq/ (10 ⁻⁴ kg)	ADP Sb-eq/ (10 ⁻⁴ kg)	ODP CFC-11-eq (10 ⁻⁴ kg)	NEG /(MJ)	Biogas plant construction	-70.472 (-2.32%) ^a	-0.263 (-1.06%)	-0.018 (-0.24%)	-0.039 (-0.15%)	-0.076 (-1.06%)	-0.223 (-3.33%)	-3.50E-07 (-0.24%)	-0.052 (-5.84%)	Biogas plant maintenance	-47.300 (-1.56%)	-0.058 (-0.24%)	-0.008 (-0.12%)	-0.012 (-0.05%)	-0.013 (-0.18%)	-0.071 (-1.05%)	-1.98E-07 (-0.14%)	-0.016 (-1.84%)	Feedstock supply	1382.785 (45.53%)	11.351 (45.82%)	5.905 (79.85%)	24.962 (97.38%)	0.474 (6.61%)	-0.008 (0.12%)	5.03E-05 (34.83%)	-0.003 (-0.29%)	Biogas energy utilization	850.660 (28.01%)	7.731(31.21%)	0.756 (10.23%)	0.055 (0.21%)	1.617 (22.57%)	4.200 (62.82%)	3.36E-05 (23.25%)	0.985 (110.12%)	Digestate processing	921.135 (30.33%)	6.014 (24.27%)	0.760 (10.29%)	0.669 (2.61%)	5.161 (72.05%)	2.770 (41.43%)	1.11E-04 (-76.82%)	-0.019 (-2.13%)	Whole system	3036.809	24.775	7.396	25.634	7.163	6.685	1.45E-04	0.894		Biogas plant construction	Biogas plant maintenance	Feedstock supply	Biogas energy utilization	Digestate processing	Whole system	E _{in} /(MJ)	-0.052	-0.016	-0.004	-0.015	-1.145	-1.233	E _{out} /(MJ)	0.000	0.000	0.002	1.000	1.126	2.128	CO ₂ /(10 ⁻⁴ kg)	-70.055	-47.215	1027.240	841.827	874.708	2626.505	CH ₄ /(10 ⁻⁴ kg)	-0.008	-0.001	11.041	0.960	3.345	15.338	CO/(10 ⁻⁴ kg)	-0.126	-0.038	61.843	0.998	0.974	63.651	SO ₂ /(10 ⁻⁴ kg)	-0.167	-0.013	0.276	3.796	6.838	10.730	NO _x /(10 ⁻⁴ kg)	-0.136	-0.065	1.705	6.015	3.785	11.305	NH ₃ /(10 ⁻⁴ kg)	0.000	0.000	5.228	0.000	0.986	6.215	TN/(10 ⁻⁴ kg)	0.000	0.000	0.847	0.000	0.000	0.847	TP/(10 ⁻⁴ kg)	0.000	0.000	0.718	0.000	0.000	0.718	COD/(10 ⁻⁴ kg)	-0.003	-0.002	13.024	-0.001	0.000	13.020	VOC/(10 ⁻⁴ kg)	-0.003	-0.001	10.554	-0.021	0.288	10.817	PM10/(10 ⁻⁴ kg)	-0.239	-0.086	3.879	5.639	2.722	11.916
Stage	GWP CO ₂ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	AP SO ₂ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	EP PO ₄ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	POCP C ₂ H ₄ -eq/ (10 ⁻⁴ kg)	HTP 1,4-DCB-eq/ (10 ⁻⁴ kg)	ADP Sb-eq/ (10 ⁻⁴ kg)	ODP CFC-11-eq (10 ⁻⁴ kg)	NEG /(MJ)																																																																																																																																																										
Biogas plant construction	-70.472 (-2.32%) ^a	-0.263 (-1.06%)	-0.018 (-0.24%)	-0.039 (-0.15%)	-0.076 (-1.06%)	-0.223 (-3.33%)	-3.50E-07 (-0.24%)	-0.052 (-5.84%)																																																																																																																																																										
Biogas plant maintenance	-47.300 (-1.56%)	-0.058 (-0.24%)	-0.008 (-0.12%)	-0.012 (-0.05%)	-0.013 (-0.18%)	-0.071 (-1.05%)	-1.98E-07 (-0.14%)	-0.016 (-1.84%)																																																																																																																																																										
Feedstock supply	1382.785 (45.53%)	11.351 (45.82%)	5.905 (79.85%)	24.962 (97.38%)	0.474 (6.61%)	-0.008 (0.12%)	5.03E-05 (34.83%)	-0.003 (-0.29%)																																																																																																																																																										
Biogas energy utilization	850.660 (28.01%)	7.731(31.21%)	0.756 (10.23%)	0.055 (0.21%)	1.617 (22.57%)	4.200 (62.82%)	3.36E-05 (23.25%)	0.985 (110.12%)																																																																																																																																																										
Digestate processing	921.135 (30.33%)	6.014 (24.27%)	0.760 (10.29%)	0.669 (2.61%)	5.161 (72.05%)	2.770 (41.43%)	1.11E-04 (-76.82%)	-0.019 (-2.13%)																																																																																																																																																										
Whole system	3036.809	24.775	7.396	25.634	7.163	6.685	1.45E-04	0.894																																																																																																																																																										
	Biogas plant construction	Biogas plant maintenance	Feedstock supply	Biogas energy utilization	Digestate processing	Whole system																																																																																																																																																												
E _{in} /(MJ)	-0.052	-0.016	-0.004	-0.015	-1.145	-1.233																																																																																																																																																												
E _{out} /(MJ)	0.000	0.000	0.002	1.000	1.126	2.128																																																																																																																																																												
CO ₂ /(10 ⁻⁴ kg)	-70.055	-47.215	1027.240	841.827	874.708	2626.505																																																																																																																																																												
CH ₄ /(10 ⁻⁴ kg)	-0.008	-0.001	11.041	0.960	3.345	15.338																																																																																																																																																												
CO/(10 ⁻⁴ kg)	-0.126	-0.038	61.843	0.998	0.974	63.651																																																																																																																																																												
SO ₂ /(10 ⁻⁴ kg)	-0.167	-0.013	0.276	3.796	6.838	10.730																																																																																																																																																												
NO _x /(10 ⁻⁴ kg)	-0.136	-0.065	1.705	6.015	3.785	11.305																																																																																																																																																												
NH ₃ /(10 ⁻⁴ kg)	0.000	0.000	5.228	0.000	0.986	6.215																																																																																																																																																												
TN/(10 ⁻⁴ kg)	0.000	0.000	0.847	0.000	0.000	0.847																																																																																																																																																												
TP/(10 ⁻⁴ kg)	0.000	0.000	0.718	0.000	0.000	0.718																																																																																																																																																												
COD/(10 ⁻⁴ kg)	-0.003	-0.002	13.024	-0.001	0.000	13.020																																																																																																																																																												
VOC/(10 ⁻⁴ kg)	-0.003	-0.001	10.554	-0.021	0.288	10.817																																																																																																																																																												
PM10/(10 ⁻⁴ kg)	-0.239	-0.086	3.879	5.639	2.722	11.916																																																																																																																																																												



Remarque/pertinence pour la présente étude	Ces données ont été utilisées à titre de comparaison avec la présente étude
--	---

Titre	The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale
Réf.	Waste Management – 2010
Auteurs	Julia Martinez-Blanco, Joan Colon, Xavier Gabarell, Xavier Front, Antoni Sanchez, Adriana Artola, Joan Rieradevall
Représentativité géographique	Espagne
Objectif de l'étude	Evaluer par analyse de cycle de vie les impacts de deux filières de compostage : -Compostage individuel (HC) -Compostage industriel (IC)
Etapes de du cycle de vie considérées	Ensemble du cycle de vie de la chaine compostage
Méthodologie	Veille bibliographique et échantillonnage sur différents compostes individuels et collectifs représentatifs de l'étude.

Données brutes
utilisées dans la
présente étude

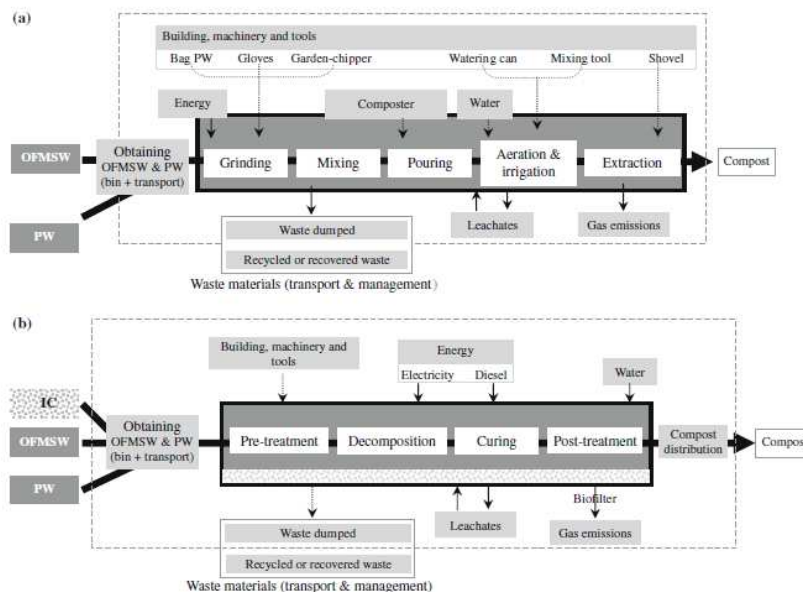


Fig. 1. Definition and boundaries of the composting systems studied, including the main composting stages and the input and output flows considered. (a) Home composting system. (b) Industrial composting system. OFMSW, organic fraction of municipal solid waste; PW, pruning waste; IC, impurities material content.

Table 1
Summary of compost production inventory for the home composting system. Values are related to 1 ton of OFMSW (functional unit).

Stages	Element	Flow	Amount	Units (ton ⁻¹ OFMSW)	Lifespan (yr)	Source
Inputs						
Collection of OFMSW and PW	OFMSW kitchen bin	PP	0.082	kg	7	SCLCI (2007), WSOFM (2008) and Colón et al. (in press)
Building, machinery and tools (composter)	Composter	Plastic mix	4.380	kg	12	SCLCI (2007), Compostadores SL (2008), WSOFM (2008), Briarte et al. (2009) and Colón et al. (in press)
	Plastic collection. Container	HDPE	0.004	kg	-	
	Plastic collection. Cleaning water	Tap water	0.006	L	-	
	Plastic collection. Transport	Transport	0.146	tkm	-	
	Transport national	Transport	2.190	tkm	-	
Building, machinery and tools (others)	Garden chipper	Steel	0.297	kg	10	Compostadores SL (2008), SCLCI (2007), WSOFM (2008), Colón et al. (in press) and own measurements
	HDPE	HDPE	0.297	kg	-	
	Bag for PW collection	PP	0.076	kg	3	
	Shovel	Steel	0.029	kg	12	
	Wood	Wood	0.016	kg	-	
	Mixing tool	Iron	0.133	kg	12	
	Watering can	PP	0.003	kg	12	
	Gloves	Cotton	0.011	kg	6	
	Transport national ^a	Transport	0.364	tkm	-	
	Transport regional ^b	Transport	0.013	tkm	-	
Water consumption	Moistening water	Tap water	50.870	L	-	Own measurements
Energy consumption	Electricity consumption (garden-chipper)	Electricity	9.381	kWh	-	Own measurements and Compostadores SL (2008)
Outputs						
Gaseous emissions	Methane	CH ₄	0.158	kg	-	Own measurements
	Volatile organic compounds	VOCs	0.559	kg	-	
	Nitrous oxide	N ₂ O	0.676	kg	-	
	Ammonia	NH ₃	0.842	kg	-	
Waste dumped	Waste management in landfill	Wood	0.016	kg	-	Compostadores SL (2008), SCLCI (2007), WSOFM (2008) and own measurements
		Cotton	0.011	kg	-	
		Plastic mix	4.380	kg	-	
	Transport to landfill ^c	Transport	0.441	tkm	-	

OFMSW, Organic fraction of municipal solid waste; PP, polypropylene; HDPE, high density polyethylene.

^a It includes garden chipper and mixing tool that were transported from a distance of 500 km by lorry of 3.5–16 ton MAL.

^b It includes bag for PW collection, shovel, watering can and gloves that were transported from a distance of 50 km by van of 3.5 ton MAL.

^c A transport of 50 km with a municipal solid waste collection lorry (21 ton MAL) was considered.

Table 2

Summary of compost production inventory for the industrial composting system. Values are related to 1 ton of OFMSW (functional unit).

Stages	Element	Flow	Amount	Units (ton ⁻¹ OFMSW)	Source
Inputs					
Collection of OFMSW and PW	OFMSW kitchen bin	PP	0.089	kg	Martínez-Blanco et al. (2009b) and Iriarte et al. (2009)
	Container	HDPE	0.124	kg	
	Container cleaning water	Tap water	10.604	L	
	OFMSW and PW collection ^a	Transport	30.634	tkm	
Building, machinery and tools ^b	Building materials ^c	Building materials	14.171	kg	Althaus et al. (2004), SCLCI (2007), IfeC (2008) and WSOFM (2008).
	Machinery production	Machinery	0.149	kg	
	Diesel oil consumption	Diesel oil	0.001	kg	
	Transport	Transport	0.057	tkm	
Energy consumption	Diesel oil consumption	Diesel oil	4.743	kg	Martínez-Blanco et al. (2009b)
	Electricity consumption	Electricity	50.531	kWh	
Water consumption	Tap water and rainwater	Water	426.778	L	
Outputs					
Gaseous emissions	Methane	CH ₄	0.034 ^d	kg	Colón et al. (2009) and own measurements
	Volatile organic compounds	VOCs	1.210	kg	
	Nitrous oxide	N ₂ O	0.092 ^d	kg	
	Ammonia	NH ₃	0.110	kg	
Waste dumped	Waste management in landfill	Solid waste	0.219	t	IfeC (2008), Martínez-Blanco et al. (2009b) and WSOFM (2008)
	Building waste	Building waste	0.014	t	
	Transport to landfill ^e	Waste	23.488	tkm	
Compost distribution	Compost distribution	Transport	4.543	tkm	Own measurements

OFMSW, Organic fraction of municipal solid waste; PP, polypropylene; HDPE, high density polyethylene.

^a Urban transport collection considered by Iriarte et al. (2009) and transport intercity to the plant (10 km), with a municipal solid waste collection lorry (21 ton MAL).^b Resources entailed in the construction of the compost plant and its infrastructures. Lifespan of the composting plant is the 25 years (WSOFM, 2008).^c The building materials required were cement, concrete, steel, gravel and polyester.^d Null emissions of CH₄ and N₂O were detected according to the analytical methods applied which have a detection limit of 10 ppmv in both cases. For such compounds we considered an average emission value of 5 ppmv.^e It includes solid waste and building waste transport from the plant to the landfill considering a transport of 50 km with a lorry of 3.5–16 ton MAL.**Table 3**

Physicochemical properties of final compost obtained from the home composter and from the industrial composting facility. Compost quality standards are also reported for comparison.

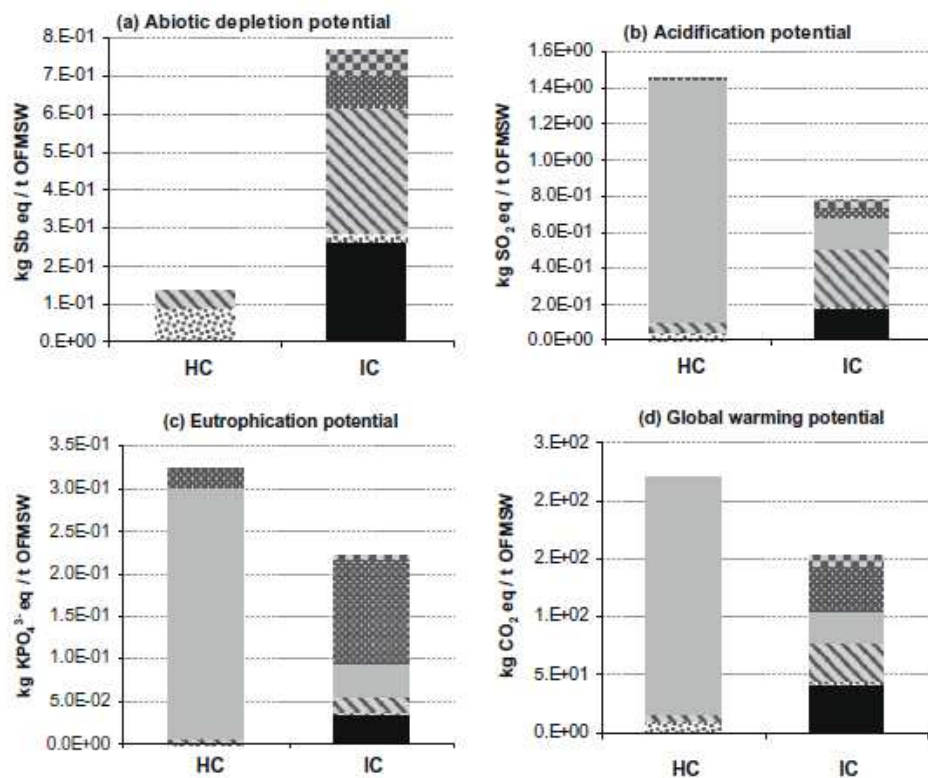
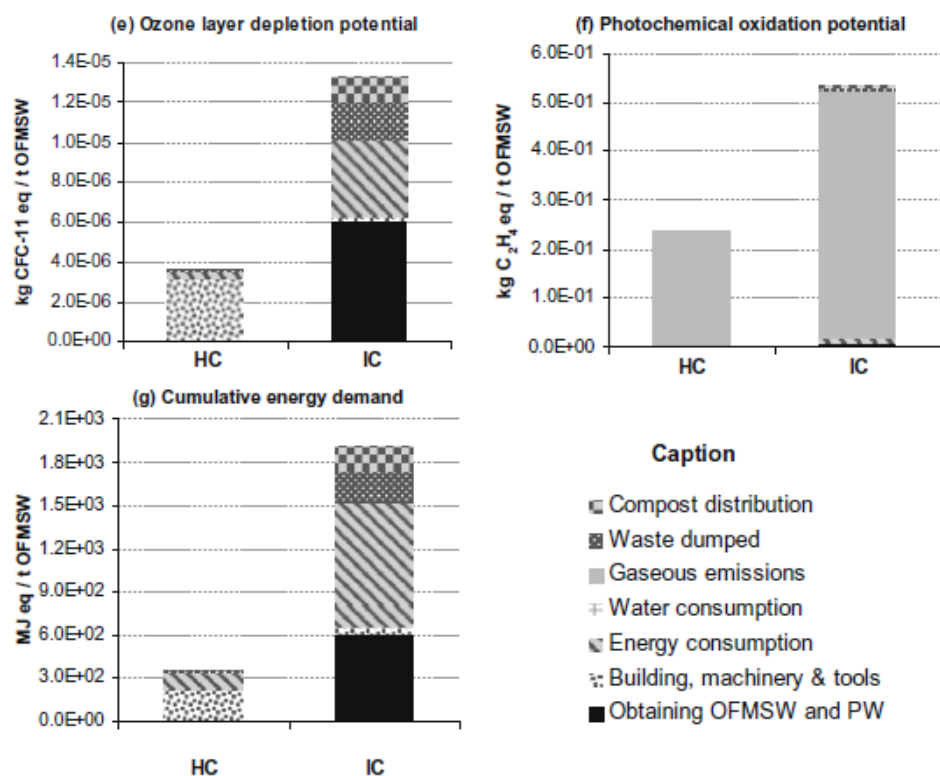
Properties	Units	Compost		Compost quality standards
		Home	Industrial ^a	
Moisture	%, wb	43.63	31.85	25–40 ^b
Organic matter	%, db	47.96	55.33	≥ 40 ^b
pH (extract 1:5 w:v)	-	7.83	7.88	6.5–8 ^b
Electrical conductivity (extract 1:5 w:v)	mS cm ⁻¹	4.30	4.90	≤ 6 ^b
N-Kjeldhal	%, db	1.71	2.04	≥ 2 ^b
Respiration index	mg O ₂ g ⁻¹ OM h ⁻¹	1.13	0.89	0.5–1.5 ^c
Zn	mg kg ⁻¹	156	150	200 ^d
Cu	mg kg ⁻¹	44	47	100 ^d
Ni	mg kg ⁻¹	9	9	50 ^d
Cr	mg kg ⁻¹	9	8	100 ^d
Pb	mg kg ⁻¹	28	32	100 ^d
Cd	mg kg ⁻¹	0.30	0.24	0.7 ^d

wb: wet basis; db: dry basis; w: weight; v: volume; OM: organic matter; na: not analyzed.

^a Data supplied by plant managers. Average values of the period 2001–2006.^b Regulation proposal for municipal solid waste compost in Spain (Giró, 1994).^c Range for stable compost according to California Compost Quality Council (2001).^d Regulation proposal for municipal solid waste compost in Europe (European Commission, 2001).**Table 4**

Life cycle inventory summary for the two composting systems: home (HC) and industrial composting (IC), including the management of all the OFMSW.

Flow	Units (ton ⁻¹ OFMSW)	Industrial composting	Home composting	Ratio (IC/HC)
Water	L	437.383	50.876	8.60
Material resources	kg	13.386	5.327	2.51
Electricity	kWh	50.531	9.381	5.39
Diesel oil	L	4.744	0.000	-
VOC	kg	1.210	0.559	2.16
NH ₃	kg	0.110	0.842	0.13
CH ₄	kg	0.034	0.158	0.21
N ₂ O	kg	0.092	0.676	0.14
Waste dumped	kg	232.960	4.407	52.86
Transport	tkm	58.718	3.153	18.62
Land surface	m ²	0.042	0.093	0.45



Remarque/pertinence pour la présente étude	Ces données sont utilisées dans la présente étude à titre de comparaison, dans le but de valider les valeurs APESA (ADEME, 2015) retenues.
--	--

Titre	Chemical and odor characterization of gas emissions released during composting of solid wastes and digestates																																																																																			
Réf.	Journal of Environnement Management – 2019, 233, 39-53																																																																																			
Auteurs	Rincon et al.																																																																																			
Représentativité géographique	Non précisé																																																																																			
Objectif de l'étude	Démontrer la faisabilité de prédire la concentration en composés odorants pendant la phase de compostage à partir de la composition des déchets compostés et des digestats																																																																																			
Etapes de du cycle de vie considérées	Compostage																																																																																			
Méthodologie	141 échantillons ont été analysés pour caractériser l'odeur et la composition chimique des émissions lors de la digestion aérobie de 10 substrats différents. Tests laboratoires sur composteurs de 300L.																																																																																			
Données brutes utilisées dans la présente étude	<div><div><div>Table 2</div><div>Mixtures compositions and composting conditions.</div><table><tr><th rowspan="2">Mixture composition</th><th colspan="6">Compostable substrate</th></tr><tr><th>SPS</th><th>TM</th><th>ADP</th><th>FWR</th><th>FWK</th><th>FWH</th></tr><tr><td>Substrate fresh mass (Kg)</td><td>147.6</td><td>135.1</td><td>126.3</td><td>79.9</td><td>87.6</td><td>55.1</td></tr><tr><td>OM₀ content (%FW)</td><td>22.8</td><td>25.2</td><td>24.2</td><td>25.9</td><td>18.3</td><td>28.4</td></tr><tr><td>BA fresh mass (kg)</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>57.1</td><td>43.3</td><td>48.7</td></tr><tr><td>Water added (kg)</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr><tr><td>Ratio BA/S</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.9</td></tr><tr><td>Mixture moisture (%)</td><td>68.5</td><td>68.8</td><td>62.5</td><td>49.3</td><td>59.3</td><td>44.6</td></tr><tr><td colspan="7">Experimental conditions</td></tr><tr><td>Mean aeration rate (L h⁻¹ Kg⁻¹)</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>3.0</td><td>5.3</td><td>3.6</td><td>4.6</td></tr><tr><td>Turning date^a (days)</td><td>14/24</td><td>14/24</td><td>10/20</td><td>10/21</td><td>10/21</td><td>10/20</td></tr><tr><td>Process duration (days)</td><td>31.6</td><td>31.6</td><td>30.9</td><td>31.7</td><td>31.7</td><td>30.9</td></tr></table></div><div><div>- Composition des substrats (FWR – Food Waste from Restaurant et FWH – Household Food Waste):</div><div>- Données d'émissions concernant l'ammoniac NH₃</div></div></div>	Mixture composition	Compostable substrate						SPS	TM	ADP	FWR	FWK	FWH	Substrate fresh mass (Kg)	147.6	135.1	126.3	79.9	87.6	55.1	OM ₀ content (%FW)	22.8	25.2	24.2	25.9	18.3	28.4	BA fresh mass (kg)	0.0	0.0	0.0	57.1	43.3	48.7	Water added (kg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Ratio BA/S	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.9	Mixture moisture (%)	68.5	68.8	62.5	49.3	59.3	44.6	Experimental conditions							Mean aeration rate (L h ⁻¹ Kg ⁻¹)	1.2	1.4	3.0	5.3	3.6	4.6	Turning date ^a (days)	14/24	14/24	10/20	10/21	10/21	10/20	Process duration (days)	31.6	31.6	30.9	31.7	31.7	30.9
Mixture composition	Compostable substrate																																																																																			
	SPS	TM	ADP	FWR	FWK	FWH																																																																														
Substrate fresh mass (Kg)	147.6	135.1	126.3	79.9	87.6	55.1																																																																														
OM ₀ content (%FW)	22.8	25.2	24.2	25.9	18.3	28.4																																																																														
BA fresh mass (kg)	0.0	0.0	0.0	57.1	43.3	48.7																																																																														
Water added (kg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																																														
Ratio BA/S	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.9																																																																														
Mixture moisture (%)	68.5	68.8	62.5	49.3	59.3	44.6																																																																														
Experimental conditions																																																																																				
Mean aeration rate (L h ⁻¹ Kg ⁻¹)	1.2	1.4	3.0	5.3	3.6	4.6																																																																														
Turning date ^a (days)	14/24	14/24	10/20	10/21	10/21	10/20																																																																														
Process duration (days)	31.6	31.6	30.9	31.7	31.7	30.9																																																																														
Remarque/pertinence pour la présente étude	La composition des déchets et les conditions opératoires sont assez proches des paramètres de la présente étude pour pouvoir considérer les résultats. Les données sur les émissions de NH3 ont été utilisées via le calcul de facteurs d'émission. Une communication personnelle de M. Amaury De Guardia a permis la bonne compréhension des données de la publication.																																																																																			

Titre	Environmental impacts of biogas deployment – part 1: Life Cycle inventory for evaluation of production process emissions to air
Réf.	Journal of cleaner production – 2012, 24, 168-183
Auteurs	Poeschl et al.
Représentativité géographique	Allemagne
Objectif de l'étude	Identification des étapes de cycle de vie (production de biogaz et utilisation) offrant le plus d'opportunité de réduction des émissions dans l'air

Etapes de du cycle de vie considérées	Digestion, valorisation du biogaz et épandage du digestat																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Méthodologie	Analyse de données publiées sur l'Allemagne																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Données brutes utilisées dans la présente étude	<div>- Données sur les émissions dans l’air durant la production et l’utilisation du biogaz à partir de « Municipal solid waste » :</div> <div>Table 5 Primary energy inputs and emissions to air from biogas production and utilization based on single feedstock digestion. Data on ei Data on emission levels are based on Ecoinvent® v2.1 database (Ecoinvent, 2007).</div> <table><tr><th>Single feedstock scenarios^a</th><th>Cattle manure</th><th>Straw</th><th>Corn silage</th><th>Grass silage</th><th>Whole wheat plant silage</th><th>Municipal solid waste</th><th>Food residues</th></tr><tr><td colspan="8">Primary energy input (MJ_{PE} t⁻¹)</td></tr><tr><td>Unit process I Electricity heat</td><td>19</td><td>272</td><td>417</td><td>591</td><td>652</td><td>1,032</td><td>482</td></tr><tr><td>Unit process II^b</td><td>16</td><td>185</td><td>130</td><td>82</td><td>126</td><td>91</td><td>70</td></tr><tr><td></td><td>76</td><td>872</td><td>611</td><td>388</td><td>592</td><td>430</td><td>331</td></tr><tr><td>Unit process III^b</td><td>12</td><td>141</td><td>99</td><td>63</td><td>96</td><td>70</td><td>54</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>23</td><td>251</td><td>102</td><td>73</td><td>117</td><td>117</td><td>47</td></tr><tr><td colspan="8">Emissions to air (per tonne of feedstock)</td></tr><tr><td colspan="8">CO₂, fossil (kg) See Fig. 2</td></tr><tr><td colspan="8">CH₄,fossil (g)</td></tr><tr><td>Unit process I</td><td>3.0</td><td>118.5</td><td>44.6</td><td>185.3</td><td>223.6</td><td>150.7</td><td>41.8</td></tr><tr><td>Unit process II</td><td>7.6</td><td>87.2</td><td>61.2</td><td>38.8</td><td>59.3</td><td>1,629.4</td><td>1,259.5</td></tr><tr><td>Unit process III</td><td>-60.2</td><td>-745.1</td><td>-512.2</td><td>-312.4</td><td>-496.0</td><td>-312.0</td><td>-240.2</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>-6.7</td><td>-25.7</td><td>-0.5</td><td>-11.0</td><td>-20.7</td><td>-38.5</td><td>-6.0</td></tr><tr><td colspan="8">CH₄,biogenic (kg) See Fig. 2</td></tr><tr><td colspan="8">NO_x (g)</td></tr><tr><td>Unit process I</td><td>10.7</td><td>218.4</td><td>189.4</td><td>679.0</td><td>955.7</td><td>383.2</td><td>47.7</td></tr><tr><td>Unit process II</td><td>9.7</td><td>110.8</td><td>77.7</td><td>49.3</td><td>75.3</td><td>54.0</td><td>41.6</td></tr><tr><td>Unit process III</td><td>38.4</td><td>474.4</td><td>326.3</td><td>199.3</td><td>316.0</td><td>199.8</td><td>153.8</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>-5.8</td><td>18.9</td><td>24.3</td><td>-0.9</td><td>-14.7</td><td>-66.7</td><td>3.1</td></tr><tr><td colspan="8">SO₂ (g)</td></tr><tr><td>Unit process I</td><td>2.9</td><td>63.8</td><td>64.7</td><td>133.1</td><td>318.1</td><td>90.9</td><td>21.0</td></tr><tr><td>Unit process II</td><td>6.6</td><td>75.5</td><td>53.0</td><td>33.6</td><td>51.3</td><td>36.2</td><td>27.9</td></tr><tr><td>Unit process III</td><td>-23.0</td><td>-286.3</td><td>-196.5</td><td>-119.5</td><td>-190.2</td><td>-118.2</td><td>-91.0</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>-48.4</td><td>-220.9</td><td>-23.0</td><td>-83.5</td><td>-130.8</td><td>-56.4</td><td>-48.7</td></tr><tr><td colspan="8">NMVOC (g)</td></tr><tr><td>Unit process I</td><td>2.2</td><td>54.5</td><td>28.9</td><td>122.6</td><td>130.5</td><td>172.3</td><td>6.5</td></tr><tr><td>Unit process II</td><td>1.7</td><td>19.1</td><td>13.4</td><td>8.5</td><td>13.0</td><td>9.3</td><td>7.2</td></tr><tr><td>Unit process III</td><td>-3.0</td><td>-36.7</td><td>-25.2</td><td>-15.3</td><td>-24.4</td><td>-15.2</td><td>-11.7</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>0.5</td><td>11.8</td><td>6.9</td><td>3.1</td><td>2.9</td><td>2.7</td><td>2.4</td></tr><tr><td colspan="8">Emissions to air (per tonne of feedstock)</td></tr><tr><td colspan="8">PM₁₀ (g)</td></tr><tr><td>Unit process I</td><td>1.3</td><td>18.3</td><td>16.4</td><td>35.7</td><td>61.4</td><td>41.3</td><td>13.2</td></tr><tr><td>Unit process II</td><td>4.5</td><td>51.5</td><td>36.1</td><td>22.9</td><td>34.9</td><td>25.0</td><td>19.2</td></tr><tr><td>Unit process III</td><td>-19.7</td><td>-243.8</td><td>-167.6</td><td>-102.2</td><td>-162.3</td><td>-102.0</td><td>-78.5</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>-2.5</td><td>-4.9</td><td>0.8</td><td>-3.1</td><td>-5.8</td><td>-8.2</td><td>-0.9</td></tr><tr><td colspan="8">N₂O (g)</td></tr><tr><td>Unit process I</td><td>0.1</td><td>1.0</td><td>100.0</td><td>469.6</td><td>710.4</td><td>4.0</td><td>0.8</td></tr><tr><td>Unit process II</td><td>0.1</td><td>1.3</td><td>0.9</td><td>0.6</td><td>0.9</td><td>0.6</td><td>0.5</td></tr><tr><td>Unit process III</td><td>-1.1</td><td>-13.5</td><td>-9.3</td><td>-5.6</td><td>-9.0</td><td>-5.6</td><td>-4.3</td></tr><tr><td>Unit process IV</td><td>-10.6</td><td>-58.5</td><td>-18.3</td><td>-23.1</td><td>-44.9</td><td>-156.3</td><td>-13.4</td></tr></table>	Single feedstock scenarios ^a	Cattle manure	Straw	Corn silage	Grass silage	Whole wheat plant silage	Municipal solid waste	Food residues	Primary energy input (MJ _{PE} t ⁻¹)								Unit process I Electricity heat	19	272	417	591	652	1,032	482	Unit process II ^b	16	185	130	82	126	91	70		76	872	611	388	592	430	331	Unit process III ^b	12	141	99	63	96	70	54	Unit process IV	23	251	102	73	117	117	47	Emissions to air (per tonne of feedstock)								CO ₂ , fossil (kg) See Fig. 2								CH ₄ ,fossil (g)								Unit process I	3.0	118.5	44.6	185.3	223.6	150.7	41.8	Unit process II	7.6	87.2	61.2	38.8	59.3	1,629.4	1,259.5	Unit process III	-60.2	-745.1	-512.2	-312.4	-496.0	-312.0	-240.2	Unit process IV	-6.7	-25.7	-0.5	-11.0	-20.7	-38.5	-6.0	CH ₄ ,biogenic (kg) See Fig. 2								NO _x (g)								Unit process I	10.7	218.4	189.4	679.0	955.7	383.2	47.7	Unit process II	9.7	110.8	77.7	49.3	75.3	54.0	41.6	Unit process III	38.4	474.4	326.3	199.3	316.0	199.8	153.8	Unit process IV	-5.8	18.9	24.3	-0.9	-14.7	-66.7	3.1	SO ₂ (g)								Unit process I	2.9	63.8	64.7	133.1	318.1	90.9	21.0	Unit process II	6.6	75.5	53.0	33.6	51.3	36.2	27.9	Unit process III	-23.0	-286.3	-196.5	-119.5	-190.2	-118.2	-91.0	Unit process IV	-48.4	-220.9	-23.0	-83.5	-130.8	-56.4	-48.7	NMVOC (g)								Unit process I	2.2	54.5	28.9	122.6	130.5	172.3	6.5	Unit process II	1.7	19.1	13.4	8.5	13.0	9.3	7.2	Unit process III	-3.0	-36.7	-25.2	-15.3	-24.4	-15.2	-11.7	Unit process IV	0.5	11.8	6.9	3.1	2.9	2.7	2.4	Emissions to air (per tonne of feedstock)								PM ₁₀ (g)								Unit process I	1.3	18.3	16.4	35.7	61.4	41.3	13.2	Unit process II	4.5	51.5	36.1	22.9	34.9	25.0	19.2	Unit process III	-19.7	-243.8	-167.6	-102.2	-162.3	-102.0	-78.5	Unit process IV	-2.5	-4.9	0.8	-3.1	-5.8	-8.2	-0.9	N ₂ O (g)								Unit process I	0.1	1.0	100.0	469.6	710.4	4.0	0.8	Unit process II	0.1	1.3	0.9	0.6	0.9	0.6	0.5	Unit process III	-1.1	-13.5	-9.3	-5.6	-9.0	-5.6	-4.3	Unit process IV	-10.6	-58.5	-18.3	-23.1	-44.9	-156.3	-13.4
Single feedstock scenarios ^a	Cattle manure	Straw	Corn silage	Grass silage	Whole wheat plant silage	Municipal solid waste	Food residues																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Primary energy input (MJ _{PE} t ⁻¹)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I Electricity heat	19	272	417	591	652	1,032	482																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II ^b	16	185	130	82	126	91	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	76	872	611	388	592	430	331																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III ^b	12	141	99	63	96	70	54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	23	251	102	73	117	117	47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Emissions to air (per tonne of feedstock)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
CO ₂ , fossil (kg) See Fig. 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
CH ₄ ,fossil (g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I	3.0	118.5	44.6	185.3	223.6	150.7	41.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II	7.6	87.2	61.2	38.8	59.3	1,629.4	1,259.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III	-60.2	-745.1	-512.2	-312.4	-496.0	-312.0	-240.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	-6.7	-25.7	-0.5	-11.0	-20.7	-38.5	-6.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
CH ₄ ,biogenic (kg) See Fig. 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
NO _x (g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I	10.7	218.4	189.4	679.0	955.7	383.2	47.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II	9.7	110.8	77.7	49.3	75.3	54.0	41.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III	38.4	474.4	326.3	199.3	316.0	199.8	153.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	-5.8	18.9	24.3	-0.9	-14.7	-66.7	3.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SO ₂ (g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I	2.9	63.8	64.7	133.1	318.1	90.9	21.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II	6.6	75.5	53.0	33.6	51.3	36.2	27.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III	-23.0	-286.3	-196.5	-119.5	-190.2	-118.2	-91.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	-48.4	-220.9	-23.0	-83.5	-130.8	-56.4	-48.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NMVOC (g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I	2.2	54.5	28.9	122.6	130.5	172.3	6.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II	1.7	19.1	13.4	8.5	13.0	9.3	7.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III	-3.0	-36.7	-25.2	-15.3	-24.4	-15.2	-11.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	0.5	11.8	6.9	3.1	2.9	2.7	2.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Emissions to air (per tonne of feedstock)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
PM ₁₀ (g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I	1.3	18.3	16.4	35.7	61.4	41.3	13.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II	4.5	51.5	36.1	22.9	34.9	25.0	19.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III	-19.7	-243.8	-167.6	-102.2	-162.3	-102.0	-78.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	-2.5	-4.9	0.8	-3.1	-5.8	-8.2	-0.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
N ₂ O (g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Unit process I	0.1	1.0	100.0	469.6	710.4	4.0	0.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process II	0.1	1.3	0.9	0.6	0.9	0.6	0.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process III	-1.1	-13.5	-9.3	-5.6	-9.0	-5.6	-4.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Unit process IV	-10.6	-58.5	-18.3	-23.1	-44.9	-156.3	-13.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Remarque/pertinence pour la présente étude	Puisque les conditions de digestion et d’utilisation ne sont pas clairement détaillées, ces données ont été utilisées à titre de comparaison.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Titre	Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste
Réf.	Journal of Environmental Management – 2019, 236, 798-814
Auteurs	Slorach et al.
Représentativité géographique	UK
Objectif de l'étude	Evaluation des impacts environnementaux liés à la digestion anaérobie des déchets ménagers pour la production d'énergie
Etapes de du cycle de vie considérées	Collecte, digestion, cogénération, traitement et épandage du digestat
Méthodologie	Veille bibliographique sur des unités de méthanisation existante et Ecoinvent

Données brutes utilisées dans la présente étude	- Données d'émissions pendant l'épandage du digestat et émissions dues aux fuites lors de la digestion :				
	Table 3				
	Emissions from the AD plant and digestate used in LCA modelling of food waste treatment via anaero				
	Parameter	Unit	Base case	Minimum ^a	Maximum ^a
	Methane emissions at AD plant	% of total production	2%	1%	3%
	Digestate dry solid (DS) fraction	%	4.5%	2.7%	6.8%
	Total N in digestate	% of DS	15.0%	11.9%	20.5%
	Total P in digestate	% of DS	0.7%	0.3%	2%
	Total K in digestate	% of DS	4.7%	1.4%	9.3%
	Nitrogen fertiliser displaced ^b	Equivalent % of the mass of N in the digestate	40%	18%	65%
	Potassium fertiliser displaced	equiv. % of the mass of K in the digestate		100%	
	Phosphate fertiliser displaced	equiv.% of the mass of P in the digestate		100%	
	Ammonia emission to air from: digestate application	% total N emitted as NH ₃ -N	42%	18%	65%
	ammonium nitrate application	% total N emitted as NH ₃ -N	2%	0%	13%
	Nitrous oxide emission air from: digestate application	% total N emitted as N ₂ O-N	0.45%	0.20%	0.90%
ammonium nitrate application	% total N emitted as N ₂ O-N	1.5%	0.6%	3.8%	
Nitrate leaching to soil from: digestate application	% total N emitted as Nitrate-N	15%	10%	20%	
ammonium nitrate application	% total N emitted as Nitrate-N	7.5%	5.0%	10%	
Remarque/pertinence pour la présente étude					

Titre	Emission factors for gas fired CHP units < 25 MW
Réf.	-
Auteurs	P. G. Kristensen, J. K. Jensen, M. Nielsen et J. B. Illerup
Représentativité géographique	Danemark
Objectif de l'étude	Cartographie des émissions produites par les installations de cogénération de moins de 25 MW au Danemark.
Etapes de du cycle de vie considérées	
Méthodologie	Analyse des rejets de 500 moteurs et turbine fonctionnant sur gaz naturel ou biogaz
Données brutes utilisées dans la présente étude	Facteurs d'émission pour différents types de moteurs :

	Table 1, Make and model specific emissions factors for major types of engines														
	Engine Make and type	Ber-gen	Cater pillar 3500	Cater pillar 3600	Jenbacher 300	Jenbacher 600	MAN	MAN /B&W	MWM 604	Niigata 26	Wau-kesha	Wärtsilä 25	Wärtsilä 34	Wärtsilä 28	Wärtsilä known type
	Ignition type Pre-chamber or Open chamber	Pre-	Pre-	Open	Open	Pre-	Open	Pre-	Open	Pre-	Open	Pre-	Pre-	Pre-	Pre-
	Efficiency [%]	39.4	36.3	39.2	38.4	38.8	33.1	38.0	35.1	38.0	33.3	37.2	41.2	41.1	40.2
	NO _x [g/GJ]	232	137	91	169	169	125	142	169	93	74	157	121	130	200
	UHC (C) [g/GJ]	648	434	611	235	516	74	781	161	891	608	479	413	473	92
	CH ₄ [g/GJ]	694	465	655	251	553	79	837	173	955	651	514	442	507	98
	NM VOC [g/GJ]	156	104	147	56	124	18	188	39	214	146	115	99	114	22
	CO [g/GJ]	225	110	145	129	222	165	80	177	122	216	248	163	265	135
	Odour (actual exhaust) [OU/m ³]	13996	2241	5338	8679	500	5095	400	10253	2945	4600	10083	8028	11702	3500
	Aldehyde														
	- Formaldehyde [mg/GJ]	35.22	10.93	24.85	18.67	0.72		0.22	19.86	25.35	32.80	18.55	37.22		1.68
	- Acetaldehyde [mg/GJ]	3.05	0.63	2.15	1.08	0.00		0.00	1.57	2.99	1.68	1.53	2.28		0.09
	- Acrolein [mg/GJ]	0.15	0.05	0.04	0.14	0.00		0.00	0.03	0.03	0.16	0.06	0.03		0.00
	- Propanal [mg/GJ]	0.31	0.04	0.18	0.10	0.00		0.00	0.13	0.22	0.12	0.16	0.17		0.00
	- Acetone [mg/GJ]	0.32	0.08	0.28	0.14	0.00		0.00	0.38	0.37	0.06	0.19	0.37		0.00
	- Butanal [mg/GJ]	0.15	0.03	0.06	0.05	0.00		0.00	0.05	0.31	0.16	0.06	0.17		0.00
	- Pentanal [mg/GJ]	0.15	0.08	0.29	0.04	0.00		0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.30		0.00
	- Hexanal [mg/GJ]	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00		0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01		0.00
	- Benzaldehyd [mg/GJ]	0.04	0.02	0.00	0.03	0.00		0.00	0.04	0.06	0.00	0.00	0.06		0.03
	Annual natural gas consumption [TJ]	8841	4185	4287	5124	550	834	614	662	1115	838	838	2130	809	490
Remarque/pertinence pour la présente étude	Ces données sont celles qui ont été utilisées pour la modélisation des émissions dans les scénarios de cogénération à partir de biogaz.														

Titre	Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2009
-------	---

Réf.	Finland's National Inventory Report (NIR) under the UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) and the Kyoto Protocol
Auteurs	R. Pipatti et al.
Représentativité géographique	Finlande
Objectif de l'étude	Inventaires des émissions anthropiques par ses sources et de l'absorption par ses puits pour tous les gaz à effet de serre non couverts par le protocole de Montréal.
Etapes de du cycle de vie considérées	Tous
Méthodologie	-
Données brutes utilisées dans la présente étude	<ul style="list-style-type: none"> - Données d'émissions de CO₂ (Tg/PJ) par type de combustibles (dont gaz naturel) en 2009 - Données d'émissions de CH₄ (Mg/PJ) par type de combustibles (dont gaz naturel) en 2009 - Données d'émissions de N₂O (Mg/PJ) par type de combustibles (dont gaz naturel) en 2009
Remarque/pertinence pour la présente étude	Les données datant de 2009, leur pertinence pour la présente étude peut être remise en question. Néanmoins, en l'absence de données plus récente, elles ont été utilisées pour modéliser les émissions lors de l'utilisation de la torchère à partir de biogaz.

Titre	A French inventory of gaseous emissions (CH ₄ , N ₂ O, NH ₃) from livestock manure management using a mass-flow approach											
Réf.	Livestock Science – 2007, 112, 3, 252-260											
Auteurs	A. Gac, F. Béline, T. Bioteau, K. Maguet											
Représentativité géographique	France, Europe											
Objectif de l'étude	Réalisation d'une base de données pour la quantification des émissions de NH ₃ , CH ₄ et N ₂ O lors du traitement de lisier											
Etapes de du cycle de vie considérées	Collecte et stockage											
Méthodologie	Veille bibliographique, modélisation											
Données brutes utilisées dans la présente étude	<table><tr><td>CH₄</td><td>10-16</td><td>%Bo entrant</td></tr><tr><td>N₂O</td><td>0,15-0,3</td><td>%N entrant</td></tr><tr><td>NH₃</td><td>3,5-9,5</td><td>%N entrant</td></tr></table>			CH ₄	10-16	%Bo entrant	N ₂ O	0,15-0,3	%N entrant	NH ₃	3,5-9,5	%N entrant
CH ₄	10-16	%Bo entrant										
N ₂ O	0,15-0,3	%N entrant										
NH ₃	3,5-9,5	%N entrant										
Remarque/pertinence pour la présente étude	Le scope d'étude de cette référence ne correspond pas au scope de l'étude réalisée étant donné que la quantification des émissions lors du stockage de déchets est réalisée sur des lisiers. Néanmoins, elle est utilisée à titre comparatif.											

Titre	Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?
Réf.	Synthèse de l'étude INRA pour l'ADEME, le MAAF et le MEDDE - 2013
Auteurs	S. Pellerin, L. Barnière
Représentativité géographique	France
Objectif de l'étude	Choisir et analyser une dizaine d'actions d'atténuation des émissions liées à l'agriculture via un processus de sélection des actions en plusieurs étapes et s'appuyant sur une diversité de critères et une estimation des coûts/gains pour les agriculteurs



Etapes de du cycle de vie considérées	-												
Méthodologie	Bibliographie et enquêtes												
Données brutes utilisées dans la présente étude	<table><tr><td>CH₄</td><td>19,4%</td><td>% C total</td></tr><tr><td>N₂O</td><td>0,032 %</td><td>%N total</td></tr><tr><td>NH₃</td><td>4,3 %</td><td>%N total</td></tr><tr><td>CO₂</td><td>53,3 %</td><td>% C total</td></tr></table>	CH ₄	19,4%	% C total	N ₂ O	0,032 %	%N total	NH ₃	4,3 %	%N total	CO ₂	53,3 %	% C total
CH ₄	19,4%	% C total											
N ₂ O	0,032 %	%N total											
NH ₃	4,3 %	%N total											
CO ₂	53,3 %	% C total											
Remarque/pertinence pour la présente étude	Le scope d'étude de cette référence ne correspond pas au scope de l'étude réalisée étant donné que la quantification des émissions lors du stockage de déchets est réalisée sur des lisiers. Néanmoins, elle est utilisée à titre comparatif.												

Titre	Methane emission during on-site pre-storage of animal manure prior to anaerobic digestion at biogas plant: Effect of storage temperature and addition of food waste								
Réf.	Journal of environmental management – 2018, 225, 272-279								
Auteurs	L. Feng, A. J. Ward, V. Moset, H. B. Moller								
Représentativité géographique	Danemark								
Objectif de l'étude	Investiguer la dépendance à la température des émissions de CH4 pendant le pré-stockage de lisier avant la digestion anaérobie								
Etapes de du cycle de vie considérées	Stockage du lisier								
Méthodologie	Expérimentations laboratoire								
Données brutes utilisées dans la présente étude	<table><tr><td>CH4 (cattle manure)</td><td>0,55-1,7</td><td>kg/kgMB (à 25°C)</td></tr><tr><td>CH4 (pig manure)</td><td>2,5-4,5</td><td>kg/kgMB (à 25°C)</td></tr></table>			CH4 (cattle manure)	0,55-1,7	kg/kgMB (à 25°C)	CH4 (pig manure)	2,5-4,5	kg/kgMB (à 25°C)
CH4 (cattle manure)	0,55-1,7	kg/kgMB (à 25°C)							
CH4 (pig manure)	2,5-4,5	kg/kgMB (à 25°C)							
Remarque/pertinence pour la présente étude	Le scope d'étude de cette référence ne correspond pas au scope de l'étude réalisée étant donné que la quantification des émissions lors du stockage de déchets est réalisée sur des lisiers. Néanmoins, elle est utilisée à titre comparatif.								

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE FILIERES DE TRAITEMENTS BIOLOGIQUES DES DECHETS DE CUISINE ET DE TABLE : COMPOSTAGES ET METHANISATIONS

La LTECV du 17 août 2015 prévoit que tous les particuliers disposent d'une solution pratique de tri à la source de leurs DCT avant 2025. Dans ce contexte, l'ADEME a souhaité comparer l'intérêt environnemental, par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de différentes filières de traitement biologiques des déchets alimentaires : par compostage domestique, compostage partagé, compostage industriel, méthanisation à la ferme et méthanisation centralisée.

Il ressort de cette ACV que les impacts négatifs sur l'environnement sont principalement dus aux émissions azotées, phosphorées et carbonées au cours des procédés (compostage ou méthanisation) et lors de l'épandage du compost et du digestat. De plus, les pratiques d'épandage conditionnent fortement les impacts liés à la valorisation des composts et des digestats.

Concernant les impacts potentiellement évités, la valorisation agronomique du compost et des digestats est le principal levier qui permet de dégager des bénéfices environnementaux grâce à la substitution d'un amendement pour le compost, et d'un fertilisant pour le digestat. La production d'énergie dans le cas de la méthanisation présente également un intérêt significatif en termes d'impacts évités, en substitution au mix électrique dans le cas d'une valorisation par cogénération, et au gaz naturel lors d'une valorisation par injection.

La réalisation de cette ACV s'est appuyée sur des installations type et la comparaison de l'intérêt environnemental des filières entre elles n'est en aucun cas généralisable.

Les données récoltées pourront être utilisées sur un territoire donné, pour comparer plusieurs combinaisons possibles de ces filières qui ont vocation à coexister dans une optique d'optimisation territoriale. La prise en compte des conditions économiques, techniques et réglementaires sont essentielles lors de ces comparaisons.