



Impacts environnementaux de scénarios de traitements biologiques des déchets alimentaires : compostages et méthanisations

ADEME



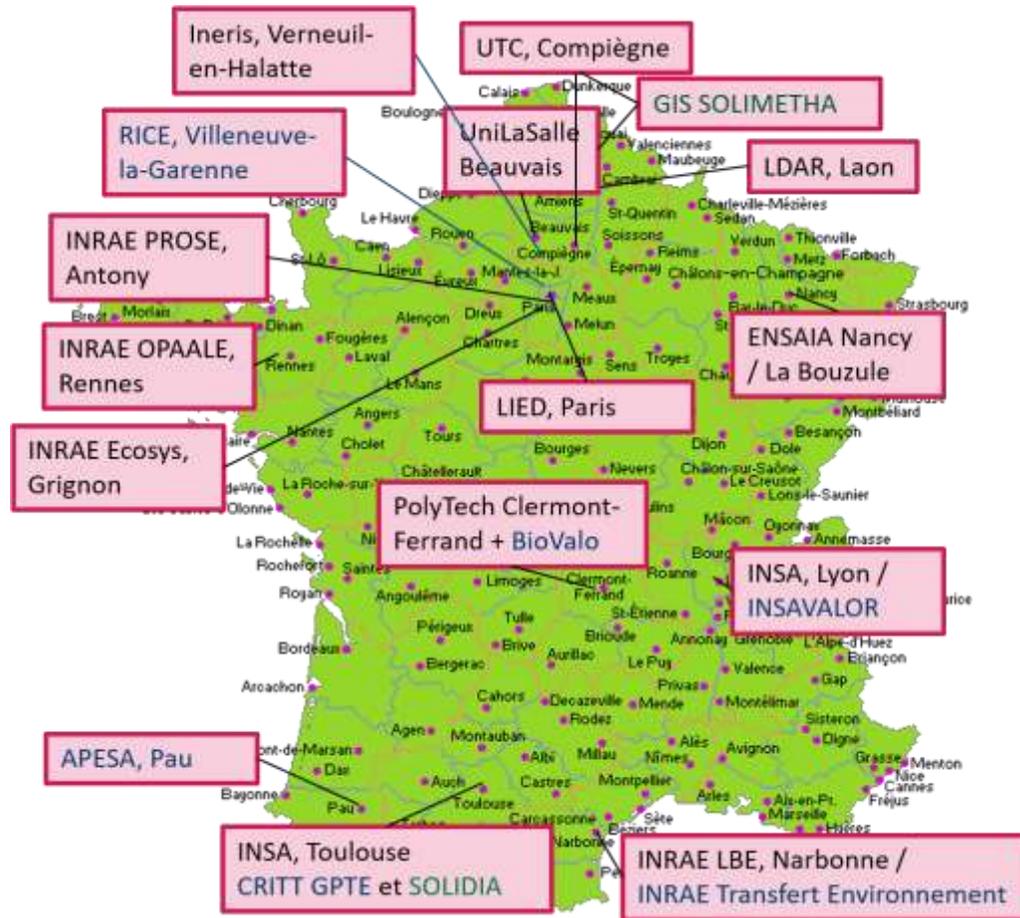
Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Audrey ROUSSEAU

16 mai 2022



Centre Technique national du Biogaz et de la Méthanisation



- Réseau des laboratoires
- Vecteur de diffusion des connaissances (InfoMétha.org et [webinaires](#))
- Co-organisateur des [Journées Recherche Innovation](#)
- GT : Valorisation du CO₂, Formations, Bouclage des cycles des nutriments
- Entité du Club Biogaz de l'ATEE, basée à La Défense
- Soutenu par l'ADEME depuis 2019

Déroulement de la présentation

- Objectifs et champ de l'étude
- Présentation des paramètres retenus pour chaque filière
- Résultats de l'ACV & Interprétation
- Analyses de sensibilité

Objectifs



Comparer par la méthode ACV l'**intérêt environnemental** de différentes filières de traitement biologique par **compostage** ou par **méthanisation des déchets alimentaires**.



Avoir une vision globale des impacts environnementaux des filières



Quantifier les impacts



Identifier les paramètres clés



Produire des résultats pédagogiques diffusables à différents publics

Type de déchets considérés

- **Définition DCT = Déchets organiques de table et de cuisine.**
- **Les DCT produits par les industries agroalimentaires, les grandes et moyennes surfaces, les artisans ou encore les marchés sortent du cadre de l'analyse. Il a été choisi de cibler uniquement les DCT des ménages.**
- **Ces DCT peuvent être produits par les ménages ou par des structures publiques et privées de la restauration collective. Ils contiennent de la viande et du poisson.**

Filières de traitement retenues

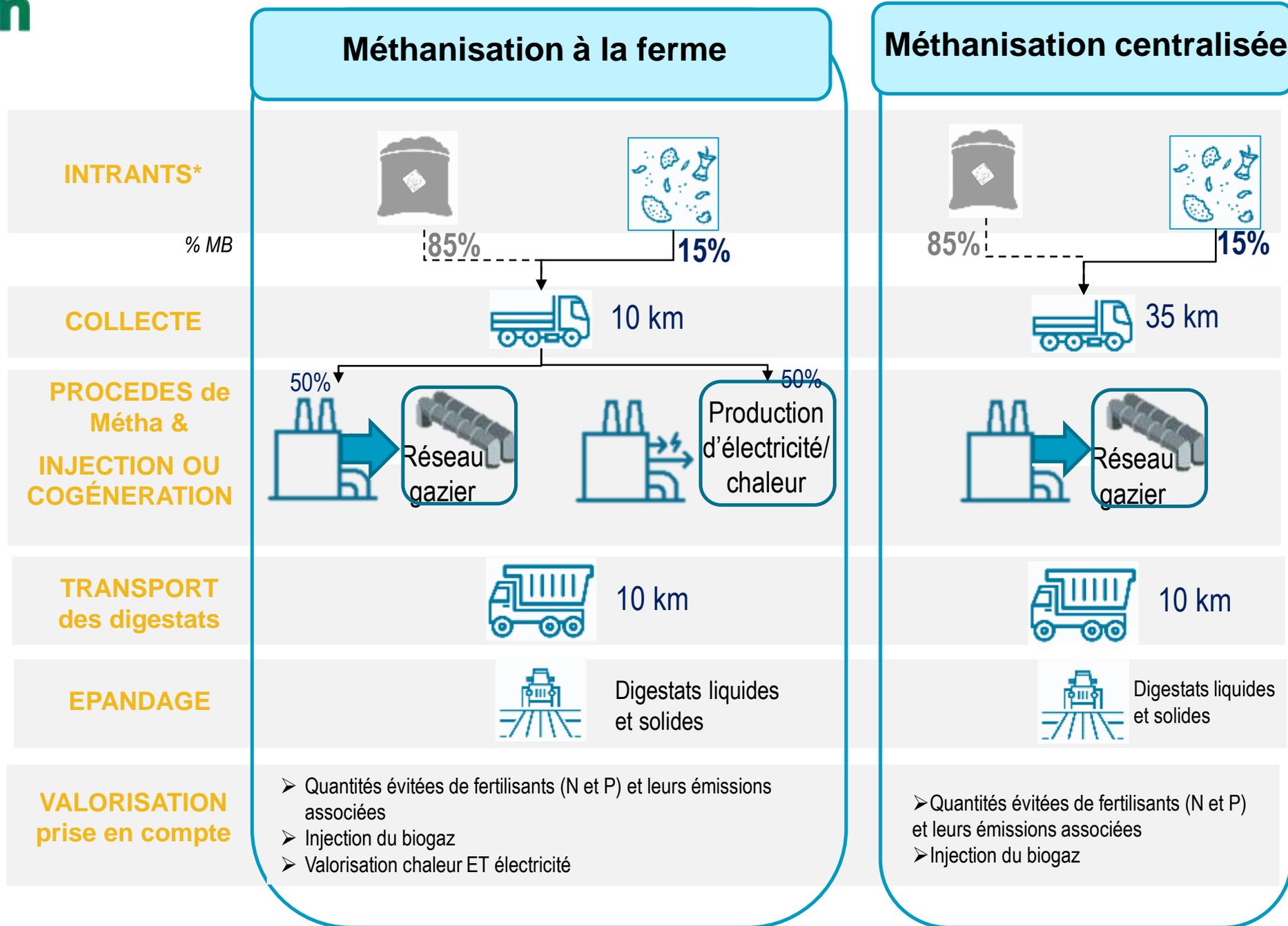
COMPOSTAGE

1. Compostage domestique
2. Compostage partagé
3. Compostage industriel

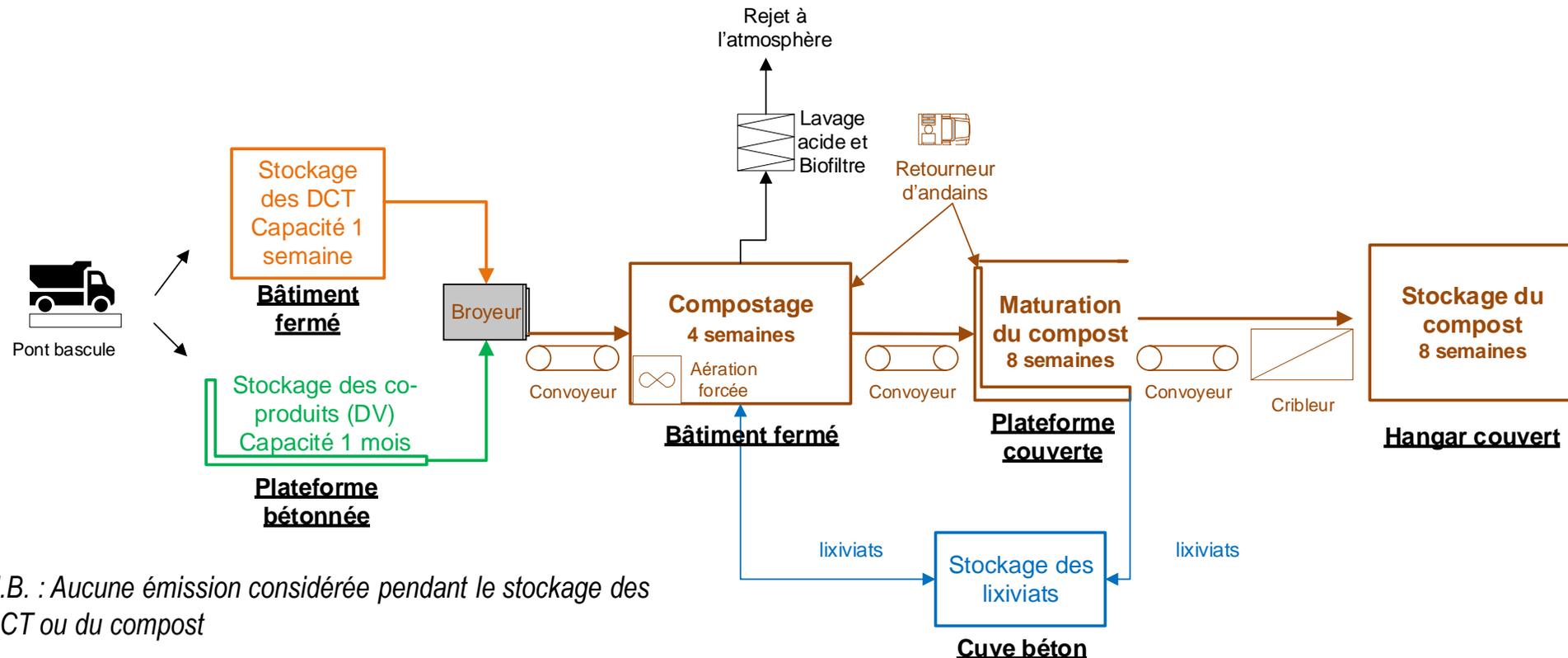
METHANISATION

4. Méthanisation à la ferme cogénération
5. Méthanisation à la ferme injection
6. Méthanisation centralisée injection

	Compostage domestique	Compostage partagé	Compostage industriel
INTRANTS*			
% MB	50% 50%	33% 67%	65% <i>dont 50% structurant</i> 35%
COLLECTE			33 km
PROCEDE	300 L	3 * 600 L 	
TRANSPORT			10 km
VALORISATION	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	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Stockage de carbone dans le sol ➤ Valorisation de la MO (tourbe évitée)

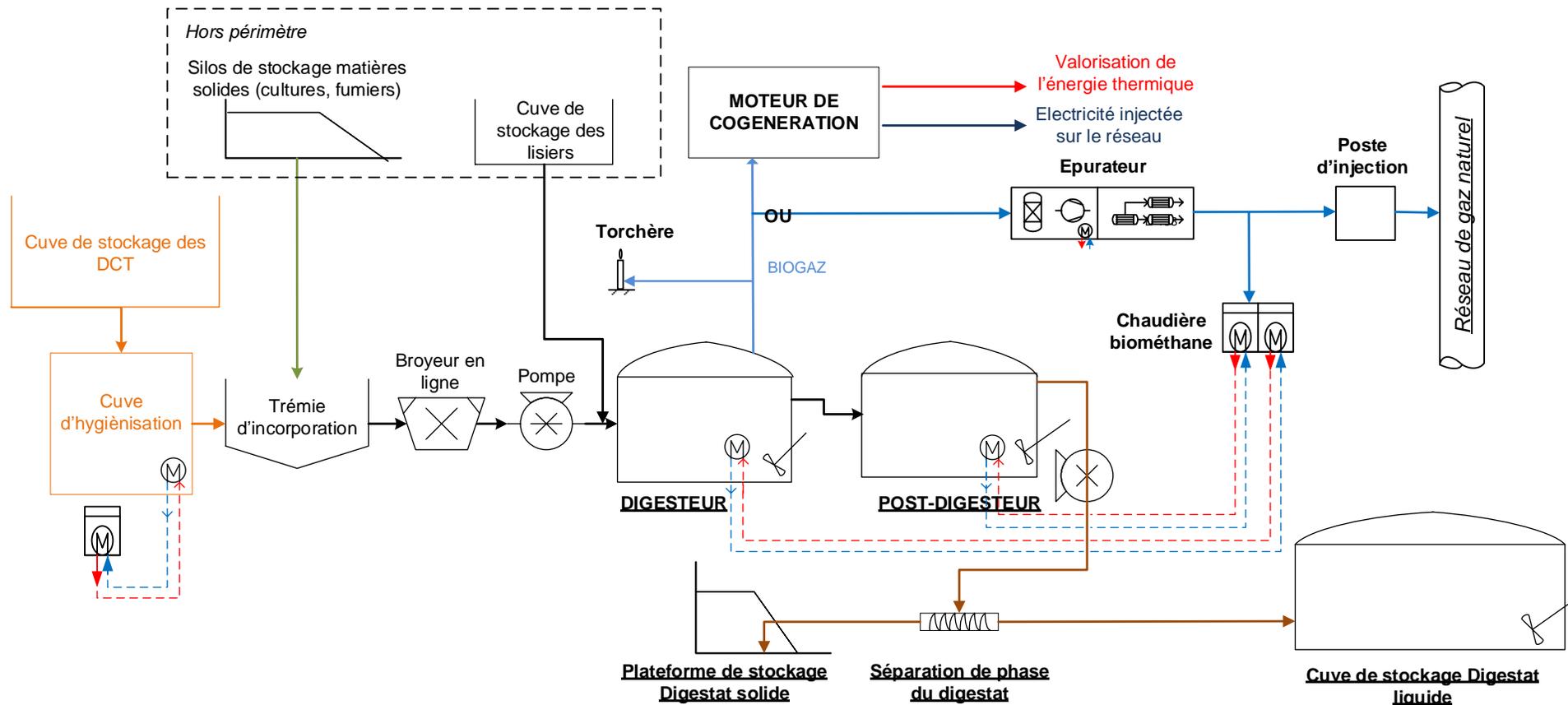


- Tonnage traité : 35% de DCT (1000 t/an) / 65% de déchets verts
- La moitié des DV sont structurants = considérés comme ne se dégradant pas
- Impacts : infrastructures, consommations d'électricité et carburant, émissions dans l'air pendant le processus de compostage ; Pas d'émissions dans l'eau : récupération des lixiviats pour le compostage



N.B. : Aucune émission considérée pendant le stockage des DCT ou du compost

- Tonnage traité : 15 000 t/an, dont 6000 t de DCT
- Puissance : 310 kW cogénération OU 80 Nm³/h en injection
- Impacts : infrastructures, consommation d'électricité et carburant, émissions dans l'air lors du stockage (DCT et digestat), fuites de biogaz



Préambule à la présentation des résultats

Fonctions et unité fonctionnelle

- Compostage & méthanisation **sont multifonctionnels** or les frontières définies des systèmes en ACV doivent permettre d'assurer la même fonction.

→ Fonction commune et principale retenue ici =
traiter en fin de vie de déchets de cuisine et de table.

UF : « traiter une quantité de 1 kg de DCT »

- **L'ACV se focalise sur les impacts environnementaux liés au traitement des DCT**
 - Aspects sociaux, sociétaux et économiques non pris en compte
 - Exemple : acceptabilité, création d'emploi et type d'emploi, renforcement du lien social, coûts de traitement, adaptabilité et évolution des systèmes...
 - Certains impacts environnementaux mal connus ou difficiles à quantifier
 - Exemple : intérêts agronomiques induits des composts et des digestats sur la qualité des sols à long terme, pratiques d'épandage...
- **Certains impacts indirects sortent du cadre de l'ACV**
 - ACV **attributionnelle** et pas conséquentielle
 - Exemple : réduction des volumes de déchets à collecter ou à traiter, évolution du mix énergétique à l'avenir...
- **Approche territoriale : comparaison théorique des 5 filières alors que ces différentes filières ont plutôt vocation à coexister**
 - jamais 100% des DCT d'un territoire en compostage individuel ou partagé,
 - possibilité de traiter des DCT en méthanisation uniquement si autres substrats disponibles et projet ou installation de méthanisation existant,
 - Choix du compostage industriel dépendant du mode de traitement des déchets verts existants, ...

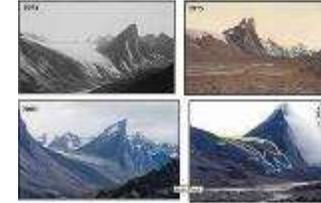
L'ACV est une méthode de calcul multicritère.

La méthode choisie pour le projet est composée des indicateurs d'impacts **potentiels** suivants :



Changement climatique CC (Kg CO2 eq)

Caractérise les émissions de gaz à effet de serres (tels que le dioxyde de carbone (CO2) ou le méthane (CH4)) engendrant des phénomènes climatiques extrêmes



Destruction de la couche d'ozone OD (kg CFC11 eq)

Caractérise l'amincissement voire une disparition de cette couche qui résulte d'un déséquilibre entre la production et la destruction de l'ozone dans la stratosphère.



Formation d'O3 photochim. Ox. Phox. (kg NMVOC eq)

Caractérise la formation d'O3 à partir des réactions chimiques se produisent en présence de rayons ultraviolets émis par le Soleil avec des composés chimiques d'origines naturelles ou humaines (NOx, COV, CO, SO2)





Acidification AC (Mol H⁺ eq)

Caractérise les émissions acidifiantes telles que NO_x, SO_x responsables de la dégradation de milieux aquatiques, du dépérissement des forêts...



Eutrophisation eau douce *Eutro ED* (Kg P eq)

Caractérise les émissions de Phosphore (PO₄³⁻, H₂PO₄⁻, ...), responsables de la prolifération d'algues en milieux d'eau douce



Eutrophisation marine *Eutro Mar.* (Kg N eq)

Caractérise les émissions d'azote (NH₃, NO₃⁻, NO_x, ...) responsables de la prolifération d'algues en milieu marin





Energie Conso Ener (MJ)

Diminution de la disponibilité des ressources énergétiques en raison de leur utilisation en dehors du taux de renouvellement



Epuisement des ressources minérales ERM (kg Sb eq)

Représente la consommation de ressources énergétiques fossiles (l'uranium, le gaz naturel...)

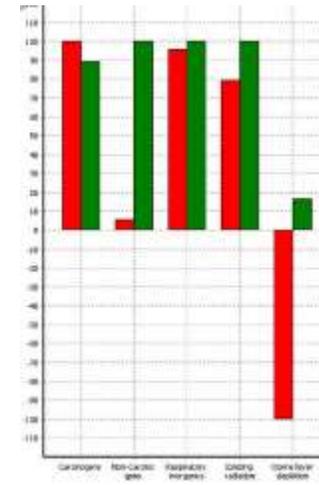
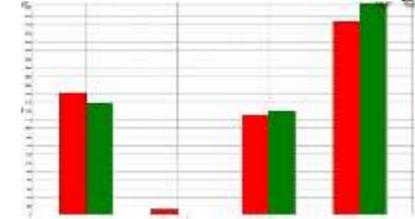


Présentation des résultats

Les résultats sont séparés en termes

- d'impacts générés >0 (liés à l'emploi des matières premières et émissions),

Contribution aux impacts pour chaque filière & comparaison entre elles



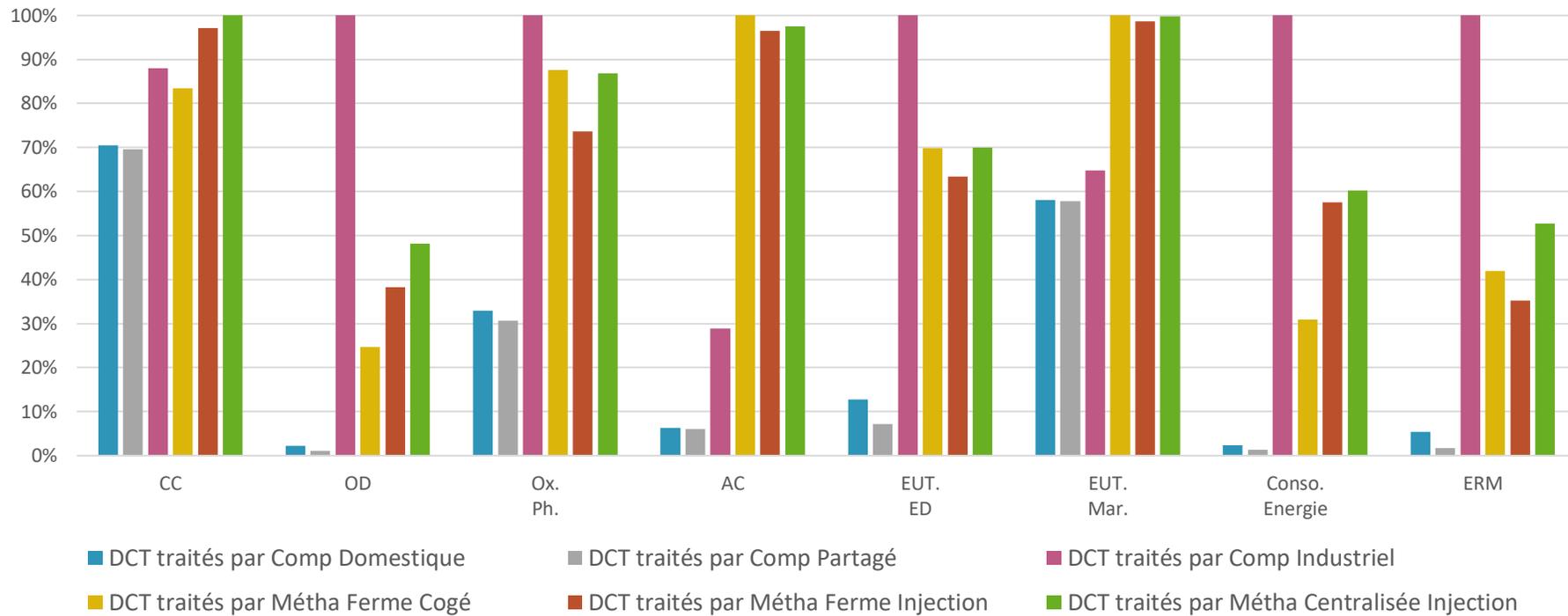
- d'impacts évités <0 (liés à la substitution potentielle des produits)

Contribution aux impacts pour chaque filière & comparaison entre elles

- ➔ impacts agrégés (somme des impacts générés et évités).

Comparaison des filières

IMPACTS GÉNÉRÉS



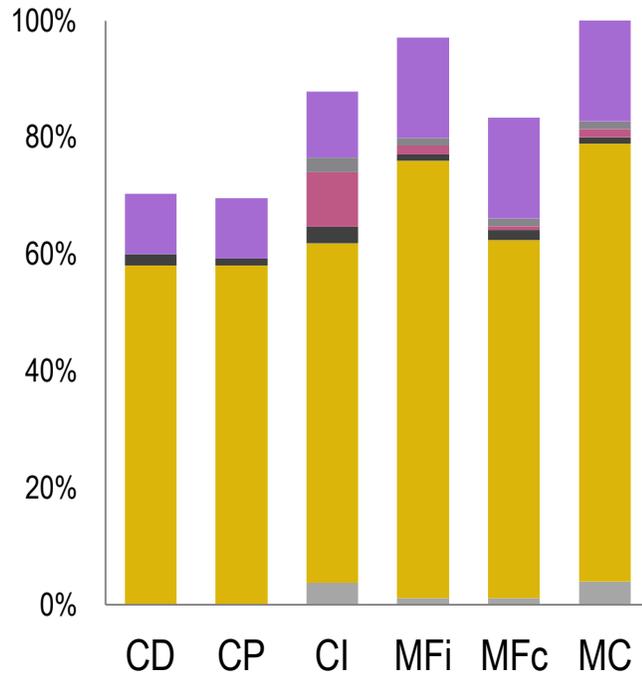
La filière de compostage industriel est la plus impactante sur la majorité des indicateurs (5/8)

Les filières de compostage domestique et partagé semblent les moins impactantes.

Les filières méthanisation sont les plus impactantes sur les indicateurs CC, Ac, et eut marine.

Les 3 filières méthanisation sont généralement assez proches en termes d'impacts excepté pour la conso d'énergie où la filière MÀF cogénération se démarque par son impact plus faible.

Comparaison des filières sur l'indicateur Changement Climatique



Les 5 filières ont des impacts proches vis-à-vis du CC

POUR TOUTES LES FILIÈRES :

Les émissions lors du processus sont les plus contributrices:

- émissions de N_2O pour les filières compostage
- émissions de CH_4 (et de NH_3) pour les filières méthanisation (resp. lors de la digestion & du stockage des digestats)

Les émissions lors de l'application au sol sont les 2^e contributrices : principalement le N_2O

POUR LA FILIERE COMPOSTAGE INDUSTRIEL :

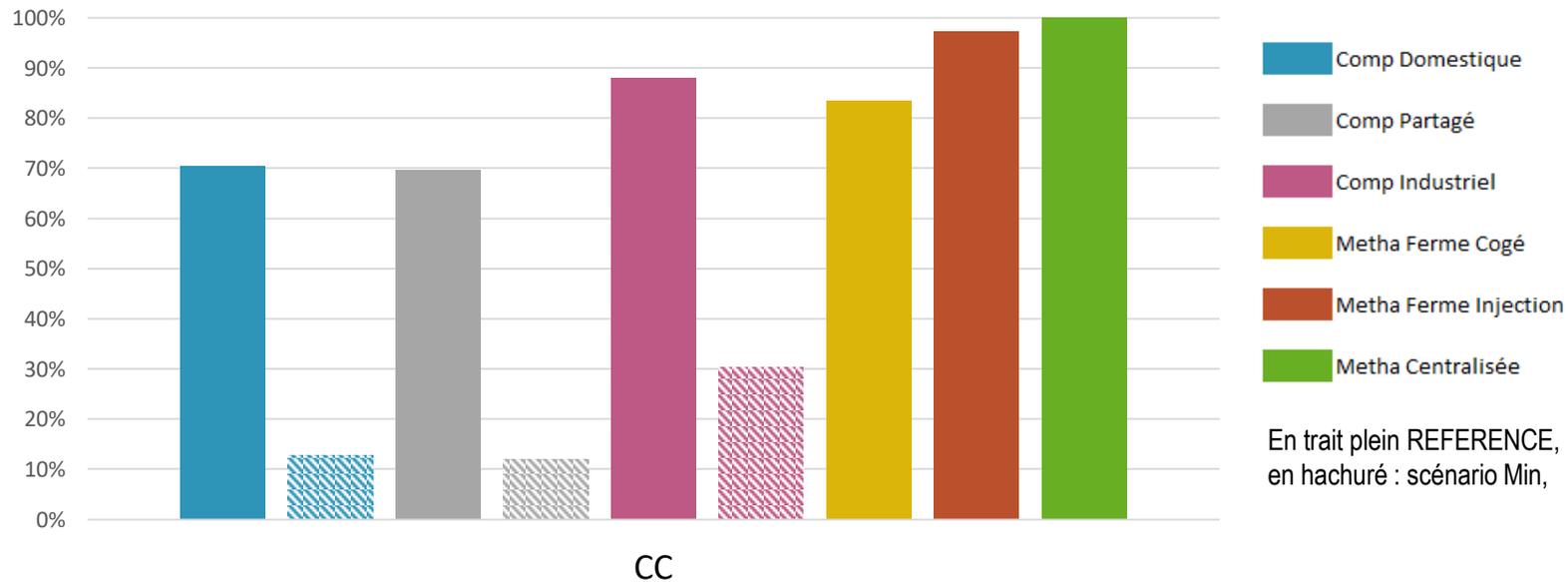
L'énergie consommée sur la plateforme de compostage représente 10% de l'impact de la filière CI :

- Effet pénalisant de l'hypothèse DV structurant & Effet d'échelle : plus d'énergie consommée ramenée à la tonne traitée que pour la méthanisation

Analyse de sensibilité: émissions de N₂O lors du processus de compostage ; Impacts générés

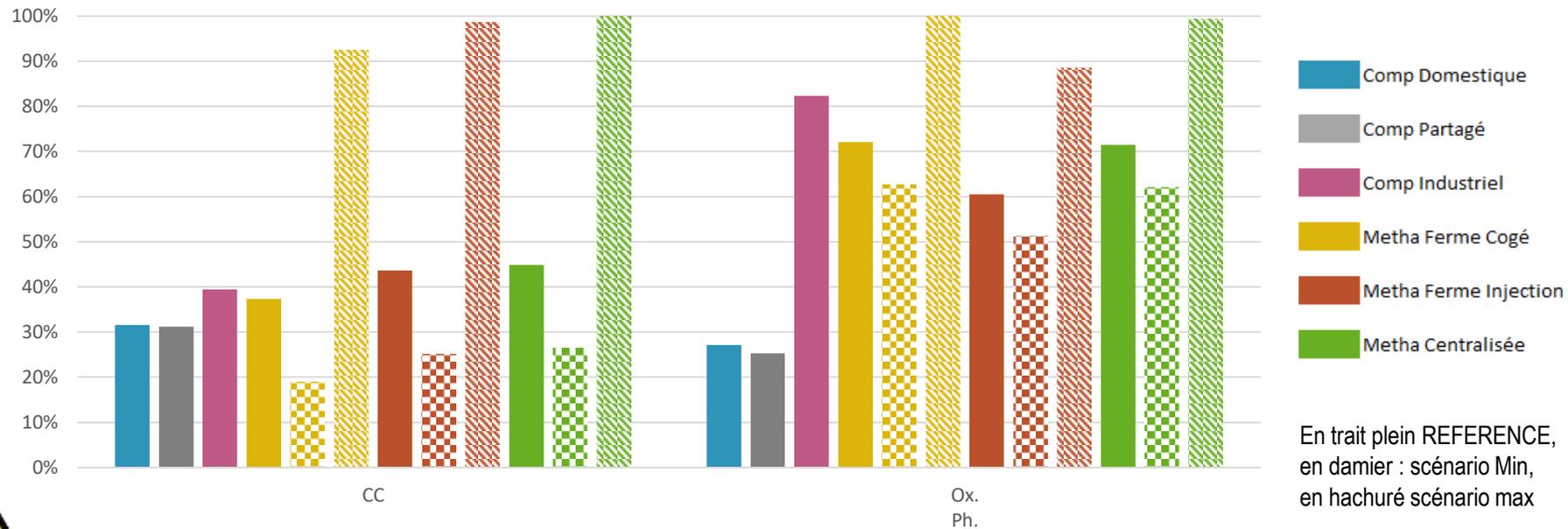
{REF=0,36 ; MIN=0}

Filières de méthanisation plus impactantes si émissions de N₂O=0 lors du compostage, sur le CC

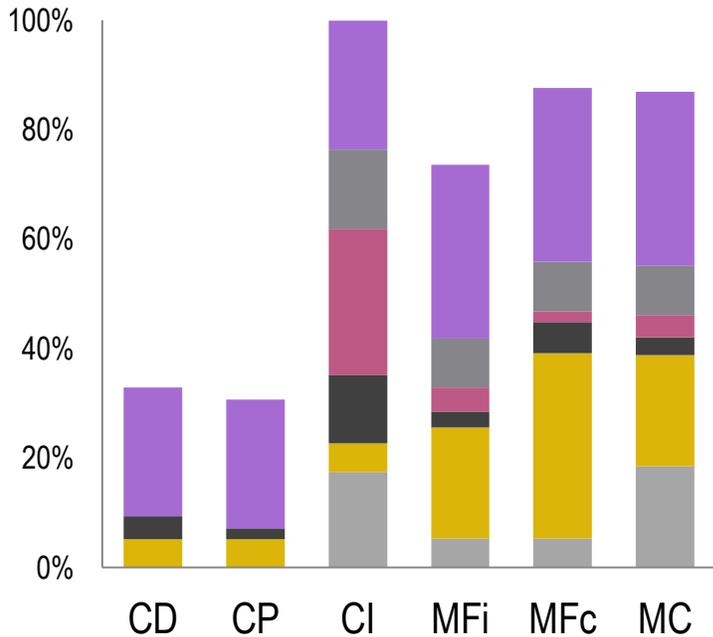


Analyse de sensibilité: fuites de CH₄ (filières méthanisation; Impacts générés) {REF=5% ;MIN=0% ; MAX=20%}

Filières de méthanisation plus impactantes avec fuites à 20% sur le CC et Ox. Ph.



Hypothèse forte d'un taux de fuite de 5% de méthane pour le scénario de référence



POUR TOUTES LES FILIÈRES :

Les émissions lors de l'application au sol sont l'un des 2 premiers contributeurs (NOx)

POUR LES FILIERES DE METHANISATION :

Les émissions lors du processus de méthanisation sont les plus contributrices pour la filière Méthanisation à la Ferme injection : émissions de CH₄ (lors de la digestion)

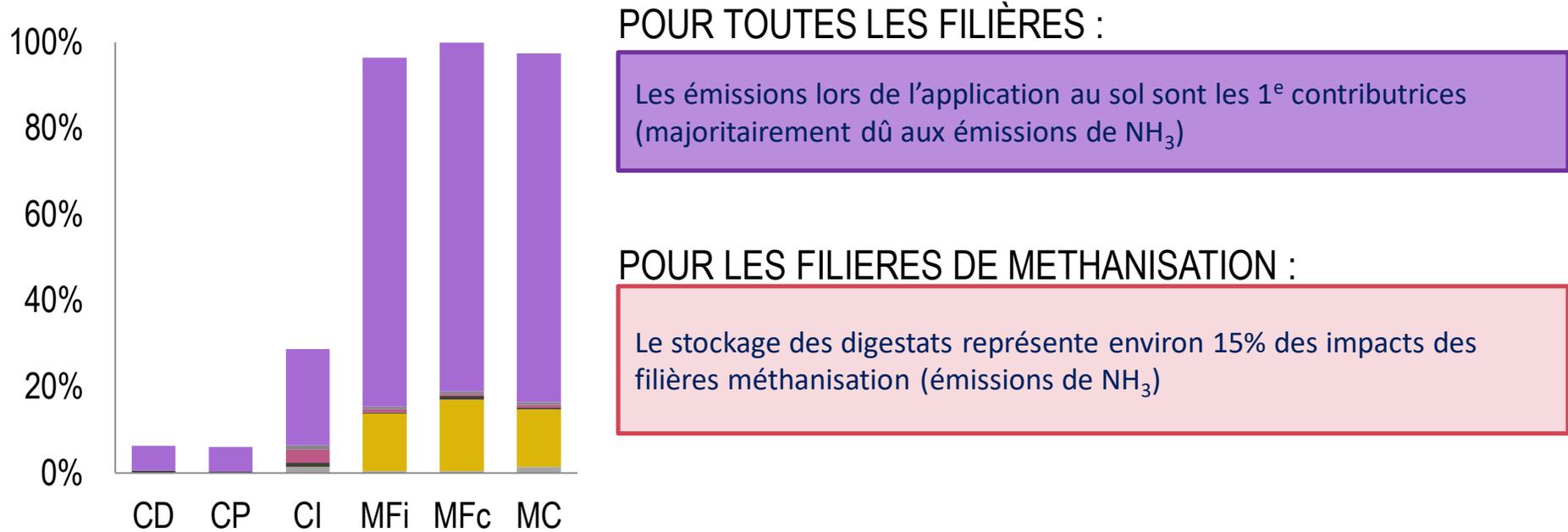
POUR LA FILIERE COMPOSTAGE INDUSTRIEL :

L'énergie consommée sur la plateforme de compostage est le 1^e contributeur et représente 24% de l'impact de la filière CI

POUR LES FILIERES INDUSTRIELLES :

Pour les filières Compostage Industriel et Méthanisation Centralisée le transport des DCT représente plus de 17% de leurs impacts

Transport DCT
 Emissions procédé
 Equipement/infra
 Conso Energie/consommables
 Transport aval
 Application au sol

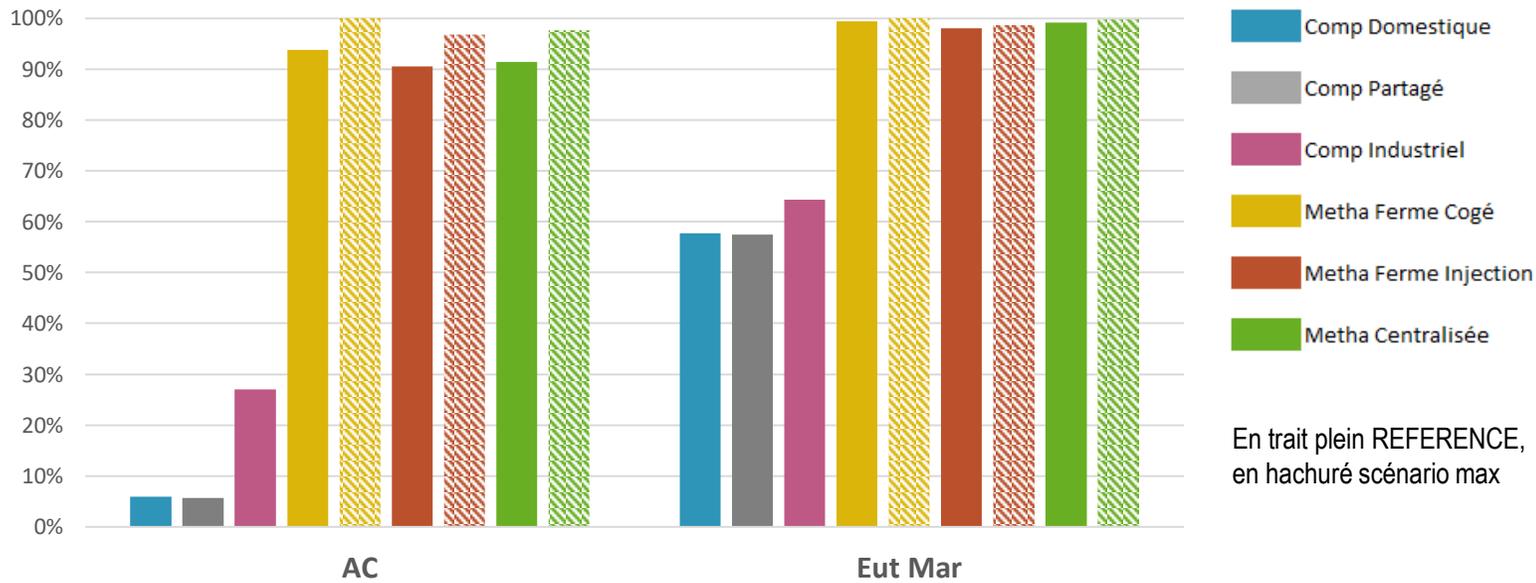


Les filières de méthanisation ont un impact supérieur aux autres filières

■ Transport DCT
■ Emissions procédé
■ Equipement/infra
■ Conso Energie/consommables
■ Transport aval
■ Application au sol

Analyse de sensibilité: émissions NH₃ lors du stockage digestats (filères méthanisation; Impacts générés) {REF=couvert, MAX= non couvert}

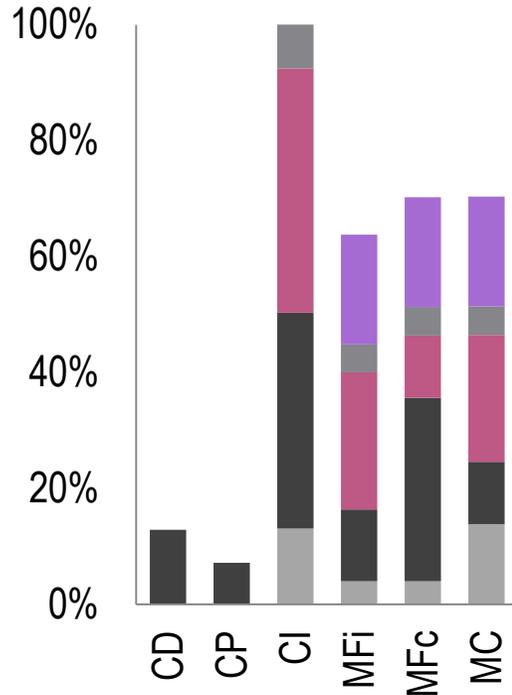
Stockage digestats couvert ou non → Pas de modification des conclusions comparatives entre filières.



POUR LES FILIERES DE METHANISATION :

L'épandage au champ représente 20% de l'impact :
lixiviations de P (apport de digestats liquides)

→ N.B. : pas de lixiviation P considérée pour l'apport au sol des composts ou digestats solides (modèle SALCA P)



POUR LES FILIERES COMPOSTAGES DOM ET PARTAGE :

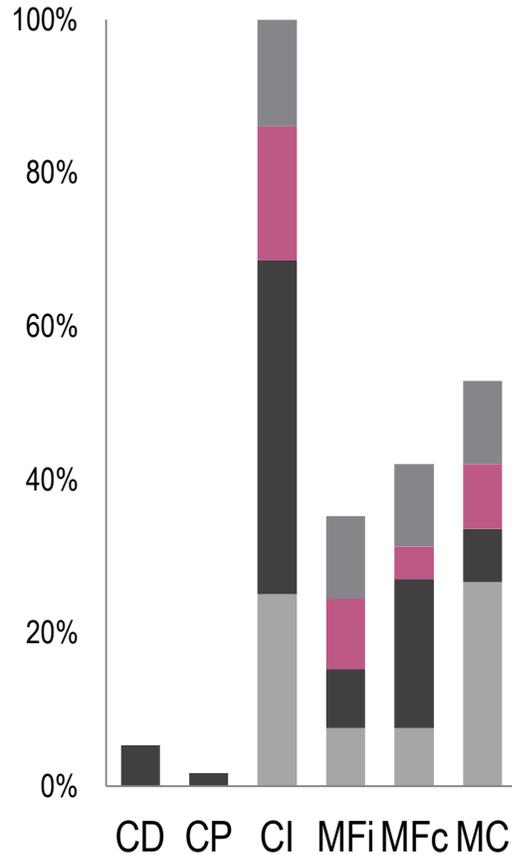
Très peu de flux entrants → l'équipement ressort en contribution.

POUR LA FILIERE COMPOSTAGE INDUSTRIEL :

L'énergie et les infrastructures de la plateforme de compostage sont les premiers contributeurs de la filière CI

La filière compostage industriel a un impact supérieur aux autres filières

■ Transport DCT ■ Emissions procédé ■ Equipement/infra ■ Conso Energie/consommables ■ Transport aval ■ Application au sol



POUR LES FILIERES INDUSTRIELLES :

Pour les filières Compostage industriel (CI) et méthanisation centralisée (MC)
 les transports amont et aval des matières (DCT/compost ou digestats) représentent resp. 39% et 72% de leurs impacts sur l'ERM

POUR LA FILIERE COMPOSTAGE INDUSTRIEL :

Les infrastructures de la plateforme de compostage sont les premiers contributeurs de la filière CI : 44%
 → Effet pénalisant de l'hypothèse DV structurant & Effet d'échelle

Transport DCT
 Emissions procédé
 Equipement/infra
 Conso Energie/consommables
 Transport aval
 Application au sol

Impacts généérés par les filières de compostage

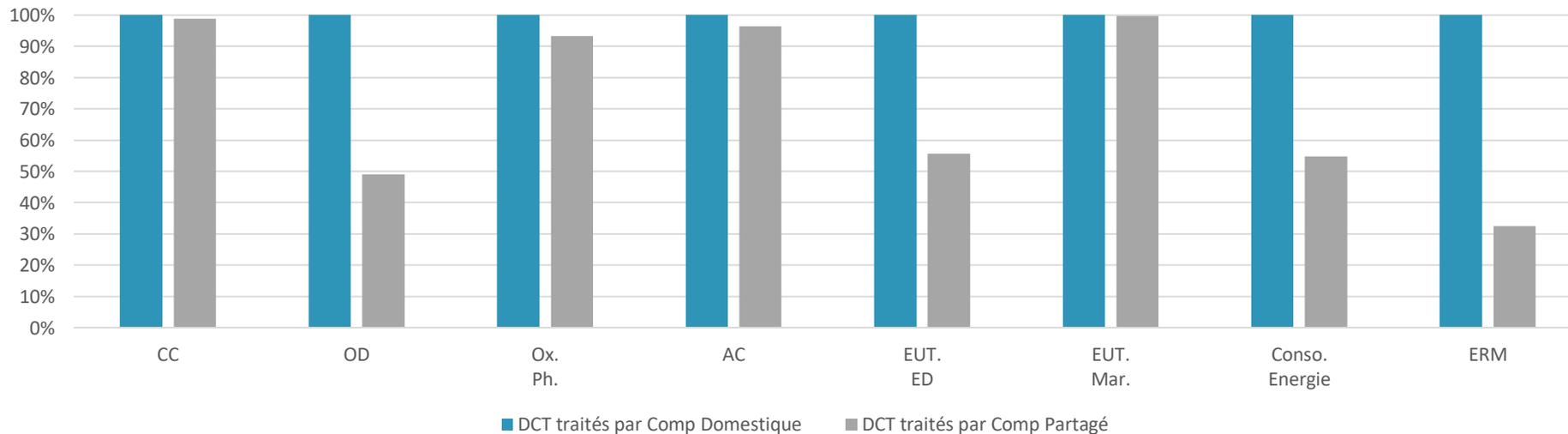
Principaux Enseignements

Les principaux contributeurs sont :

1. **processus de compostage** (émissions de N₂O)
2. **application du compost au sol** (émissions azotées)
3. **plateforme de compostage** (conso d'énergie)
4. **collecte amont des DCT** (maintenance du camion)

} Uniquemt
Comp Indus

Profils semblables pour les filières **compostage domestique** (CD) et compostage **partagé** (CP)
MAIS Impacts générés (CD) >> Impacts générés (CP)



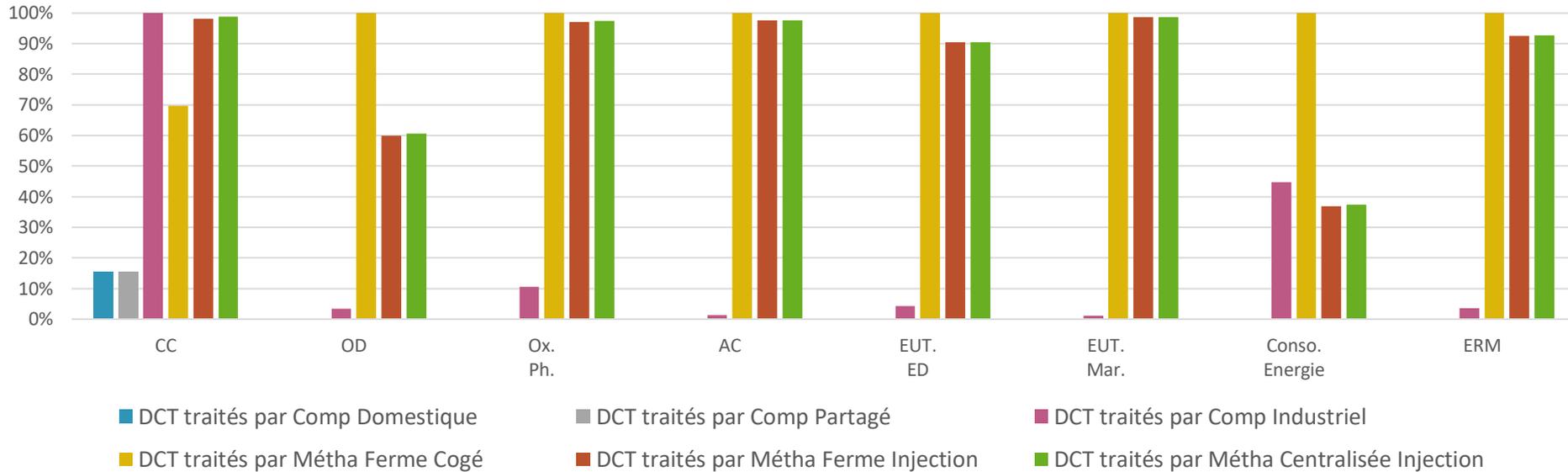
Impacts généérés par les filières de Méthanisation Principaux Enseignements

Les principaux contributeurs sont :

1. **L'épandage des digestats** (émissions de NH_3 et lixiviation P)
2. **Emissions du processus de méthanisation** (émissions CH_4)
3. **Energie du processus de méthanisation** (conso d'énergie)
4. **Transports amont et aval** (maintenance du camion)

IMPACTS EVITÉS

Comparaison entre les impacts évités des filières



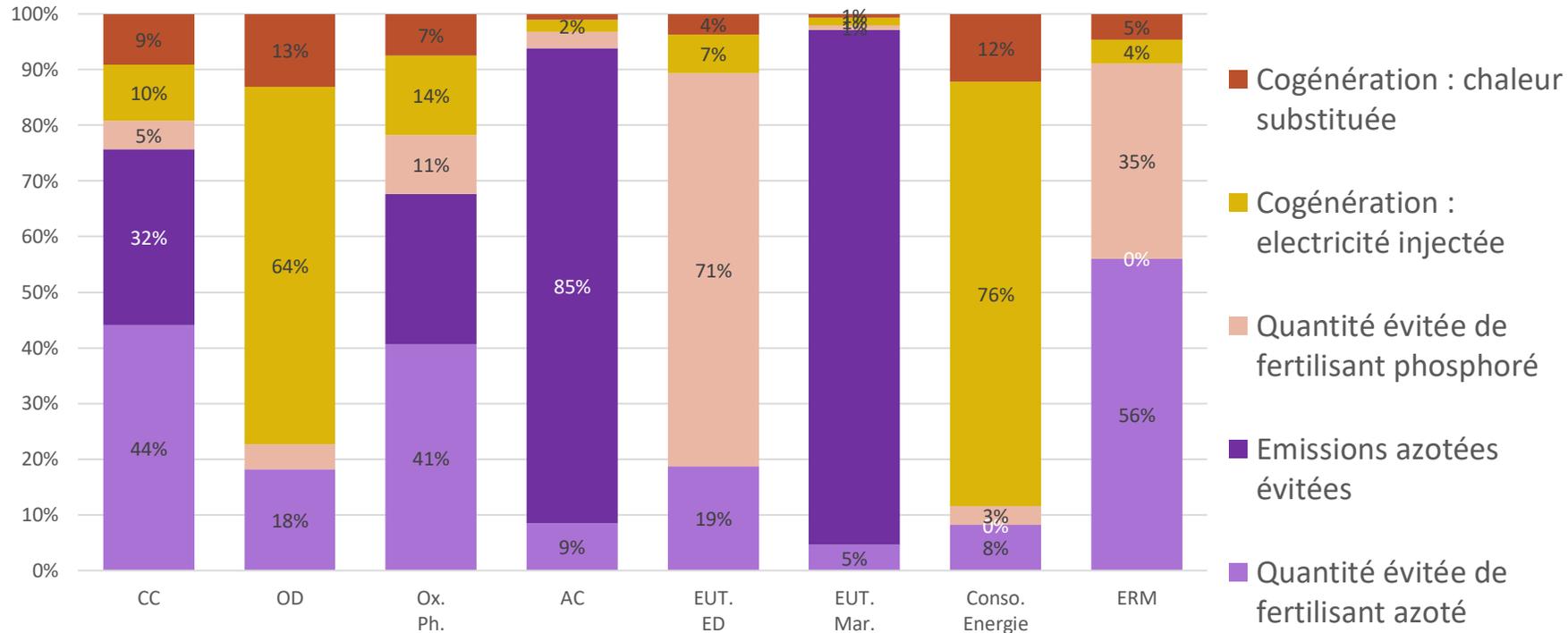
Impacts évités (filières méthanisation) >>> Impacts évités (filières compostage)

- Peu d'impacts évités pour Compostage domestique et partagé : uniquement stockage de carbone dans le sol.
- Compostage industriel : quantité évitée de tourbe génère la majorité des impacts évités.

Impacts évités (filières méthanisation COGENERATION) > Impacts évités (filières méthanisation INJECTION)

- Significatif sur les indicateurs OD et Conso. Energie
- Sauf pour l'indicateur CC où les impacts évités sont supérieurs en injection

Distribution des impacts évités pour la filière Méthanisation à la Ferme Cogénération



Principaux contributeurs aux impacts évités :

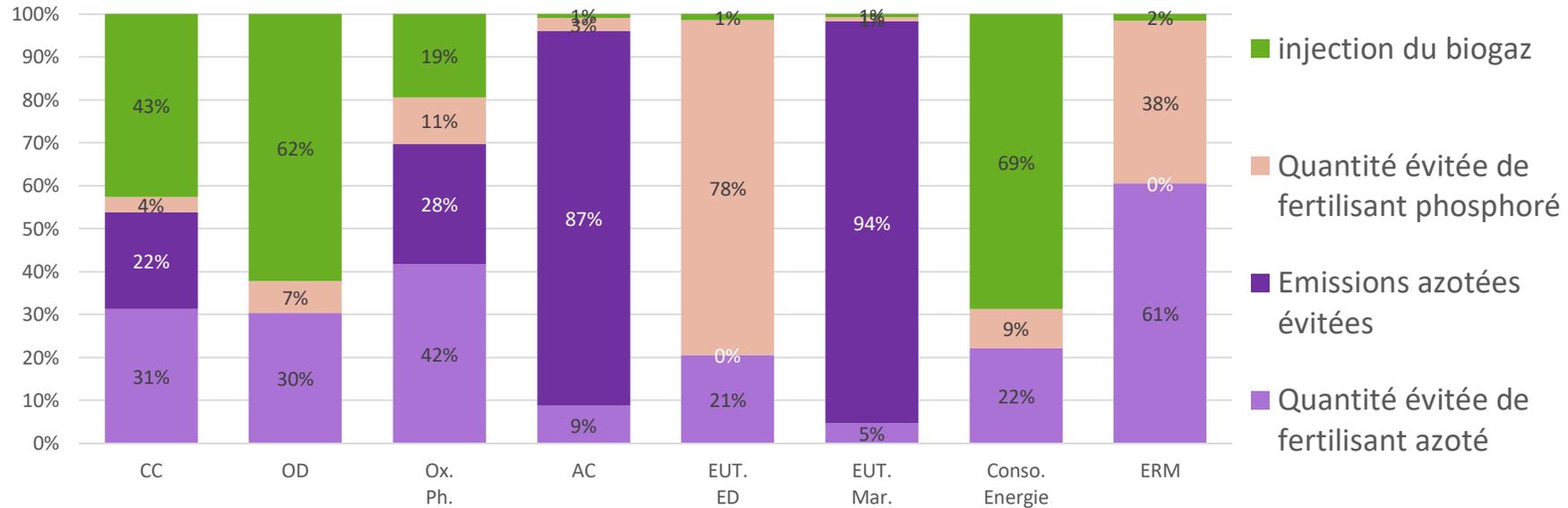
- La valorisation du contenu azote des digestats
- La valorisation du contenu phosphore des digestats
- La cogénération



On substitue au mix français électrique alors qu'en pratique si on substitue c'est pour moduler les pointes de consommation : remplacement du fioul et du charbon (émettrices en CO₂)

Distribution des impacts évités pour la filière Méthanisation à la Ferme Injection

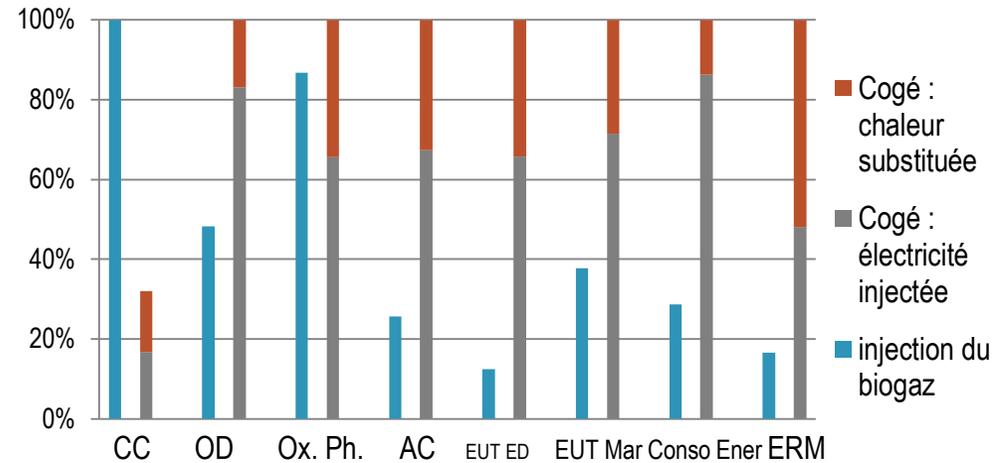
Même profil entre M à F injection et Métha Centralisée



Principaux contributeurs aux impacts évités :

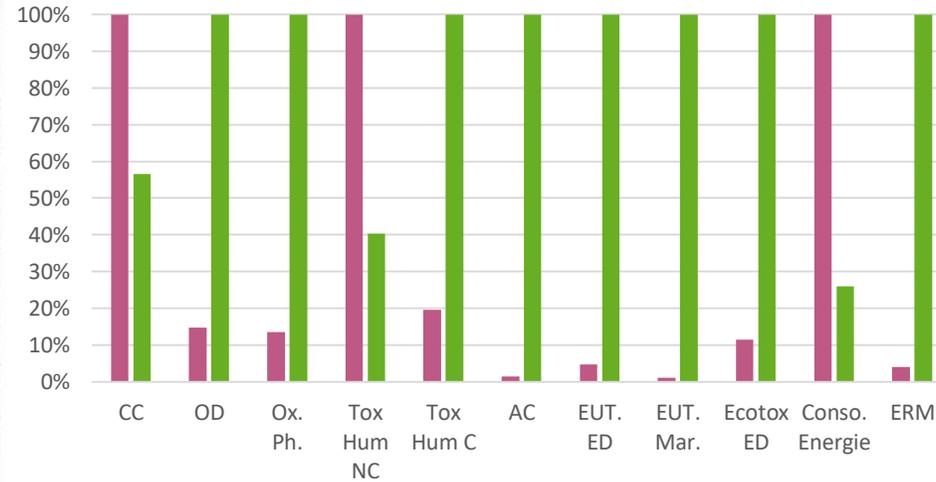
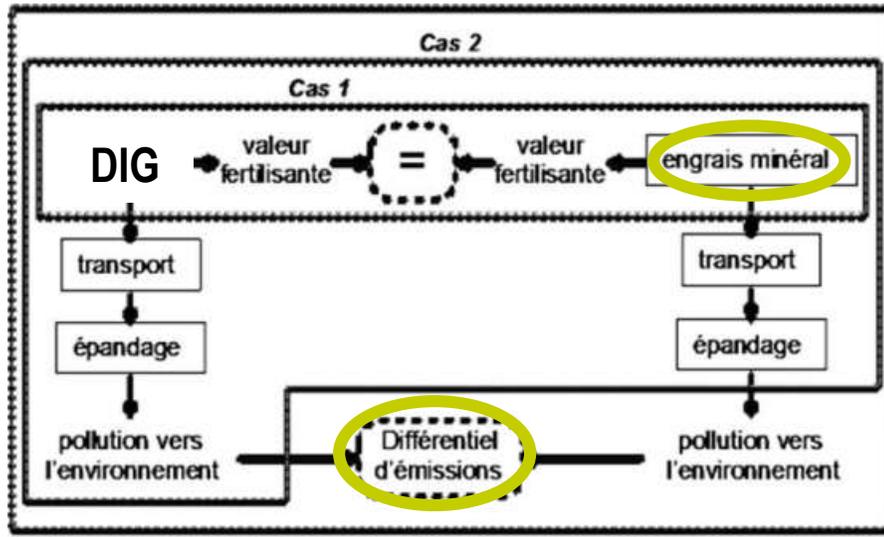
- La valorisation du contenu azote des digestats
- La valorisation du contenu phosphore des digestats
- L'injection du biogaz produit

Impacts évités potentiels (Cogé) >> Impacts évités (injection)



On substitue au mix français électrique alors qu'en pratique si on substitue c'est pour moduler les pointes de consommation : remplacement du fioul et du charbon (émettrices en CO₂), cette hypothèse augmenterait les bénéfices de la cogénération sur le CC

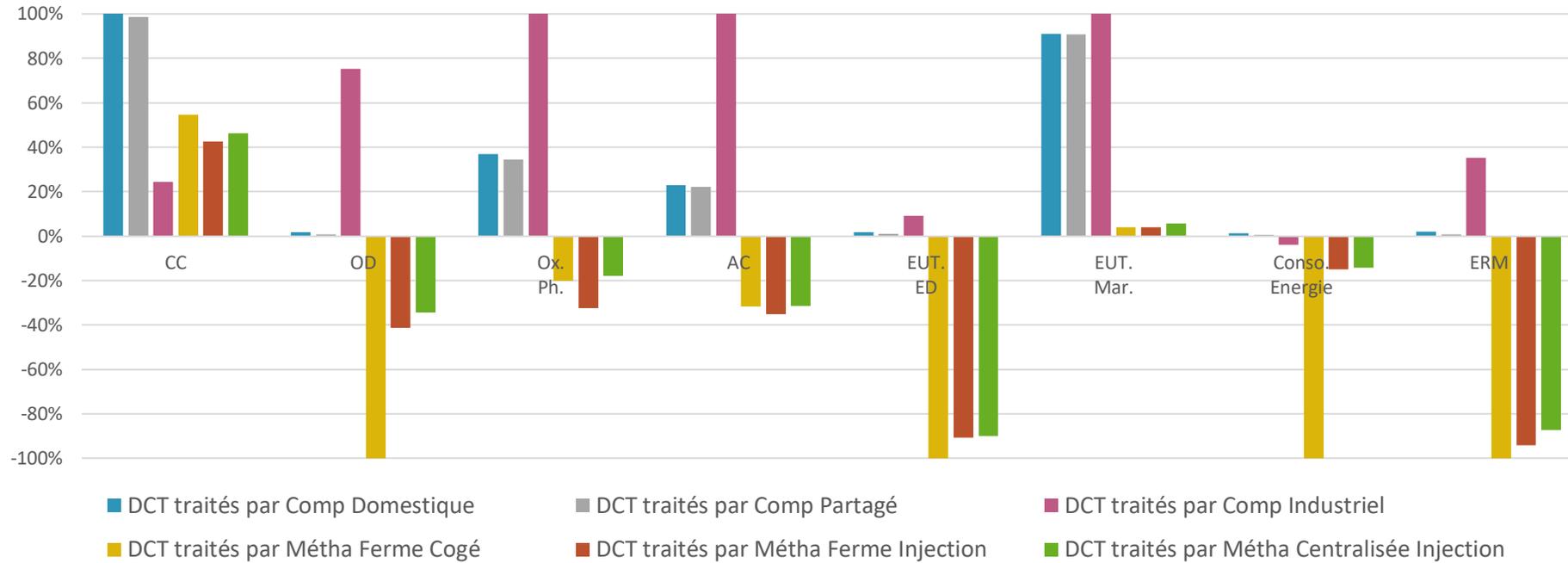
Substituer un engrais plutôt qu'un amendement est **plus intéressant** d'un point de vue environnemental



Valorisation agronomique digestat en substitution d'engrais >> Valorisation compost en substitution tourbe

- Pour 8 indicateurs sur 11

RÉSULTATS AGRÉGÉS



Indicateur changement climatique : filières compostage domestique et partagé plus impactantes
(très faible impact évité pris en compte pour ces filières)

Impacts agrégés (filieres méthanisation) <<< Impacts agrégés (filieres compostage)
 sur les indicateurs liés à la valorisation des digestats et du biogaz (forts impacts évités)

CONCLUSIONS

Conclusions – Filières de Compostage

La **filière de compostage industriel est la filière significativement la plus impactante** sur 4 indicateurs (OD, AC, Ox. Ph. et ERM)

- Les impacts potentiels évités par la substitution de tourbe ne compensent pas les impacts générés liés :
 - A l'énergie consommée sur la plateforme
 - Aux émissions lors de l'épandage
 - Aux infrastructures

Ces **résultats sont à prendre avec précaution** dans la mesure où ils sont liés à la typologie de plateforme prise en compte et aux hypothèses retenues pour cette filière.

Pour les filières de compostage domestique et partagé :

- Sur l'indicateur changement climatique, elles sont significativement plus impactantes que les autres filières
- Impacts potentiels évités uniquement lié au stockage de carbone dans le sol : ne compensent pas l'impact généré
- Sur les autres indicateurs, elles **sont moins impactantes que le compostage industriel mais plus que la méthanisation.**
- Ces 2 filières génèrent en effet moins d'impacts que les autres filières, mais ne bénéficient pas d'impacts évités.

Conclusions – Méthanisation

La **méthanisation permet de dégager davantage d'impact évités que le compostage** en raison des quantités évitées d'engrais liées au valorisation des digestats (N et P) et de l'énergie valorisée (biogaz)

- Ainsi, les impacts agrégés pour les filières méthanisation se dégagent comme « bénéfiques » sur la majorité des indicateurs

Ces **résultats sont à prendre avec précaution** dans la mesure où ils sont liés à la prise en compte d'impacts **POTENTIELS évités**.

L'épandage est le principal levier bénéfique (bien qu'il génère des impacts sur AC, Eut. Et Ox. Ph.)

- Avec des « mauvaises pratiques » d'épandage, les filières de méthanisation deviennent plus impactantes que les filières de compostage sur les indicateurs changement climatique, Acidification et Eutrophisation ED.

➤ **Les 3 filières de méthanisation ont des impacts proches** sauf pour 2 indicateurs (OD et Conso. d'énergie) où la méthanisation à la ferme par cogénération présente un impact bénéfique plus important,

Sur l'indicateur changement climatique, les fuites de biogaz pour les filières de méthanisation et les émissions de N₂O pour les filières compostage sont les 1^{ères} contributrices

- Un taux de fuites supérieur pourrait dégrader l'intérêt environnemental des filières méthanisation par rapport aux scénarios de compostage. Par ailleurs les impacts « bénéfiques » des scénarios méthanisation deviennent des impacts néfastes sur l'environnement sur les indicateurs Ox PH. & AC.

Cependant la valeur de référence s'avère élevée, et la valeur de fuites supérieure prise en compte en analyse de sensibilité (20%) est celle d'une installation avec une soupape enclenchée en permanence.

- Des taux d'émissions de N₂O nuls pourraient améliorer l'intérêt environnemental des filières compostage.

Cependant la valeur de référence s'avère être justifiée et a été discutée avec des experts chercheurs de l'IRSTEA.

➤ Fortes variations des impacts pour les filières de méthanisation liés aux pratiques d'épandage (CC, AC, Eut ED).

Les pratiques d'épandage sont très influentes et sont difficiles à appréhender en raison de la variabilité des pratiques d'épandage

➤ Forte influence de la prise en compte de la substitution ou non à des engrais

C'est pourquoi il est essentiel de considérer les résultats sur les 3 plans : impacts générés, impacts évités et impacts agrégés et de nuancer les conclusions sur les résultats des deux derniers types d'impacts.

Quelles potentielles suites à cette analyse comparative ?

Le traitement des DCT par méthanisation présente un intérêt environnemental à promouvoir

- Dans un contexte de développement d'installations à la ferme et centralisées sur les territoires urbains et ruraux
- Avec des conditions économiques, techniques et réglementaires à prendre en compte
- La maîtrise des taux de fuite de biogaz en méthanisation est à ne pas négliger sur les unités de méthanisation en fonctionnement

La valorisation agronomique du compost est un levier important pour les filières de compostage

- Le compostage domestique et partagé génèrent peu d'impacts, et permettent une **gestion à la source des DCT complémentaire aux filières impliquant une collecte.**
- Les données récoltées pour cette ACV pourront être utilisées pour une application sur un territoire donné, en comparant par exemple plusieurs combinaisons de filières possibles.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Merci de votre attention



L'énergie des déchets

Audrey ROUSSEAU
Responsable du pôle
méthanisation

rousseau@sol3d.com

Tel : +33 (0)2 51 17 82 91

Etude ADEME réalisée par S3D Ingénierie et EVEA

- ADEME : Isabelle DEPORTES, SMVD – DECD
- EVEA : Melissa Cornelus et Stéphane Lepochat



Experts de la revue critique :

- Lynda AISSANI, INRAE
- Doris BROCKMANN, INRAE Transfert
- Jean-Baptiste BAHERS : CNRS, Université de Nantes