

La méthanisation agricole

Jean-Pierre Jouany

Directeur de recherche honoraire INRAE
Vice-président de l'association GREFFE*
Membre du collectif national CSNM**

* GREFFE: GRoupe scientifiqUE de réFlexion et d'inFormation sur le développement durable

**CSNM: Collectif Scientifique National Méthanisation raisonnable

JP Jouany 25 juin 2025

Les différentes sources d'énergie utilisées en France

Consommation annuelle = **2 500 TWh**

- Gaz = **450 TWh**
- Electricité = **430 TWh**
- Pétrole = **750 TWh** (*Charbon = 75 TWh*)

Situation actuelle du biométhane (**2 000 méthaniseurs**)

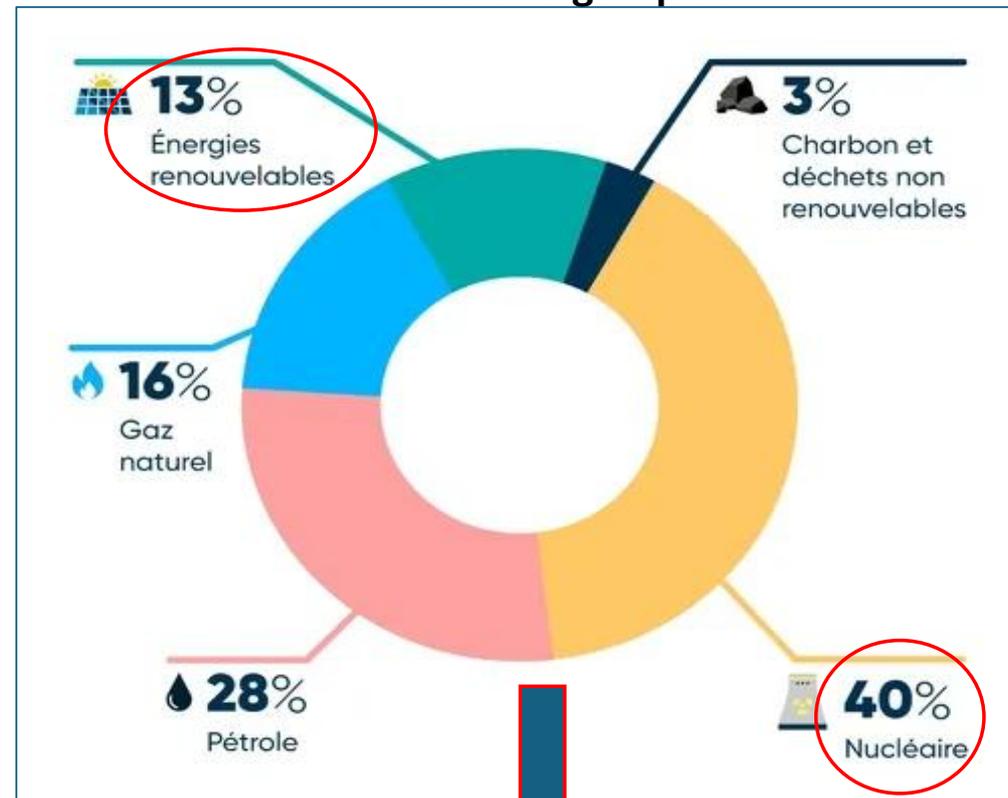
- Cogénération = **3 TWh**
- Injection = **9 TWh**

Total = **12 TWh** (*2,6% du gaz total*)
(*production de 2 réacteurs nucléaires*)

Prévisions de la PPE pour le biométhane (injecté)

- **50 TWh en 2030** (x 4 sur les 5 prochaines années !)
- **100 TWh en 2100** (x 8 sur les 75 prochaines années)

Sources énergétiques



47% d'origine fossile

- Site Méthamoly en 2019 ; site sur 1,5 ha Monts Lyonnais
- digesteurs de 2.500 m³ + cuve stockage de 3.500 m³
- 17.000 t MB/an (10.000 t fumier + déchets alimentaires coll sur 80 km)
- 125 m³ de biogaz/h ; 10⁶ m³/an injectés [**~ 10 GWh**]
- Investissement = 6,5 M€ (51% par 12 agriculteurs, 49% par EngieSuezMethaBio)



édit photo Michel Pérès/Auvergne-Rhône-Alpes/Méthamoly, St Denis sur Coise (42)

JP Jouany 25 juin 2025

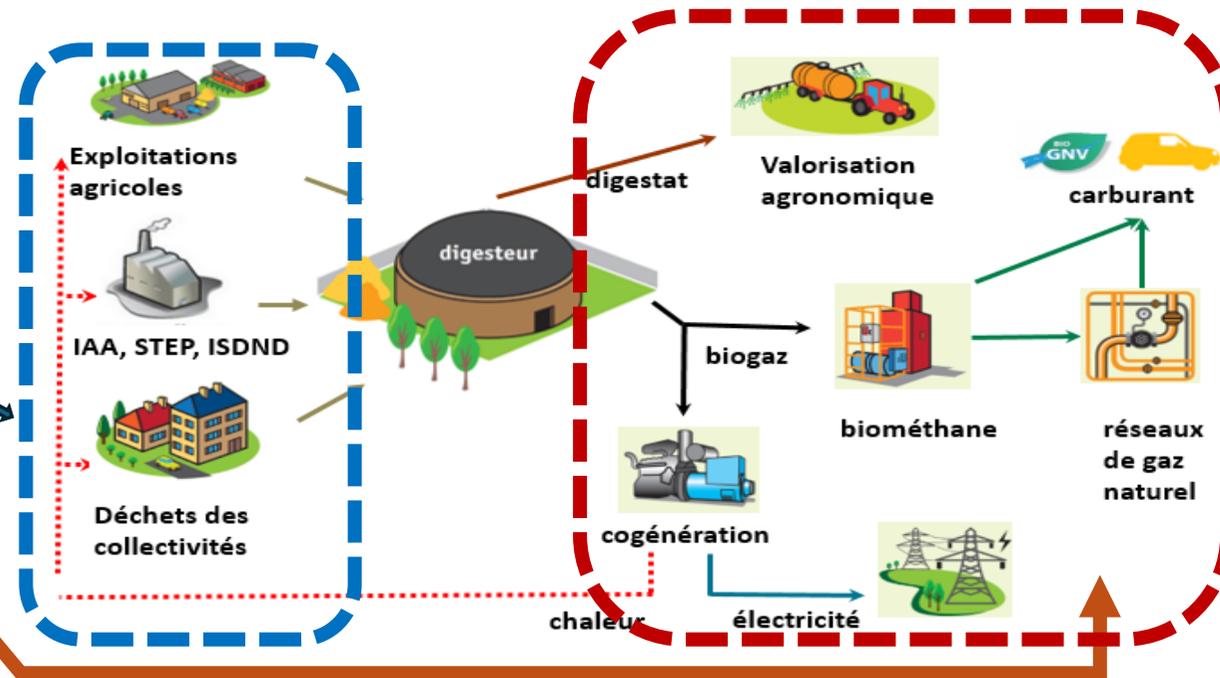
Les différents types de méthanisation et leur objectif

- Méthanisation **agricole** (90% de la production de biogaz) → **Produire de l'énergie**
- Méthanisation **de boues de STEP**
- Méthanisation **de déchets organiques industriels** → **Eliminer des déchets**
- Méthanisation **de déchets ménagers et biodéchets** (la prod. d'énergie n'est pas prioritaire)

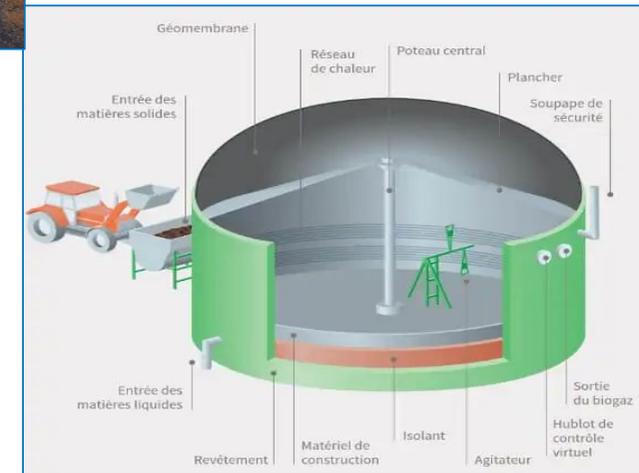
➤ Les cycles de vie de ces 2 types de méthanisation sont très différents sur :

- la partie « amont » du digesteur
- la partie « aval » du digesteur

→ la gestion globale du système



La 1^{ère} étape de la méthanisation : les intrants agricoles (préparation, récolte, transport, stockage des intrants)



La 2^{ème} étape de la méthanisation : *le digesteur*

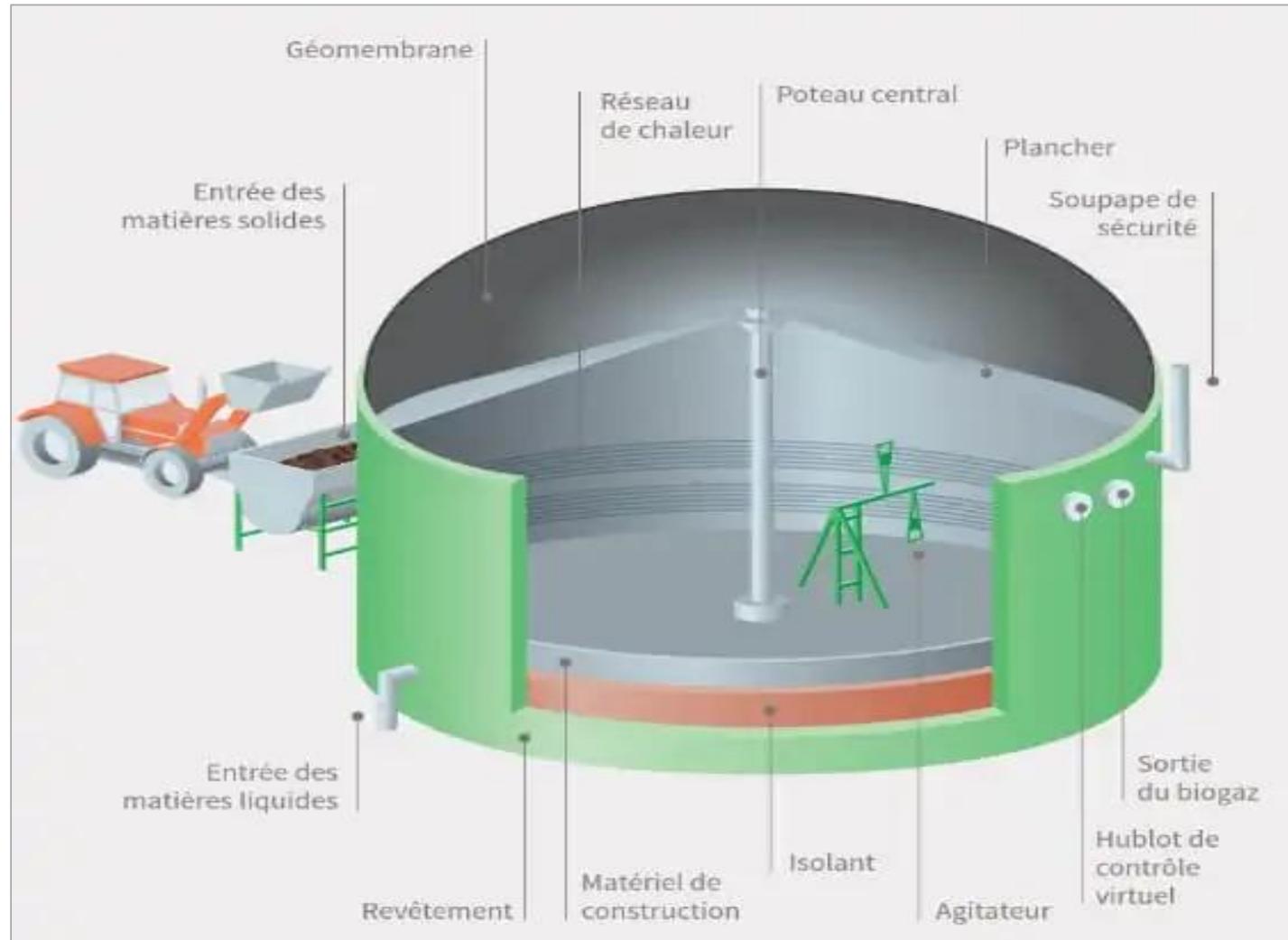
Volume du digesteur : 2 500 à 7 000 m³

➤ Fraction liquide

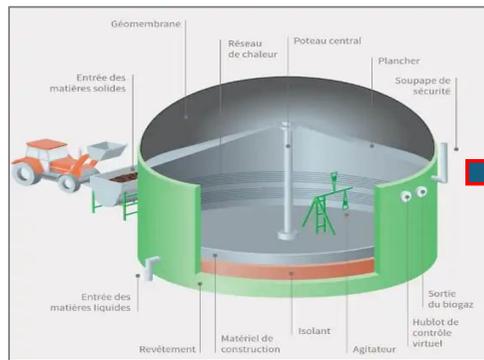
- contenu liquide : **95% d'eau**
- à **39°C** (mésophile) ; à **50°C** (thermophile)
- **absence totale d'oxygène**
- **homogénéisé par agitation**

➤ Fraction gazeuse

- débit : **120 à 500 litres/h**
- composée de **50-60% méthane**
+ **40-50% CO₂** + traces H₂O, H₂S, siloxanes



La 3^{ème} étape de la méthanisation : Epuration « biogaz » en « biométhane » + injection



Gaz

50-60% CH₄
+ 40-50% CO₂
(H₂O)

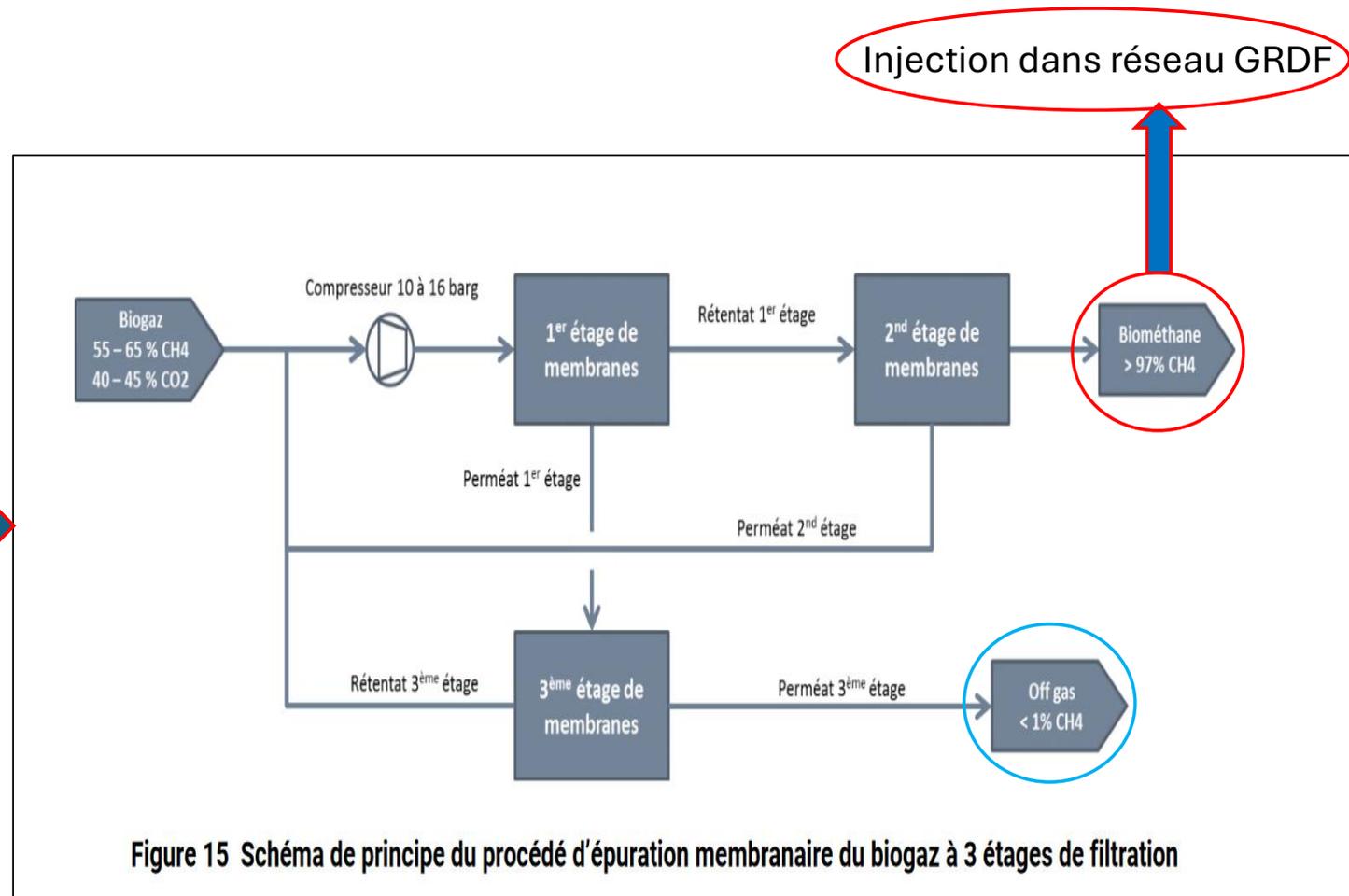
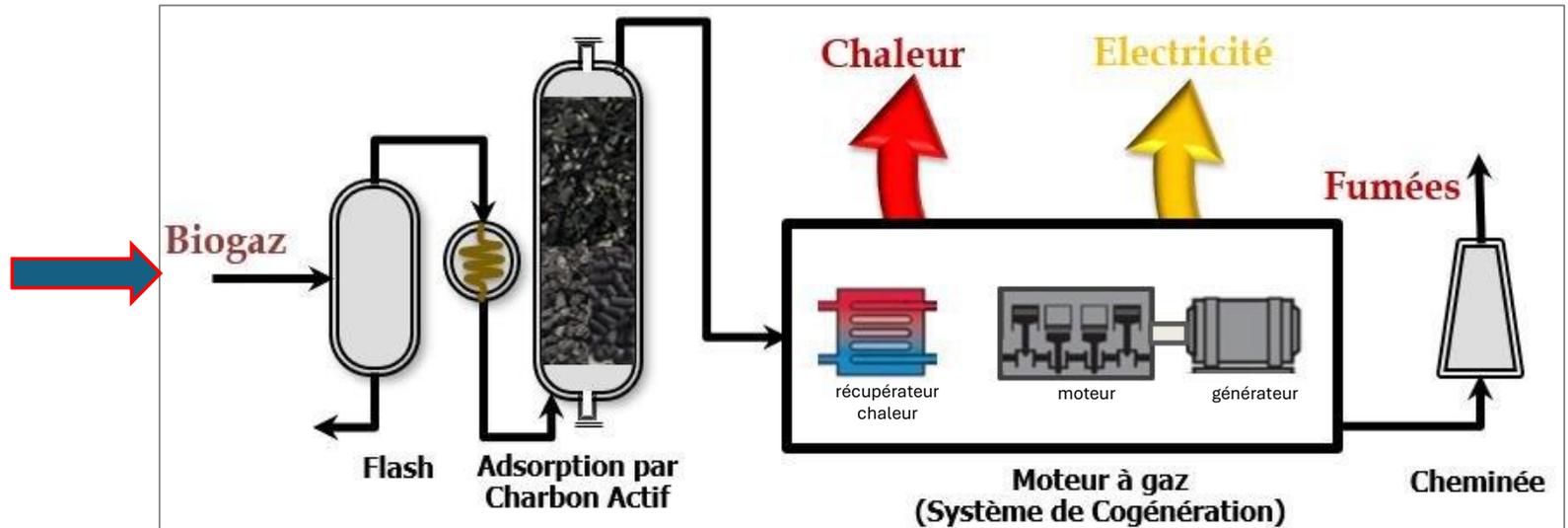
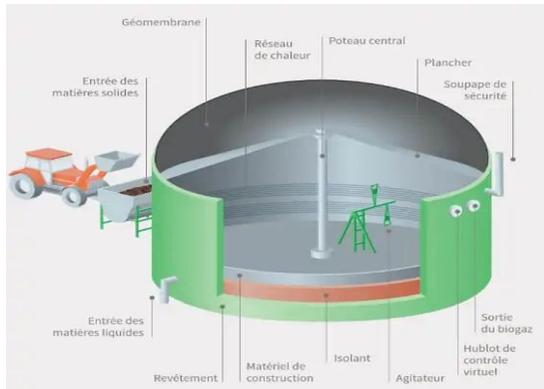
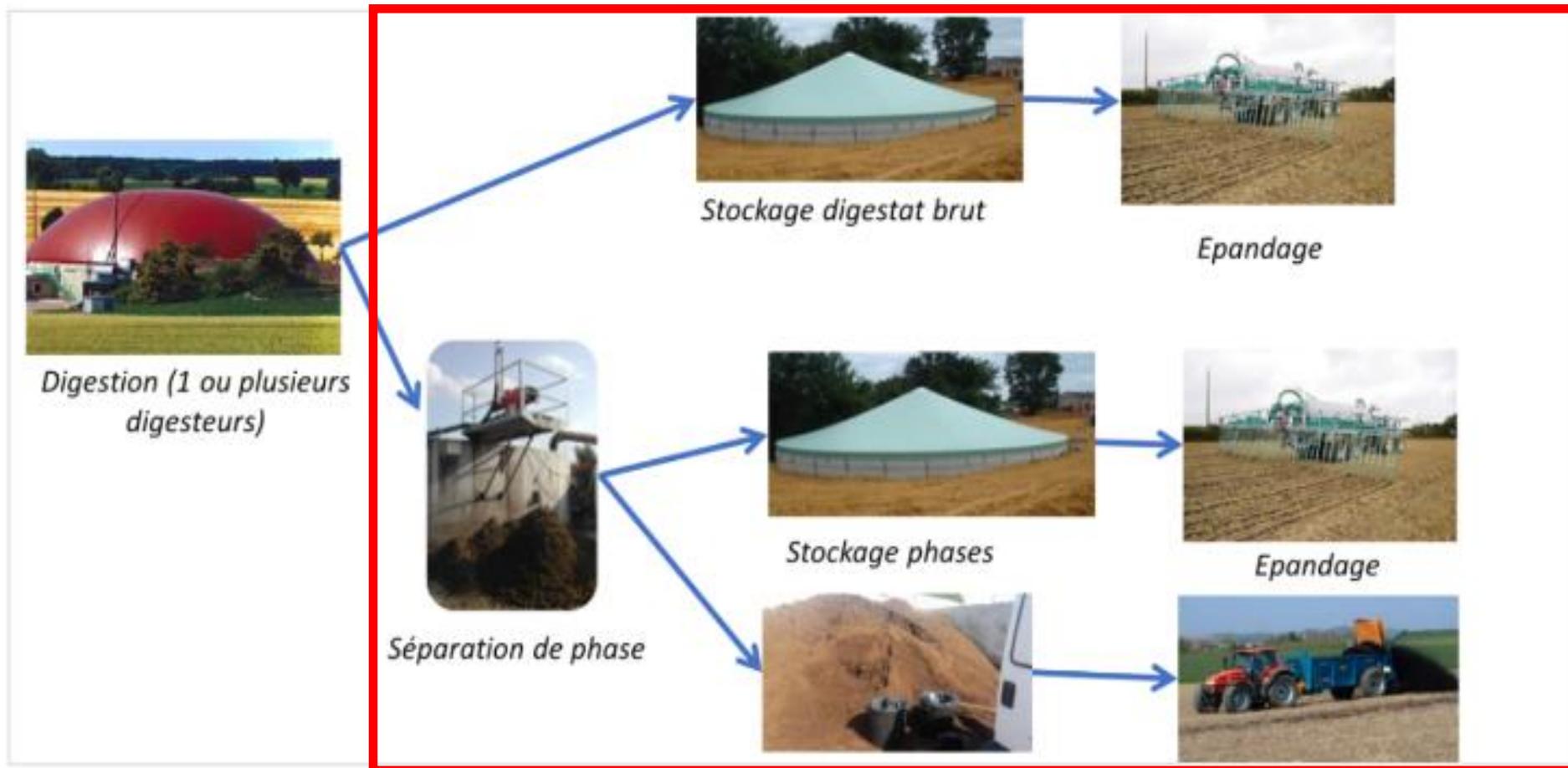


Figure 15 Schéma de principe du procédé d'épuration membranaire du biogaz à 3 étages de filtration

La 3^{ème} étape de la méthanisation : Epuration simple du « biogaz » en cogénération



La 3^{ème} étape de la méthanisation : les effluents « digestats »



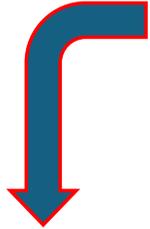
Source : *Projet MéthaPolsol*

Les vertus attribuées à la méthanisation agricole (selon GRDF)

<https://www.grdf.fr/gaz-vert/production-gaz-renouvelable/biomethane-energie-renouvelable>

Points sur lesquels j'ai travaillé depuis 2020 :

- Elle valorise les déchets organiques agricoles
- Elle produit une énergie décarbonée qui émet 20 fois moins de gaz à effet de serre que le gaz naturel
- Elle produit un digestat organique qui se substitue aux engrais chimiques très énergivores
- Cette substitution préserve la qualité des sols et des nappes phréatiques
- Elle crée des emplois locaux et non délocalisables
- Elle procure des gains financiers aux agriculteurs et contribue au maintien des activités en zone rurale

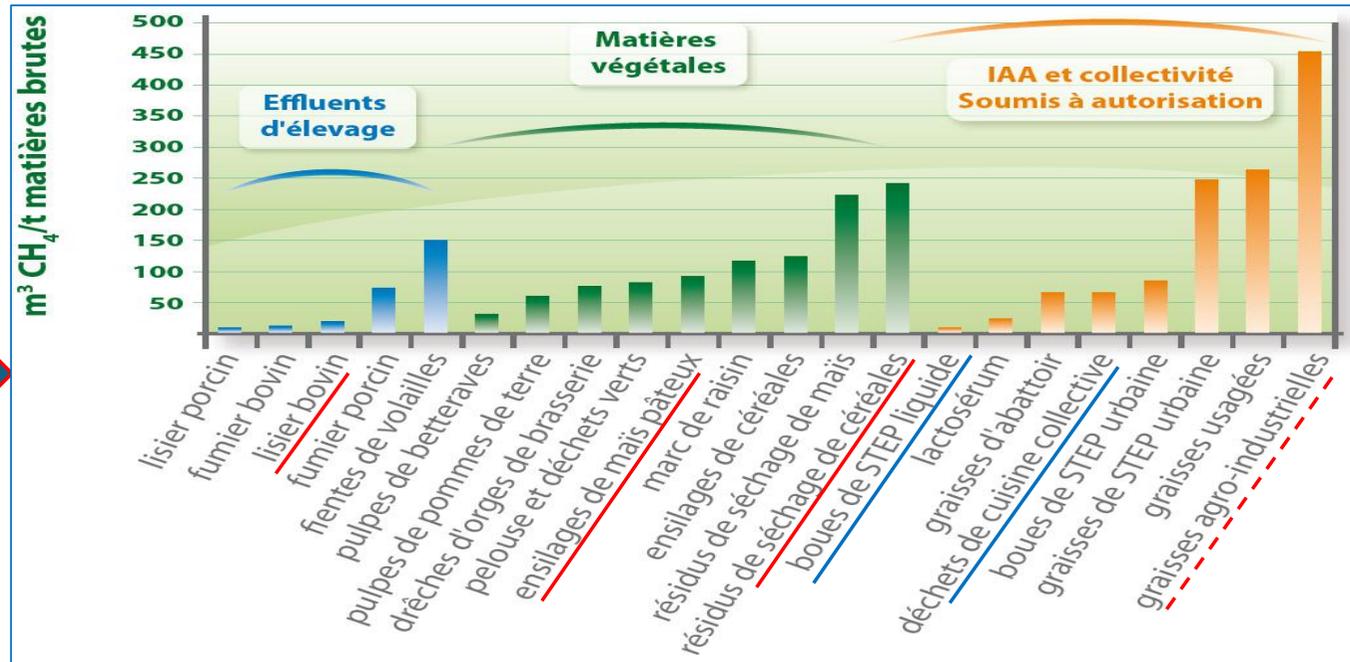


➤ **J'ai étudié chacune de ces assertions en m'appuyant sur la bibliographie scientifique internationale**

1- Valorisation des déchets agricoles

⇒ Les déchets agricoles ont un potentiel méthanogène très faible (90% de la production de biogaz)

Les déchets agricoles ont un potentiel méthanogène 10 fois + faible que celui des cultures de céréales et 20 fois + faible que celui des oléagineux !



► L'allégation de la valorisation des déchets agricoles par la méthanisation

➔ n'est pas recevable

- Utilise des intrants issus de l'agriculture

- 15% cultures énergétiques (ensilage de maïs)
- 45% cultures intermédiaires (CIVE)
- 40% lisiers issus d'élevage bovins

2- L'ACV du biogaz produit 10 fois moins de GES que le GN (selon l'ADEME)

Etape 1. Conception, construction, installation, entretien du site	5 kg CO₂ eq/MWh
Etape 2. Culture, récolte du maïs + CIVE et préparation des ensilages	77 kg CO₂ eq/MWh
Etape 3. Collecte, transport et introduction de lisier dans le digesteur	0 kg CO ₂ eq/MWh
Etape 4. Fonctionnement du digesteur (chauffage, agitation, pompes)	20 kg CO ₂ eq/MWh
Etape 5. Fuites de biogaz et de biométhane	111-242 kg CO₂ eq/MWh
Etape 6. Purification du biogaz en biométhane injecté	20 kg CO₂ eq/MWh
Etape 7. Collecte et stockage des données, contrôle des produits, torchère	3 kg CO₂ eq/MWh
Etape 8. Arrêt accidentel des digesteurs et remise en route	3 kg CO₂ eq/MWh
Etape 9. Arrêt définitif en fin de vie de l'installation	5 kg CO₂ eq/MWh
Etape 10. Collecte, stockage puis transport et épandage des digestats	0 kg CO₂ eq/MWh
Etape 11. Combustion finale du biométhane injecté + CO₂ présent dans le biogaz	327 kg CO₂ eq/MWh
Total	<u>571-702 kg CO₂ eq/MWh</u>

➤ à comparer au bilan du gaz naturel : **240 kg CO₂ eq/MWh**

➤ Résultat de l'ADEME : **23 kg CO₂ eq/MWh**

☞ Les étapes barrées en bleu ont été ignorées dans le bilan de l'ADEME (voir la diapo suivante du modèle DIGES2,0)

Analyse des différents postes de la métha.

- Etape 1. Conception, construction, installation, entretien du site
- Etape 2. Culture, récolte du maïs + CIVE et préparation des ensilages
- Etape 3. Collecte, transport et introduction de lisier dans le digesteur
- Etape 4. Fonctionnement du digesteur (chauffage, agitation, pompes)
- Etape 5. Fuites de biogaz et de biométhane ←
- Etape 6. Purification du biogaz en biométhane injecté ←
- Etape 7. Collecte et stockage des données, contrôle des produits, torchère
- Etape 8. Arrêt accidentel des digesteurs et remise en route
- Etape 9. Arrêt définitif en fin de vie de l'installation
- Etape 10. Collecte, stockage puis transport et épandage des digestats
- Etape 11. Combustion du biométhane injecté + CO₂ présent dans le biogaz ←

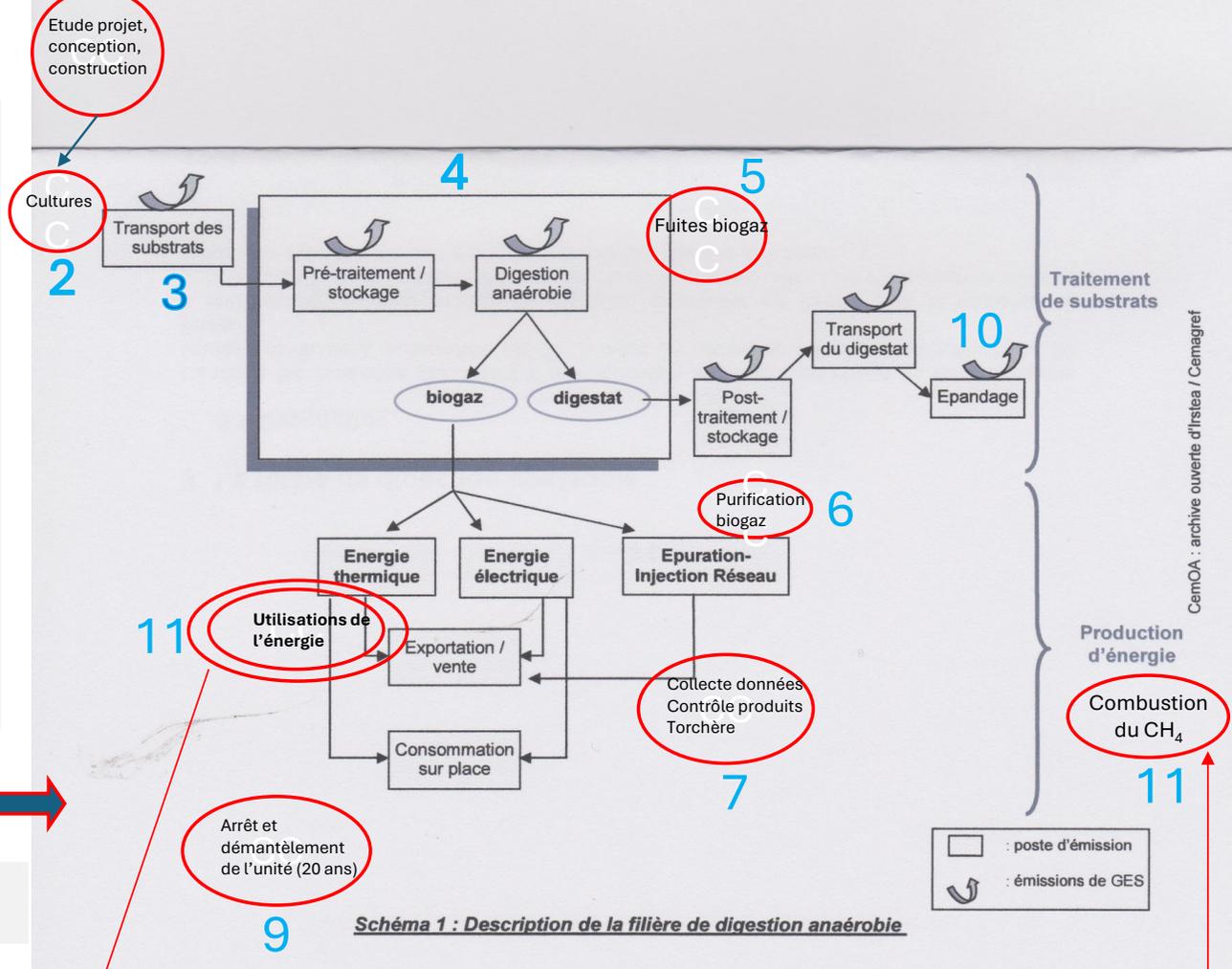


Schéma 1 : Description de la filière de digestion anaérobie

Critique du logiciel DIGES (utilisé par l'ADEME)

JP Jouany 25 juin 2025

Evaluation des fuites de méthane sur l'ensemble de l'installation

➤ La valeur médiane des fuites de gaz mesurée sur +sieurs centaines de sites de méthanisation est de l'ordre de **6% de la production totale de gaz**

... alors que la valeur des fuites utilisée jusque-là est de **0,5 à 1% de la production totale de gaz** (*10 fois moins, mais l'impact sur les émissions de CO₂eq est beaucoup plus important car le PRG du méthane est 28 fois celui du CO₂!!!*)

Esnouf A., Brockmann D., Cresson R. (2021) Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles - Rapport d'ACV. INRAE Transfert, 170pp.

Methane emissions along biomethane and biogas supply chains are underestimated

Semra Bakkaloglu,^{1,2,3,*} Jasmin Cooper,^{1,2} and Adam Hawkes^{1,2}
¹Sustainable Gas Institute, Imperial College London, SW7 1NA London, UK
²Department of Chemical Engineering, Imperial College London, SW7 2AZ London, UK
³Lead contact
*Correspondence: s.bakkaloglu@imperial.ac.uk
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.05.012>

SCIENCE FOR SOCIETY An immediate shift away from coal and oil for energy is necessary to limit rising temperatures but is challenging due to energy needs, particularly in areas like heating and cooling that require substantial energy supply all year round. Natural gas is presently being used as a bridging fuel. It delivers the same performance as coal and oil but has lower CO₂ emissions. However, natural gas releases methane (CH₄), which is a more powerful warming agent than CO₂. Biomethane and biogas have emerged as strong candidates to replace gas and lower CO₂ and CH₄ emissions. However, these replacement fuels are not CH₄ emission free. Indeed, CH₄ is released at various points during production and distribution, but a thorough understanding of where, when, and how much CH₄ is released remains absent. A synthesis and analysis of existing biomethane and biogas CH₄ emission data reveal that CH₄ emissions throughout the supply chains have been underestimated. The majority of CH₄ comes from just a few super-emitters and mainly at the digestate stage. Mitigating CH₄ throughout biomethane and biogas supply chains is urgently needed if we are to limit global warming to 1.5°C.

Au sein du digesteur, les émissions fugitives de biogaz sont des pertes nettes de biogaz vers l'atmosphère. Elles limitent le rendement de l'unité de méthanisation et ont des impacts économiques et sur l'environnement à travers le méthane perdu. Dans la littérature, les émissions fugitives de méthane sont évaluées entre 0,1 et 5% du biogaz, voire plus dans certains cas extrêmes (Bioteau et al., 2018; Blengini et al., 2011; Börjesson et al., 2015; Holmgren et al., 2015; Jørgensen & Kvist, 2015; Jury et al., 2009; Liebetrau et al., 2017; Rehl et al., 2012). Ces émissions fugitives se trouvent affectées à des postes différents selon les études, certaines ne considèrent que des émissions au niveau du méthaniseur, d'autres uniquement au niveau de l'épuration ou pour les deux postes.

Dans la présente étude, les émissions fugitives sont calculées sur la base de la production totale de biogaz (hors émissions diffusées du stockage du digestat). Le taux d'émissions fugitives est fixé à 0,5% de la production de biogaz. Suivant l'expertise de Mme Aïssani et de M. Bioteau qui ont été mobilisés sur ce paramètre technique (responsable d'équipe et ingénieur de l'équipe SAFIR de l'UPR INRAE OPAALE), ce taux de fuite correspond à un système de production optimisé dont la maintenance est bien suivie et les gestions de l'alimentation du digesteur et de la soupape sont bien menées (Bioteau et al., 2018). Un suivi technique de 10 installations a été publié par l'ADEME en 2020 où des émissions fugitives inférieures à 0,15% ont été estimées (ADEME et al., 2020). Il s'agit cependant d'estimations car ce taux de fuites est dans ce cas inférieur au seuil de détection des caméras à détection de gaz mobilisées pour les suivis. Aussi, ces estimations ne prennent pas en compte les éventuels échappements de biogaz aux soupapes de sécurité qui sont un point critique des fuites de méthane.

La nouvelle réglementation¹⁹ applicable dès 2021 aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et modifiant l'arrêté du 10 novembre 2009 augmente le niveau des vérifications et donc de maintenance globale des unités de méthanisation qui tend à limiter les émissions fugitives. Ces vérifications concernent notamment :

- un contrôle semestriel de l'étanchéité des équipements et des soudures ;

3- Quelle est l'efficacité énergétique de la méthanisation agricole ?

Critère scientifique : Calcul du TRE (Taux de Retour Energétique) de la méthanisation

Energie produite / Energie dépensée au cours de l'ensemble des étapes de méthanisation

- (i)- Concevoir, construire (unité de méthanisation, réseau routier, traitement des eaux...) ; assurer l'entretien du site de méthanisation
- (ii)- Cultiver les intrants (céréales) et les CIVE (céréales immatures)
- (iii)- Collecter, transporter, stocker les intrants puis les introduire dans les digesteurs
- (iv)- Chauffer les digesteurs à 39° ou 52°C (selon la méthode) et agiter le contenu des digesteurs en permanence
- (v)- Eviter la présence d'oxygène dans les digesteurs
- (vi)- Séparer le biogaz des résidus liquides et solides appelés « digestats » ; collecter et stocker les digestats liquides et solides
- (vii)- Purifier le biogaz à l'aide de méthodes chimiques (lavage aux amines) et physiques (cryogénie, filtration membranaire...) pour amener la concentration de biogaz de 60 à 97% de méthane
- (viii)- Odoriser (THT) et comprimer le biométhane en cas d'injection dans le réseau gazier
- (ix)- En cas de cogénération, le biogaz actionne des moteurs thermiques couplés à des groupes électrogènes pour produire de l'électricité la chaleur générée dans ce processus peut être valorisée par un récupérateur de chaleur
- (x)- Epandre les digestats sur les terres agricoles en respectant la réglementation en vigueur (période, technique)
- (xi)- Démanteler le site de méthanisation en fin de vie (20 ans)

► **Remarque: la liste n'est pas exhaustive**



Données de l'OPECST (Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques)

Comparaison des énergies renouvelables selon leur TRE, leur coût de production, leur tarif d'achat et leurs émissions de CO₂.

Énergie	TRE ^(1,58)	Coûts de production ^(1,51) (en €/MWh)	Tarifs d'achat du kWh	Émission de CO ₂ ^(1,52) (en g/kWh)
Éolien terrestre	18:1	De 50 à 71 €/MWh	8,2 c€/kWh ^(1,51)	7
Photovoltaïque	De 4:1 à 10:1	De 61 €/MWh à 104 €/MWh	28,52 c€/kWh ^(1,51)	55
<i>Biocarburants</i>				
Ethanol (canne à sucre)	De 0,8:1 à 10:1	Ø	Ø	Ø
Ethanol (maïs)	De 0,8:1 à 1,6:1	Ø	Ø	Ø
Diesel	1,3:1	Ø	Ø	Ø
Biomasse chaleur	Ø	De 47 €/MWh à 108 €/MWh	4,34 c€/kWh + prime de 7,71 à 12,53 c€/kWh ^(1,51)	Ø
Méthanisation	Ø	De 96 €/MWh à 130 €/MWh	De 11,19 à 13,37 c€/kWh + prime de 4 et 2,6 c€/kWh ^(1,51)	Ø
Solaire thermique	Ø	De 156 €/MWh à 451 €/MWh	Ø	Ø
Géothermie	De 2:1 à 13:1	De 38 €/MWh à 62 €/MWh	20 c€/kWh + prime jusqu'à 8 c€/kWh ^(1,51)	45
Hydroélectricité	De 11:1 à 267:1	De 33 €/MWh à 49 €/MWh	6,07 c€/kWh + prime de 0,5 à 25 c€/kWh ^(1,58)	6

Source : OPECST.

Ethanol (maïs) : de 0,8/1 à 1,6/1

⊞ Aucun chiffre scientifique disponible sur la valeur du TRE de la méthanisation

➤ **l'ADEME propose TRE = 5 à 7**

⊞ **Comparons la méthanisation à la production d'éthanol par fermentation :**

- en absence d'oxygène
 - à partir de maïs (ou de betterave)
- ⇒ *mais le rendement énergétique de l'éthanol est > à celui de la méthanisation*

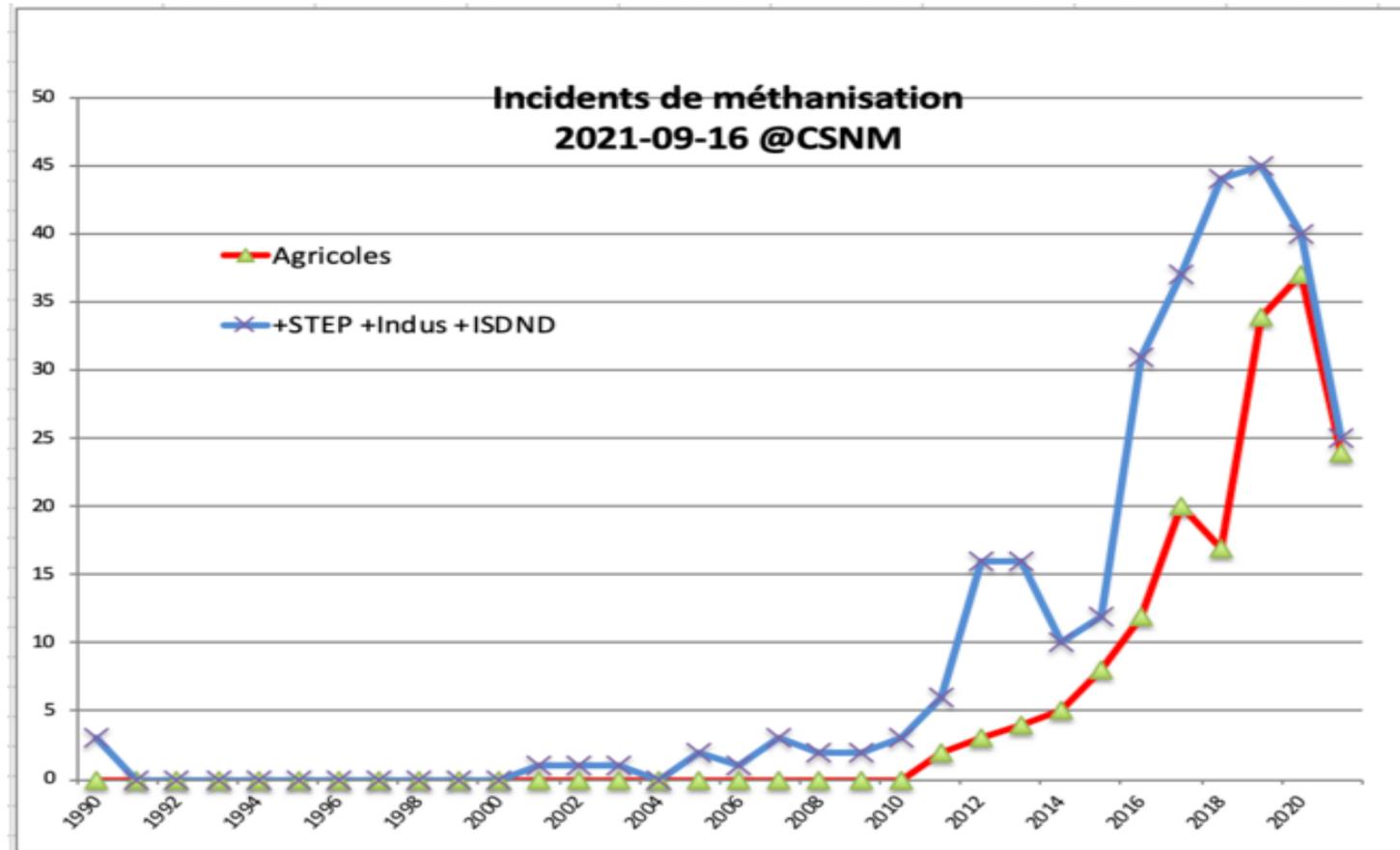
Conclusion

- **TRE ~ 1**

⇒ **L'énergie produite par le biométhane est < ou égale à l'énergie dépensée !!!**

Statistique des accidents

(rupture des cuves de méthaniseur, incendies , explosions....)



Source: D. Chateigner CSNM

Les finances publiques investies dans la méthanisation (Cours des comptes 2025)

- Développement de la filière, tarif d'achat du biogaz = **2,6 Md€** de 2011 à 2022
[12,7 Md€ à 16,2 Md€ pour l'injection + 3 Md€ pour l'électricité, d'ici à 2037]
(+ subventions de l'ADEME et des Régions = **0,5 Md€ de 2019 à 2023**)
*[+ 7 Md€ pour les nouveaux contrats **signés d'ici à 2028**]*

~ **20 Md€** d'ici 2030

- Coût de renforcement des réseaux gaz et électriques + mise en place des raccordements aux sites de méthanisation = **147,5 M€ de 2019 à 2023**

- Exonération impôts locaux ciblés sur « la méthanisation agricole » + facilités bancaires = **175 M€/an** (à partir de 2020)

 **Ce cumul d'aides est spécifique au biogaz ; il n'existe pas pour les autres EnR**

Autres aspects étudiés

Voir la thèse de J. Cadiou (2023), AgroParisTech, université de Paris-Saclay <https://journals.openedition.org/noroi/14718>

- Impacts de l'implantation d'un méthaniseur sur notre agriculture

- Valeur agronomique des digestats: rapport **C/N faible**, **N-NH₃ élevé**, **H₂S**, **contaminants** ?
- Abandon d'élevages laitiers ou de cultures (*colza région GE*) pour destiner l'E. maïs aux méthaniseurs
- Accroissement d'élevages hors-sol pour disposer de volumes de lisiers pour les méthaniseurs
- Retournement de prairies (*déstockage de C*) pour cultiver du maïs destiné aux méthaniseurs
- Les légumineuses disparaissent des rotations (*faible potentiel de méthanisation*)
- L'emploi de CIVE d'hiver (*seigle, méteil/triticales, ray-grass*) pour conduire 2 cultures principales, épuise les sols
- Les agriméthaniseurs confondent CIVE et cultures énergétiques ce qui fausse les stats sur les intrants
- Les industriels de l'énergie investissent dans les sites de méthanisation de très grande taille (XXL)
 - Site de SECALA** (Côte d'or) en 2024 produisant **230 GWh**
 - Site de Biobearn** (Landes) en 2023 produisant **169 GWh** moyenne des sites actuels = **10 GWh**

➔ **Choix dans l'usage des terres agricoles: (i)- produire de l'énergie; (ii)- produire des aliments**
⇒ **notre souveraineté alimentaire sera-t-elle garantie ?**

Je vous remercie pour votre attention

