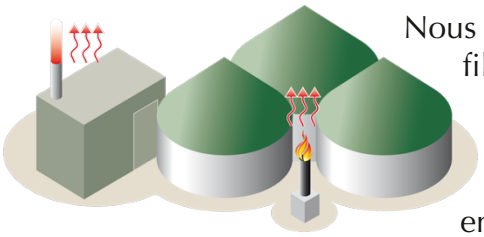
Observations du CSNM vis-à-vis de la méthanisation en général

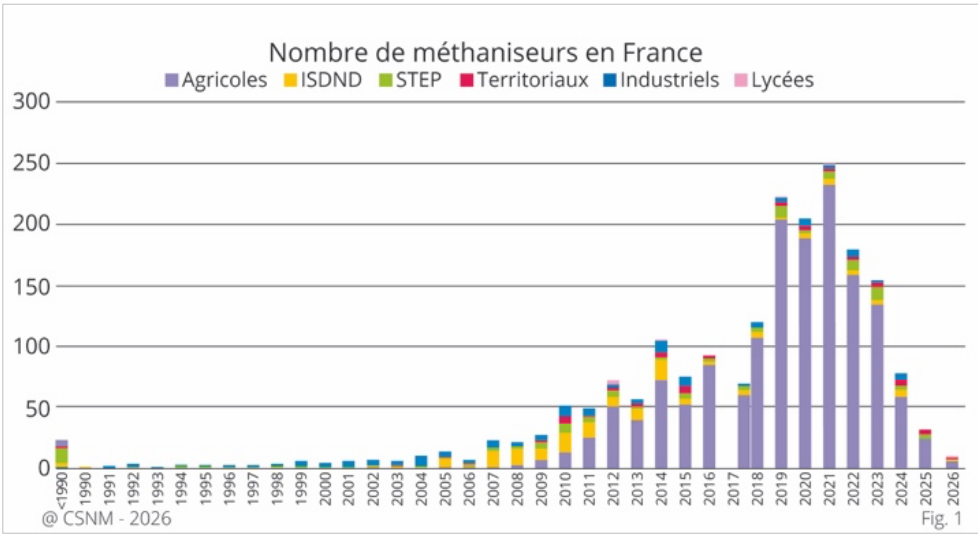
Version non référencée
Septembre 2026

https://twitter.com/CSNM9
https://www.linkedin.com/groups/8732104/
https://www.cnvmch.com
instagram.com/danielchateigner/
https://www.tiktok.com/@csnm_2018
csnmraison@gmail.com

© CNVMch/CSNMr



Nous assistons à un développement de la filière méthanisation sans précédent (Fig.1). Présentée par les lobbies de l'énergie comme une solution de la transition énergétique, environnementale agricole et agronomique, elle est surtout impactante pour la santé environnementale, sans une once de résolution des problèmes invoqués. La filière ne vit que grâce à des subventions hors normes, qui n'aident en rien les agriculteurs dans le besoin. Les projets n'ont plus rien d'agricole, ils ne contribueront en rien à la baisse d'émissions de GES, à la transition énergétique, au bien-vivre des agriculteurs, mais auront des conséquences négatives sur bien des aspects, agronomiques, sanitaires et sociétaux.



Le CSNM tient à porter à votre connaissance les faits suivants, qui réfutent le caractère bénéfique et vertueux de la méthanisation non raisonnable telle qu'elle est promue partout en France. La lecture de ce qui suit vous permettra d'appréhender les raisons pour lesquelles, scientifiquement, les modalités actuelles du développement de la méthanisation, ne peuvent être acceptables, car non soutenables et non durables.

Notre document est composé d'une courte synthèse énumérant nos principales conclusions sous forme de points clefs, puis du développement permettant de comprendre pourquoi ces conclusions sont bel et bien fondées d'un point de vue scientifique. Les scientifiques du CSNM sont entièrement indépendants de la méthanisation et de tout financement lié à la méthanisation. Pour simplifier la lecture, nous avons séparé les références scientifiques des simples constats apportés par les journaux grand public, des mises en demeures Préfectorales et Questions écrites et orales des parlementaires, découlant de ces faits.

Synthèse

Neutralité
"*Neutralité carbone*" ne veut *pas forcément* dire "*neutralité climatique*". La méthanisation émet entre 3 et 5 fois plus de GES que l'utilisation du Gaz Naturel (pré conflit Ukraine-Russie) en France.

Néométhane
Telle qu'elle se développe, la méthanisation en France consiste à *créer du néométhane* qui n'aurait pas existé sans ces usines : ce ne sont plus des déchets mais des cultures dédiées (intermédiaires et alimentaires) et ce méthane se comporte comme du méthane fossile.

Energie
La *très faible énergie* développée par la biomasse fait de la méthanisation l'énergie la moins efficace de tous les approvisionnements connus : son Taux de Retour Energétique est très faible, probablement inférieur à 1, il est donc injustifiable de développer cette filière.

La méthanisation appauvrit les sols
Elle appauvrit leur biodiversité et donc leur fertilité. Cet effet ne sera mesurable que sur des temps suffisamment longs, sans retour en arrière possible en moins de 50 ans, et dépendant de l'énergie délivrée.

Souveraineté alimentaire de la France
Déjà questionnée aujourd'hui et impactée par de multiples effets, elle souffrira de la méthanisation. Puisque déjà plus d'une SAU de département français sert aujourd'hui à méthaniser des cultures dédiées (370 000 ha, chiffre FranceAgriMer 2023).

Plus de 2100 sites de méthanisation en service
Ils représentent moins de 6 % de la consommation de gaz naturel et cette dernière ne cesse d'augmenter. C'est une *fuite en avant* consommatrice sans but de modération.

Risques
La méthanisation représente des *risques physiques, sanitaires et financiers*, en premier lieu pour les agriculteurs eux-mêmes.

Pollutions
Les *pollutions airs-sols-eaux* dues à la méthanisation sont avérées et ne peuvent être évitées dans son mode de fonctionnement actuel. Plus de 700 accidents relevés, il y a eu au moins une pollution aquatique par mois depuis 2021.

Ecocidité
L'écocidité de la méthanisation est avérée : champignons et micro-organismes des sols, leur biodiversité, insectes, poissons, crustacés, mollusques, vers de terre, ... tous sont affectés

Accidentologie
L'*accidentologie en hausse* de la méthanisation, est passée de moins de 6 accidents par an pour 1000 méthaniseurs avant 2015, à plus de 40 (plus de 7 fois plus !) depuis 2015. Ceci est dû à un *subventionnement hors normes* en regard de l'énergie délivrée, et des modifications règlementaires tendant à l'autocontrôle en mode "juge et partie".

Subventions
Elles représentent :
• pour la *construction* des méthaniseurs en moyenne plus de *1 000 000 € par emploi direct* créé (plus de 2 Mds d'€ minimum au total),
• au *rachat* du gaz, la somme non soutenable de *plusieurs dizaines de Mds d'€* chaque année si la filière atteint ses objectifs annoncés (soit seulement 200 TWh annuels, même pas la moitié de la consommation de gaz naturel !).

Emissions variées
Tout le long de la chaîne de production, elles sont avérées et *sanitairement impactantes* : composés organiques volatiles (plus de 50 dont des molécules cancérigènes), métaux lourds, bactéries antibiorésistantes (plus de 30 espèces), résidus médicamenteux, micro-plastiques, pathogènes divers et dangereux …

Les CIVEs ne sont pas des CIPANs
Les nitrates reviennent dans les digestats et que le rôle des premières consiste à renvoyer en permanence du CO_2 vers l'atmosphère lorsque les secondes le séquestre dans le sol.

Développement de gènes et bactéries antibio-résistantes
On observe leur développement dans les réacteurs et les digestats, ainsi que des propagations horizontales de gènes. Ces entités sont augmentées par la présence de nano- et micro-plastiques.

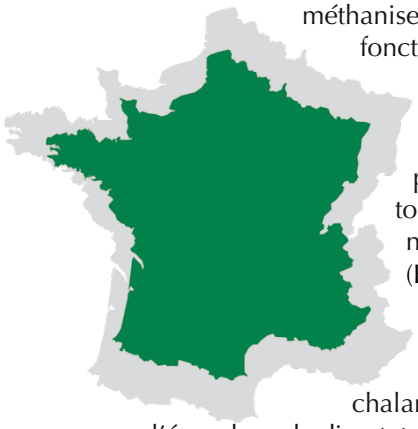
Plantes génétiquement modifiées
Elles sont envisagées comme intrants de méthanisation à des fins d'augmentation de production. Comment assurer l'innocuité de ces ajouts ?

Les plus grosses structures méthanisantes sont les plus accidentogènes
Ce sont généralement des injecteurs gérés par des grands groupes de l'énergie.

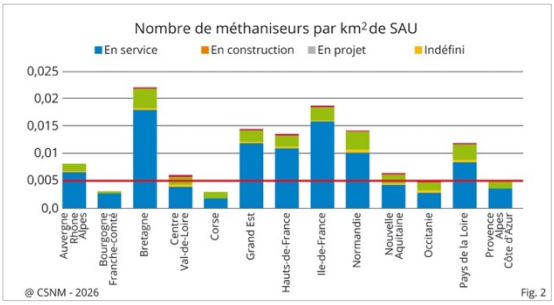
Les subventions à la méthanisation
Elles ne profitent pas aux agriculteurs vertueux et de tailles modestes pratiquant une agriculture durable, mais aux multinationales de l'énergie et aux systèmes agricoles intensifs (cultures et élevages), délétères pour les sols et la souveraineté alimentaire à long terme. Leur attribution correspond à un système *injuste*.

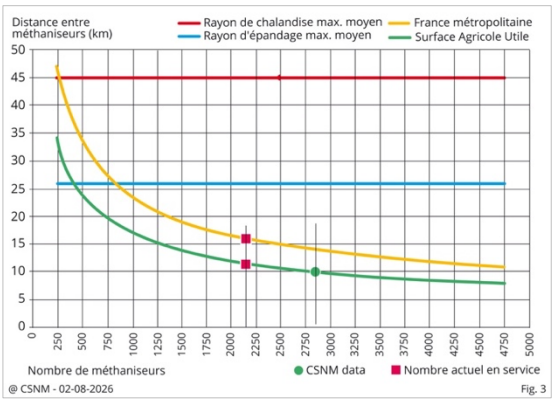
Densité galopante, risques inconsidérés

Densité de méthaniseurs insoutenable



Toutes les régions affichent une densité de méthaniseurs déjà en fonctionnement élevée, de 0,0025 à 0,015 méthaniseurs/km^2 de SAU (Fig. 2). Vu les projets en instance, dans toutes ces régions et au niveau national (Fig. 3) des concurrences à la surface et des déplacements déraisonnables pour la chalandise d'intrants et l'épandage de digestats sont déjà présents et ne feront qu'augmenter au fur et à mesure du développement de la méthanisation, en nombre de méthaniseurs comme en dimensionnement.





Sur tous les départements métropolitains, la distance moyenne actuelle entre méthaniseurs en fonctionnement sur la surface agricole utile n'est déjà que de 13 km ! Cette distance sera réduite à 11 km si tous les projets actuels arrivent à terme ! Une telle distance est déjà bien inférieure à la distance maximale moyenne de chalandises (45 km) et d'épandages de digestats (26 km) (Fig.3), et par conséquent incompatible avec une filière soutenable pour les agriculteurs, qui verront la concurrence à la surface se renforcer et se rajouter aux concurrences multiples auxquelles ils sont déjà confrontés.

Les effets dus à la concurrence à la surface ne sont pas nouveaux. Ils ont déjà été observés depuis plusieurs années dans les pays dont la densité de méthaniseurs dépassait 0,005 méthaniseurs/km^2, en Italie par exemple. En France plus de la moitié des régions dépassent ce seuil.

En comparaison, pour l'implantation de méthaniseurs de déchets de nourriture dans l'ouest de l'état de New-York, un calcul global (Armington *et al.* 2026) prenant en compte les distances de parcours et certains risques écologiques montre que :

• seulement 12% de la surface agricole peut être utilisée pour faire fonctionner les usines, alors que cette surface est très largement dépassée en France.

• que la distance maximale pour apporter les digestats ne peut être supérieure à 6 – 15 km, alors que nous mesurons 26 km en France.

• Malgré les deux points précédents, implanter des méthaniseurs comporte des risques aval de pollutions aquatiques. Ce que nous observons en France (voir §) et à l'étranger de manière conséquente.

Risques associés inconsidérés

Risques physiques

Ces usines ATEX représentent un danger pour les exploitants ainsi que pour les riverains et les SDIS. Depuis 2015 et encore récemment, des études scientifiques montrent que sur site des doses létales sont atteintes, et à des distances concernant les proches riverains des conséquences non anodines pourraient être occasionnées, vu les dimensions concernées ici. D'autres études mesurent les émanations aérosols sur et autour de sites de méthanisation ou détectent des pollutions des sols après épandages à des niveaux de risques élevés. Les fuites de gaz sont le facteur prépondérant associé aux risques sur sites de méthanisation. Nul doute que ce type de dispersions polluantes, malheureusement ressenties dans un nombre de cas croissant, créeront des problèmes sanitaires à plus ou moins longs termes. La proximité des premiers riverains ne saurait être suffisante pour des émanations se propageant sur des distances bien plus grandes, et autour des parcelles épandues. L'Etat se rendra responsable de ce type d'effets, pourtant bien documentés par l'INRS. Plus la dimension du méthaniseur est grande, plus les nuisances et l'accidentologie sont fortes. Tous ces risques (mortels, intoxications, blessures, électrocution

…) sont très bien documentés au niveau mondial par la filière, et curieusement passés sous silence dans la très grande majorité des communications.

Risques financiers

Rappelons que selon une récente étude du Laboratoire Ladyss-CNRS, les revenus des agriculteurs méthaniseurs sont plus qu'incertains à terme, et particulièrement pour les usines de méthanisation de gros tonnages, collectives agricoles, territoriales et industrielles. En cas de problème de viabilité, que feront les grandes firmes de l'énergie pour venir en aide aux agriculteurs ?

Ces dernières années, les équipementiers "historiques" de la méthanisation sont rachetés progressivement par de grands industriels, multinationales de l'énergie (TotalEnergies, Engie, Shell, BP, ENI, Véolia, Suez, Exxon …).
Ceci mettra les agriculteurs méthaniseurs et les projets territoriaux en difficulté au moindre problème. Cumulés aux fluctuations tarifaires diverses, les risques financiers sont déjà prégnants en France pour les agriculteurs méthaniseurs (voir p. 23).
Vu les faibles retours énergétiques, dans le cas de l'injection, seules les grosses structures peuvent espérer une rentabilité financière, et même dans ce cas, de petites fluctuations influent lourdement sur la rentabilité.

Risques routiers

Les cadences imposées par les rotations d'approvisionnements en intrants de méthanisation et en épandages de digestats font prendre des risques de conduite aux agriculteurs, qui se traduisent par des accidents de la route entre autres conséquences.



Déchets-vrais et circuits courts

La méthanisation raisonnable est celle qui conserve la Santé Environnementale (donc celle des humains aussi) sur le long terme. Elle n'a pas d'incidence sur notre environnement, la biodiversité et nous-même. Il en résulte les points suivants.

Déchets vrais uniquement

Seuls les déchets vrais doivent être méthanisés puisque cette énergie est carbonée.
En particulier, la culture de biomasse dédiée, intermédiaire ou pas, les résidus urbains végétaux, ne sont pas des déchets vrais.
Le Grenelle de l'Environnement (mars 2009) a comme axe majeur la prévention de la création de faux déchets. Il faut prioriser l'alimentation humaine et animale, donc le retour au sol de la biomasse.

Circuits courts uniquement

L'utilisation des produits qui découlent de la méthanisation, énergie et digestat doit :

• être opérée en circuit le plus court possible. L'injection en circuit électrique ou gazier ne peut pas être considérée comme la vocation première de la méthanisation. En particulier, l'injection en circuit gazier ne correspond pas au minimum d'émission de CO_2, même en acceptant l'idée fausse de neutralité carbone de la méthanisation,

• correspondre à une diminution de consommation des ressources fossiles, ce qui n'est pas le cas puisque leur consommation augmente en France. Par exemple, injecter du méthane dans le réseau gazier en méthanisant des boues de STEP n'a de sens que si la consommation électrique et de chaleur de la station a été totalement assurée par la méthanisation,

Les petits digesteurs domestiques correspondent à ce type d'usage, et peuvent avoir un intérêt de réduction de consommation d'énergie fossile,

• correspondre à une utilisation locale, dans le périmètre d'exploitation ou des exploitations, pour éviter d'exporter du digestat. En ce qui concerne la méthanisation des boues de STEP et de biodéchets ménagers, la cogénération doit être utilisée en premier lieu pour réduire la facture électrique du traitement des eaux,

• correspondre à une diminution de consommation des engrais provenant de l'industrie chimique.

Digestats modérés

Les digestats de méthanisation ne possédant pas les caractéristiques de la biomasse naturellement décomposée et assimilée par les sols, ils ne peuvent être utilisés de façon massive, et doivent être particulièrement contrôlés. En particulier car l'azote du digestat liquide s'évapore très facilement, entraînant une perte importante en N par évaporation, infiltration et lessivage. On parle d'ailleurs de remédiation du digestat, par de multiples techniques (micro-flore indigène, phycoremédiation, évaporation sous vide, centrifugation, stripping des ions ammonium, bioélectricité, production de protéïnes, compostage aérobic, entomoremédiation, bioraffinement (production de bioéthanol, de biodiesel, de biochar et biohuile, liquéfaction hydrothermale, hydrochar…) traitement au charbon actif, traitement acide, séchage solaire et acidification, ozonation, ultrasonication ...),

osmose inverse, électrodialise sélective, précipitation d'hydroxylapatite. Toutes ces filières iront dans le sens de ne plus retourner les digestats au sol.

De fait, sur plus de 100 digestats examinés, Guilayn *et al.* (2019) montrent qu'aucun de ces digestats, brut ou après séparation de phases, ne satisfont les dernières régulations européennes et françaises en termes de fertilisants, et qu'une étape de traitement est nécessaire.

L'épandage de digestats bruts et liquides occasionnent moins de respiration du sol, et donc moins d'activité microbienne, que l'application de lisiers de porcs, de litières de volailles ou de fumiers de vache ou de bétail. Aussi, l'épandage de digestat liquide occasionne plus d'émission de N_2O, GES très fort, que celui de fumier de bétail. Dans des sols argileux, l'épandage de digestat solide augmente aussi les émissions de N_2O. Une constante de ces études est que l'activité enzymatique décroit rapidement (en quelques jours) après application de digestats, signe d'évaporation et lixiviation fortes. D'ailleurs les taux de nitrates augmentent dans les jours suivant l'épandage de digestat.

Les ruissellements chargés en azote et phosphore sont encore mal étudiés, et les digestats nécessitent bien souvent une réduction du taux d'azote et de phosphore. Les ions ammonium, principaux composants des digestats liquides qui représentent en moyenne 80% de la masse des intrants, se transforment en quelques jours en nitrates dans le système hydrique. Pour éviter les pertes trop rapides, différentes techniques sont envisagées, comme par exemple l'encapsulation du digestat.

L'application de digestats de lisiers bovins à des valeurs correspondant au plus haut taux toléré par la directive nitrate (170 kg/ha N) s'accompagne de niveaux hauts d'ions ammonium qui altèrent la balance ammonium/nitrate des sols, et étend leur migration vers des couches plus profondes et les taux dus aux digestats sont plus élevés que par application des lisiers non digérés.

La stabilisation des digestats est apparue nécessaire très tôt pour conserver un certain potentiel fertilisant-amendement. Cette stabilisation est réalisée par des techniques variées, compostage, stripping de l'ammonium, séchage thermique, gazéïfication, échange ionique, prétraitement haute-température + compostage, carbonisation hydrothermale (production d'hydrochar), pyrolyse, filtration et ultrafiltration membranaire, précipitation, ajout d'additifs (struvite, zéolithe, kieserite, biochar de noix, coques de noix de coco, farine de paille, évaporation, oxydation chimique … Il ressort que le compostage est le plus adapté, notamment car il conserve une plus grande biodiversité des sols. Dès lors, un simple compostage offre sans doute bien plus de qualités et à coup sûr un gain énergétique !



Les trajets nécessaires pour exporter les digestats dépassent les frontières chez nos voisins européens, ce qui arrivera en France à coup sûr.

Le taux de phosphore disponible pour les plantes est modifié par méthanisation. En présence d'intrants comportant du calcium, il y a jusqu'à 30% de transfert du phosphore labile disponible vers des phosphates de calcium, stable et indisponible comme nutriment et il n'est pas rare de voir des pertes importantes en P entre intrants et digestats. Ce taux est plus élevé dans les racines et pousses de maïs en utilisant un engrais NPK qu'avec du digestat.

Les digestats de biodéchets de ménages doivent être considérés de façon particulière, vu l'aspect sanitaire inhérent aux intrants correspondants. En effet, jusqu'à des milliers de polluants ont été observés. Des post-traitements particuliers doivent être appliqués, par exemple un traitement acide, où au sulfate de fer, au détriment de la rentabilité globale. Ces digestats n'offrent pas une meilleure croissance de ray-grass, par contre un plus fort lessivage de N. Aussi, avec ce type de digestats, on observe une augmentation de la mobilité des métaux lourds Pb et Zn, signe d'un risque plus important de lixiviation de ces métaux lourds avec épandage de digestat.

La chalandise d'intrants hors du périmètre cultural conduit à ramener via les digestats des éléments nutritifs surnuméraires et ainsi à augmenter les risques de pollutions et d'eutrophisation par effet de concentration.

Des pratiques de rotations culturales (blé-triticale-poi-colza) associées à des épandages de digestat augmentent l'azote résiduel dans les sols, plus que l'utilisation d'un fertilisant minéral.

L'abaissement de la charge bactérienne et du taux d'azote des digestats est envisagé par additions de produits d'autres fermentation acide ou par divers traitements comme la nanofiltration photocatalytique.

L'abaissement de la charge en antibiotiques est opéré par électrodialyse sélective.

En conséquence, l'application de digestats sur différents sols montre une décroissance de biomasse microbienne, et une décroissance de diversité prokaryotique. Sur des sols à C/N assez forts, l'application entraîne une décroissance de diversité fongique.

Les digestats étant reconnus comme potentiellement phytotoxiques, il est nécessaire de les traiter par des méthodes variées : oxydation, addition d'attapulgite, hydrolyse enzymatique, traitement au $FeCl_3$.

Certains seuils de phytotoxicité des digestats sont déterminés dans la litérature. Une diminution de 50% de l'indice de germination est observée lorsque les trois critères suivants sont dépassés : azote ammoniacal total ≥ 1,122 mg/L, potassium ≥ 39,6 g/kg, bore ≥ 22,5 g/kg.

Surveillance, contrôles, accidentologie

La surveillance à tous les niveaux du processus de méthanisation doit être réalisée en continu dès la mise en fonctionnement, puisque la bonne efficacité de l'usine conditionne drastiquement sa balance environnementale. Cette surveillance doit s'opérer en toute indépendance, comme pour toute usine correctement gérée.

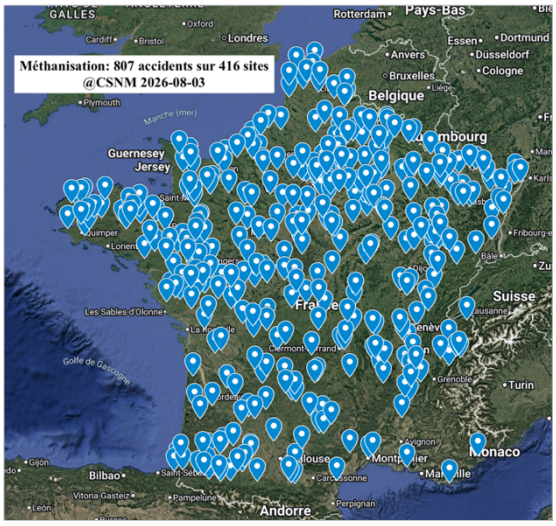


Figure 4 - Cartographie des accidents en France

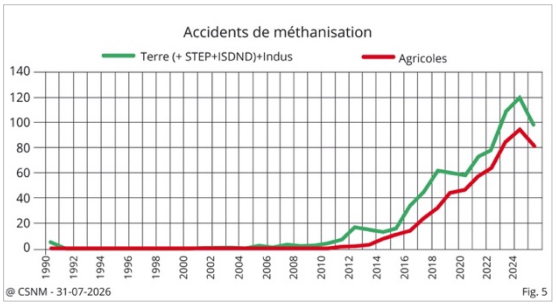


Figure 5 - Nombre d'accidents en France depuis 1990

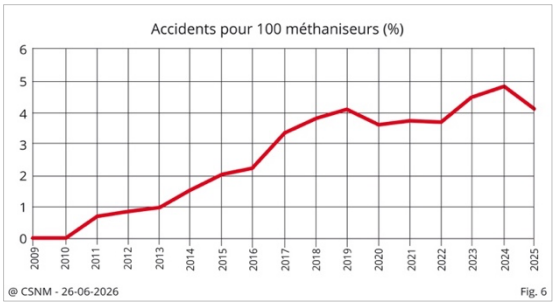


Figure 6 - Nombre d'accidents pondéré par le nombre de méthaniseurs en service chaque année

L'accidentologie croissante due à la méthanisation (Fig.4, Fig. 5, et Fig. 6), scientifiquement documentée, montre que cette surveillance n'est plus acceptable. Comme partout au monde, le taux d'accidentologie (nombre d'accident par méthaniseur et par an) ne cesse d'augmenter depuis l'augmentation des subventions et les usines les plus accidentogènes sont les usines gérées par les grands groupes (Fig. 7).



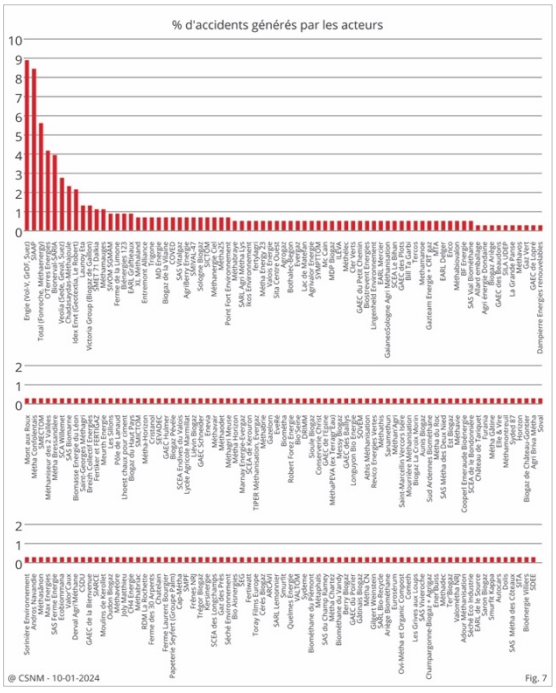
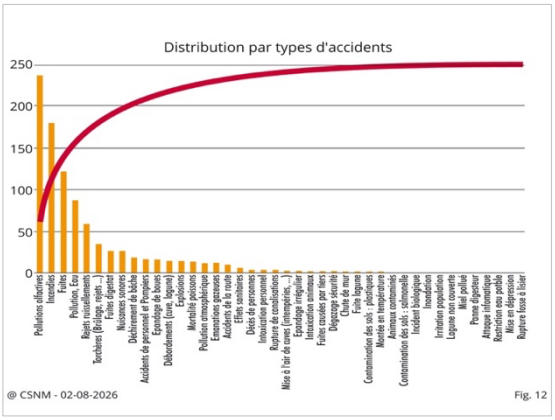


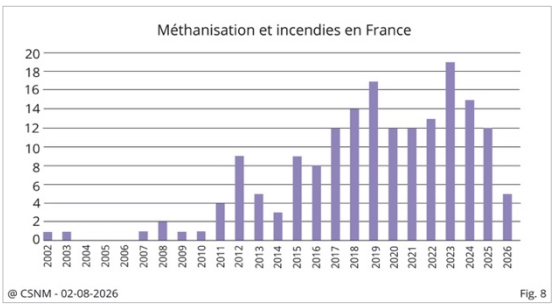
Figure 7 - Pourcentage d'accidents générés par les acteurs. Nous sommes passés de 5,9 accidents par an pour 1000 méthaniseurs, à 37,4 depuis 2015, soit 7,4 fois plus

De ce fait, le régime en autocontrôle pour lequel l'exploitant est juge et partie, ne peut être acceptable. Le financement des contrôles indépendants doit être intégré au plan d'exploitation.

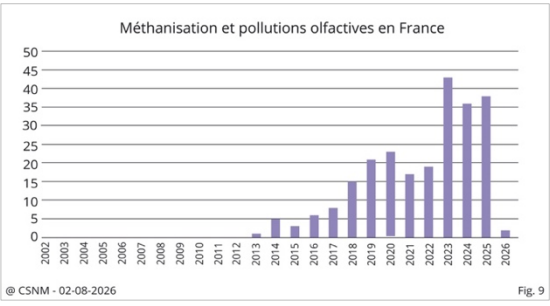
Est-il besoin de rappeler les principales nuisances occasionnées autour des sites de méthanisation en France (Fig.12)?



Les incendies restent une des deux causes principales d'accidents sur les méthaniseurs, (Fig. 8) à cause du fonctionnement courant, des zones de stockages d'intrants où de séchage, et même avant la mise en fonctionnement du méthaniseur, avec plus ou moins de dégâts.

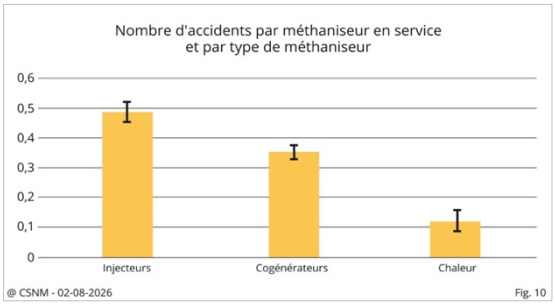


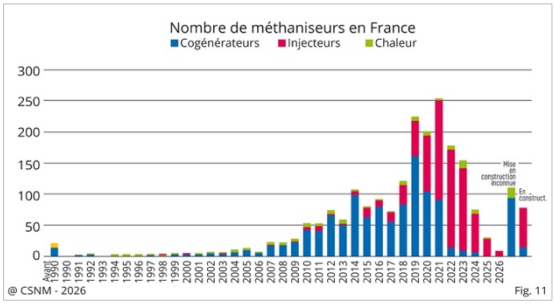
La cause principale d'accidents de méthanisation provient des pollutions olfactives (Fig. 9), provenant principalement des zones de stockages d'intrants, et des stockages et épandages de digestats. Là aussi, les stockages d'intrants débutant usuellement un an avant la mise en marche des méthaniseurs, ce type de pollutions est aussi occasionné avant même leur mise en fonctionnement.



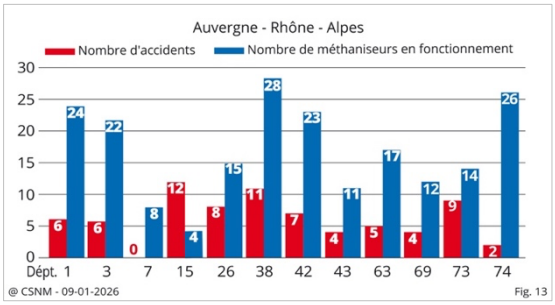
Le bâchage des intrants et digestats, même s'il n'empêche pas toutes les pertes nuisibles à l'environnement, est loin d'être toujours respecté, même si c'est une recommandation scientifique internationale pour éviter une partie des GES (que l'ADEME recommande également).

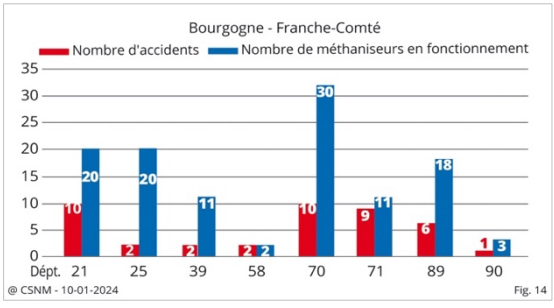
La méthanisation en injection est apparue après celle en cogénération. Elle aurait dû en principe bénéficier de la maturité acquise en cogénération. Il n'en est rien, les méthaniseurs injecteurs sont plus accidentogènes que les cogénérateurs (Fig. 10). Malheureusement, le nombre d'injecteurs augmente ces dernières années et le nombre de nouveaux cogénérateurs se rédui très fortement : nous n'allons pas dans la bonne directionn (Fig.11).

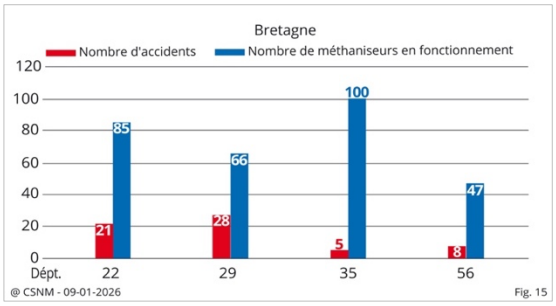


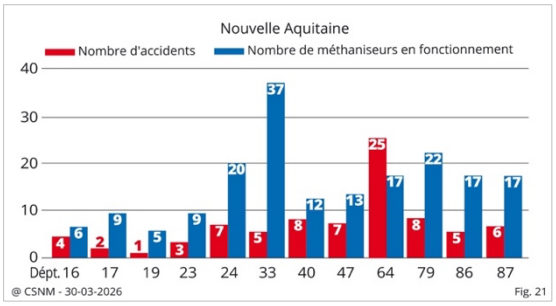


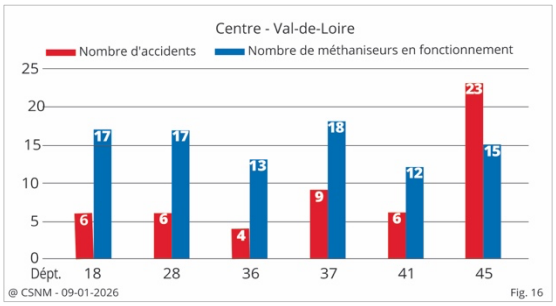
Toutes les Régions sont accidentogènes en ce qui concerne la méthanisation (Fig.13 à Fig.24).

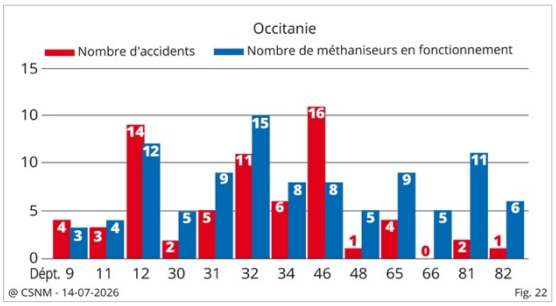


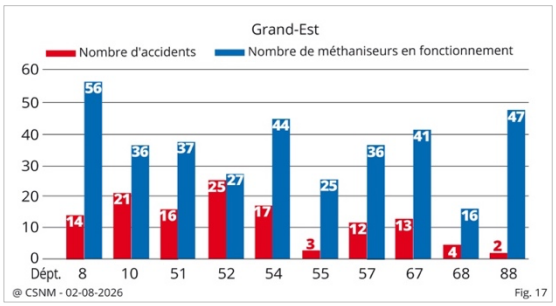


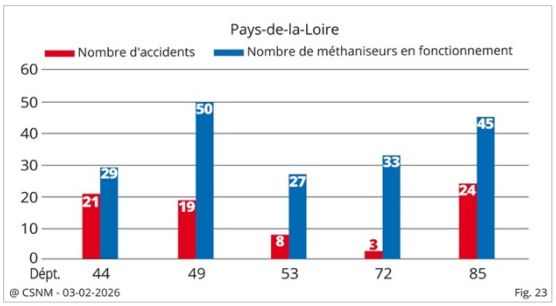


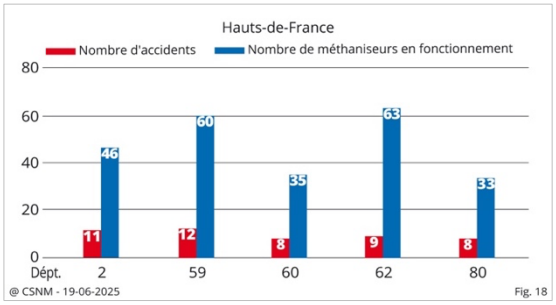


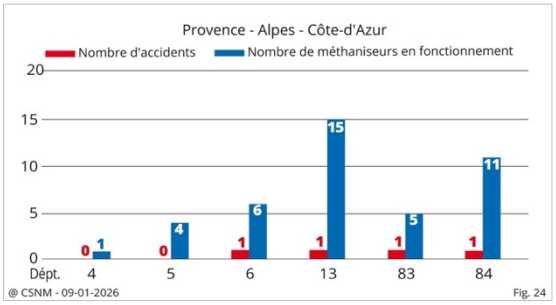


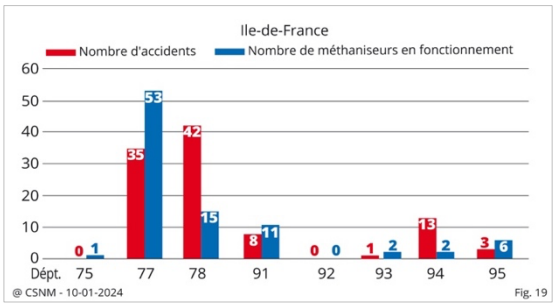


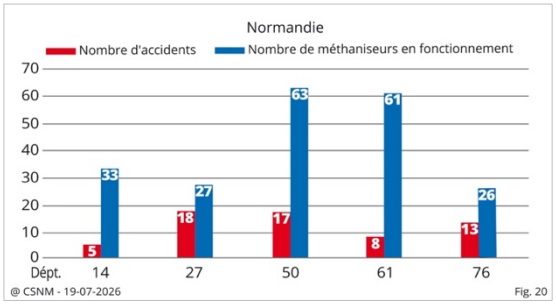












Le CSNM, avec l'INRS, considère les gaz émis comme dangereux, sur le court comme sur le long terme. Or il est prouvé que de nombreux gaz toxiques sont émis tout le long de la chaine de production. Par exemple, NH_3 est émis principalement à partir des zones de stockages d'intrants et de digestats, avec ses effets sur l'environnement et la végétation mais de nombreuses autres émissions peuvent s'avérer toxiques.

L'Etat et les industriels se rendront responsables des effets sanitaires créés sur la population, le premier s'il accepte les constructions de méthaniseurs et les derniers s'ils les construisent et les font fonctionner.

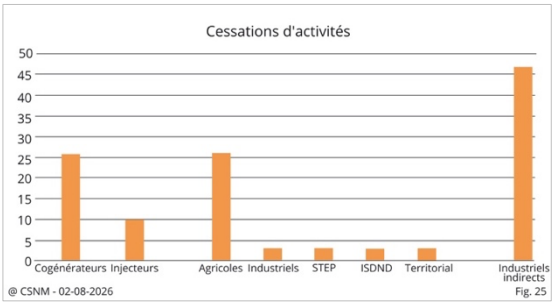


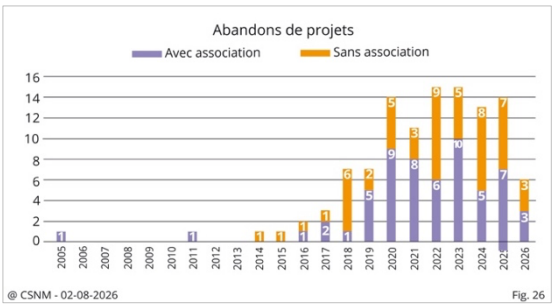
Cessations d'activités et démantèlement

Comme toute activité industrielle, la prise en compte du démantèlement des usines après usage doit être assumée par la structure industrielle. Sur 31 cessations d'activités décelées (Fig. 25 et Fig.26), on remarque que :

• le pourcentage d'injecteurs est bien supérieur à leur représentativité numérique,

• les structures agricoles sont les plus nombreuses à arrêter leurs activités.





Ces deux voies de méthanisation (injection et agricole) ne sont donc pas les plus pérennes.

Nous pouvons nous étonner que les territoires investissent de très grosses sommes dans ce type d'activités sans pouvoir stabiliser la situation.

Notons également que dans les pays ayant développé des méthaniseurs domestiques (donc de très petits volumes), l'abandon de leur utilisation est également fréquent.

Incidences sur la Santé Environnementale

Les incidences sur la santé environnementale (englobant la santé humaine, les dégâts environnementaux, la biodiversité …) simultanées et postérieures à l'exploitation doivent être compensées et assumées par la structure industrielle. Notons des toxicités élevées des substances listées ci-après.



Contaminants et Composés Organiques Volatiles

Les digestats liquides et solides contiennent des contaminants organiques et des composés organiques volatiles à risques environnementaux dont les teneurs et compositions varient avec les intrants : pesticides, PCBs, PAHs, PFAS. Parmi ces derniers, on retrouve à des concentrations bien supérieures à des traces, également selon les intrants, carcinogènes, perturbateurs endocriniens, immuno-suppresseurs, perturbateurs de reproduction, neurotoxiques, mutagènes, tératogènes, perturbateurs thyroïdiens, dérégulateurs insulinaires : Anthracène, Benzènes aromatiques, Bromopropylate, Chlorpyrifos, DDT, Dioxines, Endosulfan, Ethion, Fluoranthène, Furanes, Phenanthrène, Propène, Pyrène, Siloxanes, Méthyl-solixanes, Tetradifon, Terpènes (Toluène, Benzène), Vinclozoline, …

Des concentrations dans des sols suisse épandus de digestats montrent des teneurs en PCB et PAH supérieures à celles obtenues par épandages de composts, et aucun abattement significatif comparé aux composts pour les phtalates, dioxines, furanes, pesticides, fongicides, herbicides … Les teneurs en PCB et PAH des digestats provenant de zones urbaines sont environ le double de celles en zones rurales. Doit-on donc incorporer les intrants urbains (eaux usées, déchets ménagers) aux méthaniseurs ruraux ?

Des COVs sont également émis par les moteurs des cogénérateurs, et peuvent dépasser les seuils admissibles.

Phytosanitaires

Des désherbants (diuron par exemple), pesticides et fongicides sont régulièrement observés.

La méthanisation de boues de STEP montre des transformations possibles de certains composés chlorés utilisés lors des processus d'assainissement, en composés problématiques, notamment carcinogènes.

Métaux lourds

La concentration en métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) des digestats remet en question la soutenabilité du procédé. La méthanisation entraîne un accroissement en métaux lourds des sols via les digestats liquides et solides, comme observé dans les Yvelines, les sols épandus pouvant dépasser largement les seuils admissibles à force d'accumulations successives. La teneur des digestats en la plupart des métaux lourds dépasse les seuils, et certains digestats pourtant agricoles présentent également du chrome hexavalent et de l'arsenic pentavalent hors norme !

En conséquence, la teneur en métaux lourds dans les végétaux alimentaires peut dépasser les seuils admissibles, en Zn dans les laitues Maravilla, et notamment en Cd et Pb pour le maïs grains et Cd, Sb et Sr pour certains

champignons de culture comme *Pleurotus djamor*.

Si les métaux lourds de certains digestats ne semblent pas affecter la croissance de biomasse totale de matière protéinique, en revanche leur concentration fait que cette matière perd de sa valeur comestible.

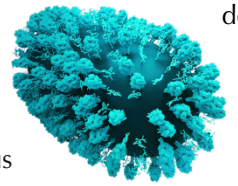
L'augmentation du nombre de méthaniseurs traitants les déchets municipaux doit aussi alerter. La méthanisation ne réduit pas les risques de contamination aux métaux lourds, au mieux elle les redistribue, en particulier les risques liés à Cd et Zn sont hauts. L'Arsenic se retrouve dans les boues de stations d'épurations, ce qui nécessite en principe un traitement de purification ad-hoc avant épandage des digestats des boues.

Le cas des déchets ménagers et de restaurations est là encore particulièrement à surveiller. L'enrichissement en métaux lourds du digestat solide présente un risque écologique considérable de 279,6 particulièrement pour Hg et Cd.

On remarquera que la complexation de certains métaux lourds, comme Zn et Cu, avec des molécules organiques, conduit à des toxicités persistantes.

Persistence de pathogènes dangereux

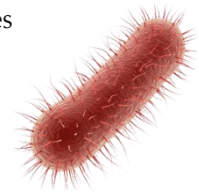
Que les intrants proviennent d'effluents animaux ou de stations d'épurations, le microbiote à l'intérieur des digesteurs contient des formes bactériennes pathogènes.
A 37°C, il reste encore 10% d'œufs d'helminthes *Ascaris suum* dans le digesteur après trois semaines. Des œufs d'Ancylostoma sont majoritaires dans certains digestats.



Ces pathogènes se retrouvent potentiellement dans les digestats.

Les digestats non pasteurisés ne montrent pas un abattement plus prononcé de pathogènes sévères (Coliformes, Helminthes, novovirus, parvovirus porcin, *Salmonella* (*enterica* et *senftenberg*), *Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Enterococcus faecalis, Clostridium* (*botulinum, difficile, perfringens), Cryptosporidium parvum, Mycobacterium sp.*) que l'utilisation d'effluents simples, montrent des effets phytotoxiques, et présentent donc un risque environnemental et sanitaire. Les digestats doivent donc être post-traités pour ne pas représenter un risque important pour la santé et dans les sols. Pour ces digestats aucune réduction des pathogènes de la famille des Clostridies n'est observée, et très peu d'effets antipathogènes en conditions mésophiles.

Les digestats pasteurisés présentent un risque principalement à cause des espèces pathogènes suivantes, qu'il convient de surveiller aux épandages : *Cryptosporidium parvum, Salmonella spp., norovirus, Streptococcus pyogenes, Escherichia coli, Mycobacterium spp., Salmonella typhi* (et *S. paratyphi*), *Clostridium spp., Listeria monocytogenes et Campylobacter coli*.



Plus de 30 espèces de bactéries résistances aux antibiotiques ont été détectées dans les digestats après aérobiose (conditions d'épandages). Les boues de STEP traitées par méthanisation montrent des populations accrues de gènes de bactéries antibiorésistantes comparé à des boues non méthanisées, et ce même avec un traitement hydrothermal à des températures de l'ordre de 140°C. Il y a donc un risque élevé de propagation de nombreuses espèces de bactéries antibio-résistantes, notamment de *Bacillus cereus* et de *Clostridium sp*. A tel point qu'il devient nécessaire de tenter de diminuer les concentrations de gènes résistants aux antibiotiques ainsi que ceux résistants aux métaux lourds. On remarque que certaines molécules augmentent le nombre de gènes antibiorésistants et d'éléments génétiques mobiles, par exemple l'aspartam.

Dans les digestats de boues de STEP, les bactéries des ordres Clostridiales et Bacteriodales et du phylum synergistetes ont tendance à proliférer.

Les déchets ménagers à forte conteneur en huiles font apparaître *Clostridium* et *Longilinea*, qui cassent les longues chaînes. C'est aussi le cas dans les mélanges de lisiers-fumiers et déchets de l'IAA.

Les clostridies sont les bactéries utilisant la plus grande variété de substrats en méthanisation.

Nano-, Micro- et Macro-plastiques

Les digestats les plus sujets à contenir des plastiques (Acrylique, Polyamide, Polychlorure de Vinyl, Polyester, Polyéthylène, Polyéthylène Téréphtalate, Polypropylène (PP), Polystyrène, Polyuréthane, PBAT, PolyLactic Acid (PLA), Poly-3-Hydroxybutirate (P3HB), Mater-Bi (MB) …) sont ceux provenant d'intrants déchets ménagers, en raison d'un tri amont souvent insuffisant et des STEP. L'utilisation de ce type d'intrants doit donc absolument être assortie d'un second tri contrôlé avant incorporation dans les réacteurs de méthanisation. Il a été mesuré jusqu'à 54 000 particules de microplastiques (seuil à 20 µm) par kg de digestat, avec une moyenne à 6 000, et jusqu'à 34 000 dans les sols épandus de digestats.

La présence de macro-plastiques dans les champs épandus de certains digestats est manifeste dès lors qu'il est impossible de vérifier les tonnages d'intrants avec suffisamment de précision, et que les plastiques ne sont que peu décomposés par méthanisation. Il résulte du procédé, également, des nano- et des micro-plastiques invisibles à l'oeil nu, les traitements tels que la séparation de phase n'agissant que sur la répartition des plastiques entre les différents digestats, seul un tri à la source étant efficace pour en diminuer la présence. En conditions thermophiles, certaines bactéries comme *Brevundimonas* et *Sphingobacterium* dégradent certains macro-plastiques (le PLA et le PBAT par exemple). Il résulte des micro- ou nano-plastiques dont les effets sur les sols sont encore plus risqués. Il est relevé en Suisse que 70 t/an de plastiques sont déversés dans les sols par méthanisation. Malheureusement, PLA et PBAT sont souvent également retrouvés avec des thermoplastiques d'amidon (TPS) comme copolymères, eux-mêmes envisagés en méthanisation.

Remarquons que la digestion anaérobie s'opère à une température moins élevée que le compostage, et sans effets d'irradiation UV, ce qui participe d'une moins bonne dégradation des plastiques en méthanisation qu'en compostage.



Le cas des plastiques "biodégradables" : le PLA (acide polylactique) en conditions mésophiles est particulier. Sa décomposition nécessite l'intervention des clostridies, dont l'effet sanitaire potentiel pose la question du bien fondé de son recyclage en filière méthanisation. Les digestats issus de co-digestion avec PLA ont un effet négatif sur les plants de broccolis (*Brassica oleracea*) même à faibles doses de PLA. Le PHBH (poly(3-hydroxybutyrate-*co*-3-hydroxyhexaoate)) résulte en des digestats également phytotoxiques pour la germination des graines de ray-grass. Le PBAT (PolyButylène Adipate co-Terephthalate) n'est dégradé qu'à 11% même en conditions thermophyles (55°C). L'ajout de P3HB diminue la croissance de biomasse aérienne et racinaire des laitues, et baisse l'activité enzymatique des sols. En fait, la plupart des plastiques montrent un indice de biodégradabilité en conditions mésophiles inférieur à 50% (PLA : 30%, PBAT : 25%, PBS : 6,6%, PHBV : 92%, PE : 9,5%, cellulose : 85%). Pour PLA, même la digestion en conditions thermophiles ne laisse estimer une biodégradation maximale que de 20% en situations réelles. Il convient donc d'être prudent lorsqu'on envisage la fabrication de "bio" plastiques à partir de biodéchets ménagers, comme le poly(3-hydroxybutyrate-co-3- hydroxyvalerate) (PHBV).

Les produits de décomposition du polystyrène en digestion anaérobie sont toxiques et altèrent la communauté microbienne.

En France, force est de constater que la pollution des sols par les plastiques provient aussi des digestats de méthaniseurs.

Lorsque la production de méthane n'est pas, ou peu, affectée par les microplastiques, ceux-ci se retrouvent inévitablement dans les digestats et seront donc épandus. Mais le processus peut contribuer à altérer ces microplastiques, ce qui les rends plus divisés et donc plus réactifs dans les sols. Les microplastiques de polypropylène sont de ceux-là, et représentent un risque environemental supplémentaire.

Nanoparticules

De plus en plus de nanoparticules (np) sont utilisées dans des revêtements ou dans des principes médicamenteux. Ces np se retrouvent inévitablement dans les digestats et peuvent avoir un effet important. Il en va ainsi des np de CuO et ZnO, qui augmentent les populations de gènes antibiorésistants dans des boues de STEP digérées. De plus, certaines nanoparticules comme Ag et CuO ont un effet inhibiteur sur la production de CH_4. Il est donc déconseillé de pratiquer la co-digestion en utilisant les boues de STEP.

Traces médicamenteuses

On retrouve des molécules résiduelles médicamenteuses dans les digestats, antibiotiques, stéroïdes, corticoïdes : amoxiciline, ciprofloxacine, fludioxonil, ibuprofène, ipronidazole, nicotine, penicilline G, prednisolone, pyridoxine, phenazone, sulfadiazine, tetracycline, théobromine, triclocarban, triclosan ... Ces présences médicamenteuses ont tendance à développer une faune bactérienne résistante aux antibiotiques, notamment à l'amoxiciline et à la péniciline G, à la sulfonamide, tetracycline, trimetoprim, vancomycin. Les sterols et steroïdes ne sont pas décomposés par la méthanisation. Si certains antibiotiques sont décomposés, tous ne le sont pas, ou pas complètement (Roxithromycine, Chlortetracycline, Enrofloxacine, Sulfadiazine). La diversité en gènes antibiorésistants et antimicrobiens augmente dans le digestat d'effluents de poulets (Atanasova *et al.* 2025). L'ajout de biochar augmente le développement





de gênes antibiorésistants en méthanisation sèche.

Soulevons le fait qu'en général la présence d'antibiotiques dans les intrants participe à une moindre production de méthane. La potentielle utilisation de la méthanisation pour réduire la teneur en antibiotiques est donc confrontée à un compromis (produire CH_4 ou éliminer l'antibiotique), comme dans le cas de la sulfadiazine, un antibiotique à spectre large vétérinaire. Le besoin de rentabilité financière laisse peu de chance à la deuxième option, et laisse place au risque fort de développer des bactéries antibiorésisatntes.

L'épandage de digestats contenant des antibiotiques permet a priori de retrouver ces antibiotiques dans les parties racinaires et aériennes des plantes. C'est par exemple le cas pour les radis et les épinards, en présence de Trimethoprim, flumequine et tilmicosin.

Risques élevés de propagations bactériennes et transformations génétiques

Le risque est élevé de contamination des sols en métaux lourds et en gènes résistants aux antimicrobiens et aux antibiotiques, par épandage de digestats.

En effet, la forte concentration des digestats en éléments génétiques mobiles fait craindre une dissémination de gènes résistants aux antibiotiques.

D'autre part, la présence de nanoplastiques (NP) et microplastiques (MP) augmente la fréquence des gènes antibiorésistants (ARG) et des bactéries antibiorésistantes en méthanisation. Notamment, les NP augmentent les integrons de classe 1, favorisant les gènes résistants à la Tetracycline.

Dans les boues de STEP méthanisées, le polyamide (PA), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS), le polyéthylène (PE)), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polyéthylène téréphtalate (PET) augmentent l'activation de gènes et de bactéries résistants aux antibiotiques, ainsi que le transfert de gènes horizontal. D'autre part, PA, PP et PET augmentent aussi les facteurs de virulence génétique.

En ce qui concerne PS, un traitement thermique jusqu'à 160°C permet une diminution de ces effets, mais cela a évidemment un coût. Les MPs de polychlorure de vinyle stimulent le transfert de gènes aux bactéries pathogènes pour l'homme telle que *Salmonella sp.*.

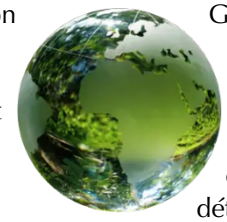
L'agitation est reconnue pour augmenter la diversité bactérienne. Comme la filière méthanisation mise principalement sur la voie infiniment mélangée, nous pouvons donc craindre un renfort de la propagation microbienne.

Face à ces constats, il faut souligner le fait que la diversité, les comportements et les réactivités des systèmes microbiens des digesteurs face aux variabilités des biomasses et conditions de fermentations, sont encore mal connus et dignes de boites noires. Sur seulement 4 usines de méthanisation sud-coréennes, plus de 400 espèces de bactéries exprimant plus de 42 000 gènes ont été mesurés. Dans certains cas (digestion d'effluents de porcs), certains types d'archées méthanisantes comme *Methanothrix* sont clairement responsables des propagations d'ARG occasionnant un réel risque de dissémination si aucune précaution n'est prise vis-à-vis des digestats. La co-digestion (boues de step et microalgues) semble diminuer légèrement cet effet.

Pourtant, le vermicompostage (par *Eisenia foetida*) permet de réduire efficacement le nombre d'ARG, même en présence de tetracycline.

Neutralité carbone

L'hypothèse de "neutralité carbone" de la méthanisation est considérée comme valide a priori dans tous les calculs des organismes et entreprises voulant démontrer l'effet bénéfique de la méthanisation. Cette hypothèse, utilisée en fait pour valider une "neutralité GES", est fausse à moins de remettre en question les travaux du GIEC, dont le dernier rapport est pour le moins alarmant en ce qui concerne CH_4 et CO_2. Mme Valérie Masson-Delmotte, co-présidente du groupe 1 du GIEC, est très claire sur ce constat : (https://onedrive.live.com/?authkey=%21AJtXTMixtzIFm8c&cid=0FB6E53A7F4B61E7&id=FB6E53A7F4B61E7%2128062&parId=FB6E53A7F4B61E7%2126770&o=OneUp). https://youtu.be/oTwvM0jCJ6A.



Cette acceptation du concept de neutralité GES, infondée d'un point de vue physique, est un des facteurs ayant conduit les sciences économiques et les sciences du sol, à une amplification de la capacité des sols à compenser les émissions GES, au détriment de l'environnement.

L'exemple du bois est à ce titre très évocateur et la méthanisation ne déroge pas à ce constat, comme toute utilisation massive de biomasse à des fins énergétiques. C'est aussi le constat de l'Académie des Science Allemande Leopoldina (2012) et de M. Fontecave, Professeur au Collège de France. Même les mix énergétiques très carbonés de l'Allemagne d'il y adix ans et de l'Italie ne permettent pas de trancher en

faveur de la méthanisation d'un point de vue GES.

La "neutralité carbone" est prise comme prétexte pour ne pas comptabiliser la combustion de CH_4 (qui donne CO_2) dans le bilan GES. Mais on comprend bien que si cette combustion a lieu en continu, alors CO_2 est en permanence dans l'atmosphère où il force les radiations terrestres.

"Neutralité carbone" ne veut pas dire "neutralité climatique". Il faut comptabiliser la combustion du méthane.



Cependant, même en ne considérant pas la combustion de CH_4 dans l'analyse du cycle de vie, les résultats sont très contrastés et montrent des gains en GES très éloignés de tout effet significatif. De plus, aujourd'hui les méthaniseurs créent intentionnellement du méthane, les déchets vrais ne suffisant pas. Ceci les fait entrer en compétition avec d'autres énergies moins émettrices de GES et par conséquent augmente les émissions par rapport à un scénario sans méthanisation. Cet effet est bien entendu accentué dès lors que des fuites apparaissent, même faibles (et elles ne le sont pas !), et nous ne pouvons que conclure que la méthanisation augmente les GES considérablement. Les fuites ne sont pas prises en compte dans les ACV.

N'oublions pas que **brûler une source de bioénergie, c'est empêcher le stockage du carbone**, directement ou indirectement, localement ou de manière délocalisée comme le montre une étude récente.

Rappellons que l'accroissement maximum visé (comparé à l'ère préindustrielle) pour la température moyenne sur le globe est de 1,5°C (accords de Paris, 2015), et que cette température sera dépassée bien avant, probablement 2030 quoi que nous fassions. Selon les scenarii, une fourchette de 1,7 – 2,3°C représente un point de non-retour pour l'élévation du niveau moyen des mers de quelques mètres, qui impactera durablement (des dizaines de milliers d'années) les traits de côtes et les ressources diverses attenantes. A ce titre, la méthanisation contribuera de manière d'autant plus importante qu'elle délivrera de l'énergie.

Balance environnementale, Emissions de GES et Gaz à effets sanitaires

La balance environnementale de la méthanisation en termes d'émission de gaz divers, à effet de serre (GES) tels que CO_2, CH_4 et N_2O et/ou à effets sanitaires tels que NH_3, H_2S, NO_x, CO, composés organiques volatiles (COV) …, ne peut pas être positive pour de multiples raisons.

Gaz à Effet de Serre (GES)

Les émissions de méthane ont un impact climatique majeur. Pourtant, deux études montrent d'une part que seulement 13% de ces émissions sont prises en compte, et encore avec une efficacité non, et d'autre part que plus de 50% de ces émissions pourraient être évitées pour un coût net nul pour l'exploitant.

Concernant les émissions de GES de la méthanisation, le CSNM et le GREFFE l'ont calculé, ces dernières sont plus importantes qu'avec l'utilisation du gaz naturel. Certains auteurs le montrent clairement pour certains types de cultures énergétiques. Alors que GRDF et ADEME annoncent des émissions (sans calcul détaillé) de 23 à 48 g-eqCO_2/kWh, le CSNM calcule 400 à 700, selon les prises en compte voire bien plus en incluant les fuites. D'autres organismes donnent par exemple 490. Il est impératif de prendre en compte tous les GES, y compris les GES non-CO_2.

Même en utilisant des valeurs d'émissions (fausses) calquées sur les estimations ADEME, les gains en termes d'émissions GES restent négligeables. Par exemple, une baisse des émissions du Qatar au maximum de 1,4% est obtenue en méthanisant toutes les boues de STEP, tous les déchets organiques des ménages, et tous les effluents d'élevages. Une comparaison avec le photovoltaïque montre que ce dernier est au moins 3 fois moins émetteur que la méthanisation, en Chine et Ethiopie.

Une étude basée sur plus de 50 méthaniseurs de boues de STEP des USA montre des taux d'émission de CH_4 de 0,4% à 65% ! Que le méthane soit utilisé en cogénération et chaleur ou en injection. Cette étude montre très clairement que les dispositifs de mesure des fuites sont très en deça des nécessités climatiques en 2026.

Pour une évaluation sérieuse des émissions il faut prendre en compte :

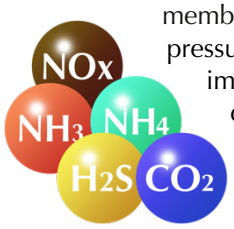
Les fuites de méthane sur sites et en lignes avec les PRG corrects des gaz CH_4 et N_2O sur la durée de vie des méthaniseurs qui n'est jamais mentionnée. Nous mesurons 7,6 ans à cessation d'activité, soit un PRG(CH_4) d'au moins 86 ! Des estimations de cycles de vie et de rentabilité financière prennent 15 à 30 ans de durée de vie seulement.
Les fuites de méthane sur sites (agricoles, STEP et ISDND, mais aussi microméthaniseurs et méthaniseurs domestiques), à toutes les étapes (stockages d'intrants, digesteurs, épurateurs,

stockages de digestats …), représentent des émissions GES considérables et reconnues.

Le stockage des digestats représente la source la plus importante d'émissions de CH_4, jusqu'à plus de 21% du total produit, les stockages à ciel ouvert émettant évidemment plus que les zones couvertes, mais ces dernières restant des émetteurs importants.

La phase de production de biogaz est la seconde plus émettrice, jusqu'à 9,9%. Les émissions proviennent des digesteurs, des hygiénisateurs, les valves de pression pouvant représenter 2%.

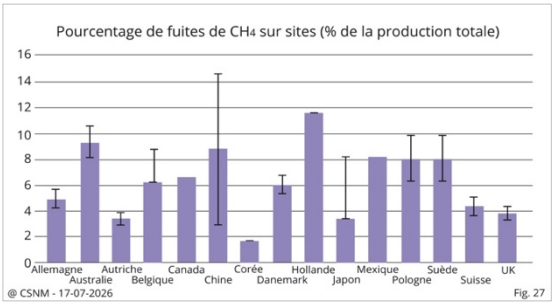
Comme troisième source importante d'émissions, la phase d'épuration du biogaz en biométhane peut représenter à elle seule des fuites allant jusqu'à 5,5% du total du CH_4 produit, à cause des valves de sécurité, des systèmes de ventilation et aération, pompes, membranes, produits d'addition et réactifs, pressurisation … Or la réglementation ICPE impose en principe que cette phase d'épuration du biogaz et de purification de CO_2 ne dépasse pas 1%. Le non-dépassement de ce seuil devrait être vérifié en continu.



La phase d'injection sur le réseau de gaz nécessite également une fuite pour la mesure de contrôle des gaz injectés, de 50 t/an eqCO_2.

La phase de stockage d'intrants lisiers-fumiers peut représenter de 1 à 48% de pertes de méthane ! Cependant les plus fortes pertes de CH_4 sont observées sur des méthaniseurs domestiques, non représentatifs de la moyenne des méthaniseurs français. Une valeur maximale de 3,1% du total produit découle d'analyses plus appropriées. Signalons que les zones de stockages sont le siège de fermentations anaérobie allant jusqu'à l'auto-inflammation et le déclenchement d'incendies par exemple.

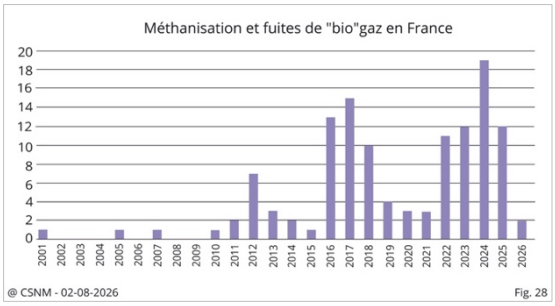
Les fuites en lignes de distribution, les cultures, les manipulations de digestats et d'intrants, les phases de post-compostage, d'épandages, d'assèchement, de centrifugations, de cogénération sont quasi absentes des bilans GES.



85% des méthaniseurs fuient, avec une moyenne de 6,3±0,5% du total produit (établie sur 217 sites mesurés, (Fig. 27)). Ce qui pour la France représente aujourd'hui une émission équivalente de plus de 14 Mt de CO_2 chaque année. Il est donc absolument nécessaire de contrôler périodiquement les émissions de CH_4 et de prendre des mesures correctives efficientes.

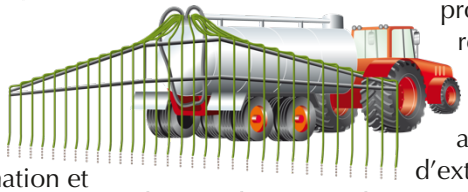
Générer ces fuites de méthane, c'est comme ramener autant de méthane fossile à l'air libre !

Bien évidemment (Fig. 28) les méthaniseurs français sont également sujets à fuites de méthane, de la conception à l'exploitation en passant par les phases de maintenance et d'incidents techniques divers. Les émissions de méthane sur les zones d'intrants sont conséquentes et visibles très clairement par satellite.



<u>Les émissions aux épandages et après épandages.</u>

Ces émissions sont souvent oubliées, et sont pourtant avérées à tel point que des programmes de recherche tentent de les inhiber par des traitements auxiliaires ou d'extraire NH_3 du digestat, le tout au détriment de l'efficacité globale du procédé. Selon les sols et les conditions hydriques, le fumier épandu émet moins de CO_2 qu'un digestat solide, et un fertilisant classique minéral montre des émissions de N_2O plus faibles qu'un digestat solide. Le compost et l'épandage de lisiers de porcs émettent moins de NH_3 que l'épandage de digestat de déchets alimentaires. Certains envisagent l'utilisation de bactéries réductrices de N_2O pour éviter une partie de la dénitrification et des émissions de GES. Ou bien l'ajout d'élément métalliques traces (dont le cobalt de plus en plus rare !) durant la digestion. Lorsque des émissions plus faibles de CH_4 aux épandages sont associées à l'utilisation de digestat, l'effet est simplement dû au faible taux de carbone dans ce dernier.



Les digestats liquides étant très évaporables et très lixiviables, leurs émissions de N_2O dépend beaucoup de l'humidité des sols et de leur alcalinité. Pour différents types de sols, les émissions de N_2O et CO_2 sont jusqu'à 2 fois plus fortes par utilisation de digestat solide que par simple utilisation d'urée, ou fumiers.

L'intensité des émissions de gaz aux épandages de digestats ne sont diminuées que par un facteur 2 en utilisant des systèmes à enfouissement direct à disques, et elles décroissent moins rapidement dans le temps, comparé à un épandage par pulvérisation directe. Les épandages sur disques rotatifs doivent être absolument proscrits.

La séparation de phase du digestat, pour être favorable d'un point de vue émissions GES comparée à un épandage brut, doit être opérée en utilisant une énergie renouvelable.

<u>Les émissions dues à la purification du biogaz en biométhane et l'injection de ce dernier avec sa phase de pressurisation.</u>

La purification du biogaz nécessite de retirer CO_2, H_2S et divers autres composés comme les siloxanes, et il n'est pas rare de mesurer des fuites lors de l'épuration de l'ordre de 0,4% et allant jusqu'à 1,4% du total de CH_4 pur produit. De tels niveaux de fuites (dites aussi "fugitives" ou encore "offgaz") sont purement incompatibles avec tout bénéfice climatique.

Aussi, gardons à ml'esprit que retirer CO_2 du biogaz veut dire émettre CO_2 dans l'atmosphère !

Mais la purification nécessite aussi l'émission de CO_2 de façon directe ou indirecte, puisqu'il est nécessaire de consommer d'autres produits et d'utiliser des procédés ad-hoc :

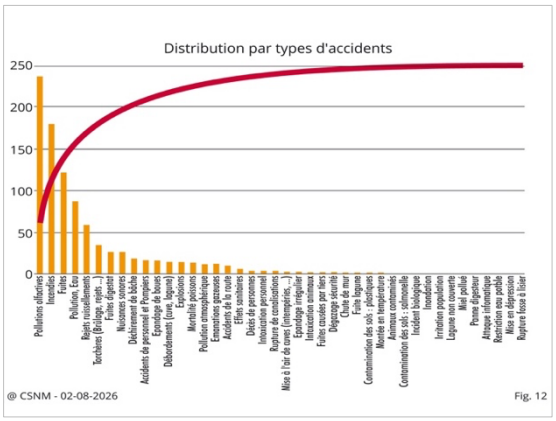
- H_2S : charbons actifs, charbons actifs dérivés de bois dur, sorbants solides, filtration et biofiltration anoxique, assèchement membranaire, gel de silice, zéolithes …
- CO_2 : catalyseurs contenant souvent des métaux et/ou terres rares, charbons actifs, absorption chimique sur amines, microalgues et nanoparticules, gel de silice, zéolithes et MOFs ...
- H_2O : activation par traitement au peroxymonosulfate, gel de silice, zéolithes ...
- Siloxanes : sorbants solides ...

Evidemment tous ces procédés énergivores abaissent aussi l'efficacité globale du procédé en termes énergétiques, de réductions de GES et de rentabilité.

Parmi ces émissions il faut aussi comptabiliser les rejets dus aux torchages de biogaz, soit pendant la phase de mise en route (jusqu'à quelques mois), soit pendant la phase d'exploitation à cause de défaillances techniques ou de surproductions. Ces émissions ne sont pas prises en compte dans les bilans atmosphériques, pourtant les torchages sont très fréquents (Fig.12).

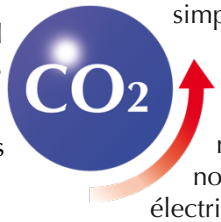


Il convient aussi de prendre en compte les émissions occasionnées lors de la phase de récupération de CO_2 (si cette phase est présente sur le méthaniseur), qui nécessite souvent une purification supplémentaire même après épuration du biogaz (surtout si le CO_2 récupéré doit servir la filière alimentaire).



<u>La faim en carbone des sols et les effets de changement d'affectation des terres, directs et indirects (DLUC et ILUC resp.).</u>

Lorsque les effets directs seuls sont pris en compte, il devient clair que la méthanisation des cultures énergétiques, même les plus méthanogènes, émet plus de GES que les simples coupes de prairies naturelles.



Pour la seule implantation de l'usine, nous estimons à 23,3 m^2/kW installé la surface nécessaire pour une puissance nominale installée de 1 kW électrique, en accord avec celui estimé sur le territoire italien. On peut facilement imaginer ce qu'il advient en prenant en compte les effets indirects, la balance GES devient vite négative.

D'autre part, les digestats sont plus minéralisés (donc émettent plus de CO_2) que les sols naturels.

<u>Les étapes de cultures énergétiques en incluant tous les trajets et stockages</u>

On remarque par exemple que certaines cultures traversent les frontières pour alimenter les méthaniseurs. Ces cultures sont en grande partie responsables des GES de la filière et de son mauvais rendement climatique.

Générer des cultures à méthaniser, c'est générer du méthane supplémentaire dans l'atmosphère (stockages, fuites) qui n'existait pas auparavant, comme avec du méthane fossile !

Ainsi, sans tenir compte de la durée de vie du méthaniseur (en prenant un PRG du méthane sur 100 ans au lieu de la durée de vie réelle), sans tenir compte de la combustion du biogaz et/ou biométhane, et sans tenir compte des facteurs négligés cités ci-dessus, la balance GES de la méthanisation est déjà supérieure à celle du gaz naturel, et, toujours dans ces mêmes conditions, le gain par rapport à l'utilisation de véhicules fuel est extrêmement faible, de l'ordre de 0,18 g eq-CO_2/kWh.

Mais il s'avère également que selon les substrats de cultures énergétiques, les émissions de CO_2 sont jusqu'à trois fois plus importantes en produisant du biométhane qu'en utilisant du gaz naturel.

Les phases de traitements des digestats

Le compostage de digestat, dans le cas des biodéchets, émet plus de CH_4 et de N_2O que le compostage des mêmes biodéchets bruts.

La microfiltration aussi émet des GES directs et indirects.

Les phases de séchage de digestat aussi impliquent des émissions. Par exemple le séchage par évaporation-condensation.

Les différentes additions comme le biochar doivent également être prises en compte. La production du biochar elle-même implique des émissions de GES conséquentes, et l'épandage de biochar contribue à augmenter les émissions de CO_2 et N_2O), selon les sols. Par exemple, lorsque le biochar est additionné au digestat pour fertilisation d'ivraie vivace (ray-grass, *Lolium perenne*) en labour conventionnel, les émissions de N_2O dues à l'utilisation de ce mélange ne sont pas significativement diminuées comparé à l'utilisation du digestat seul.

Dans le cas du GNL porté

Il faut également rajouter les étapes de liquéfaction, de transport et de chargements-déchargements des réservoirs portés, toutes ces étapes pouvant donner lieu à des fuites de CO_2 et de CH_4. La filière GNL (venant de l'étranger par méthaniers) montre 10 fois plus d'émissions de GES que la filière GN avec plus de 20 g CO_2/kWh et plus de 0,2 g CH_4/kWh rien que pour l'étape de liquéfaction. Les bâteaux de croisières ne sont pas exempt non plus de fuites de méthane, entre 1,7 et 3,1%.

Force est de constater que toutes les contributions précédentes ne sont pas comptabilisées.

Gaz à Effet Sanitaires

Concernant les émissions de gaz à effets sanitaires (NH_3 créant particules fines, COV, cancérigènes, CO, NO_x, SO_2 …) :

De nombreuses études scientifiques existent sur les émissions de ce type de gaz, à des distances variables du site de production et des sites d'épandages. Il est absolument nécessaire de couvrir les zones de stockages d'intrants et de digestats et d'épandre par enfouissement rapidement. L'Allemagne modifie sa législation pour abattre ces émissions.



Les lagunes de digestat non couvertes émettent du méthane (GES) de 1 à 9 g CH_4/m^3/jour, et de l'ammoniac (NH_3), précurseur de particules fines, à raison de plus de 5 g/m^2/semaine. Selon les conditions de température, les pertes de NH_3 peuvent s'étendre de 10 à 45% de l'azote total des digestats en à peine un mois. Cette clause de couverture n'a pas été incluse lors de la révision des décrets AMPG 2781, alors que le CSNM et le CNVMch le demandaient.

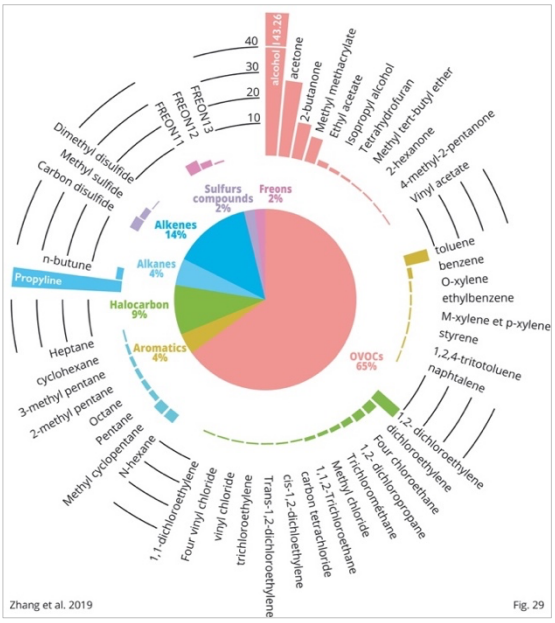
Les traitements acides ou par biochar des digestats pour limiter l'évaporation de NH_3 doivent comptabiliser les GES émis pour la fabrication des précurseurs. Malgré cela, le biochar additionné au digestat ne diminue pas les émissions de NH_3 et N_2O significativement (culture d'ivraie vivace, *Lolium perenne*, labour conventionnel, luvisol.

L'épandage de digestat, même avec un système de pendillard, émet jusqu'à 12% de NH_3.

La filtration des digestats est également source d'émissions de NH_3, 0,3% en moyenne.

Pas moins de 63 COV différents sont détectés dans les émanations de digestats (Fig.29), beaucoup d'entre eux étant responsable de la création d'ozone troposphérique, cancérigène. Les émissions de biogaz sur sites montrent la présence de COV dangereux tels que terpènes, (Benzène, Toluène, γ-Terpinène, Limonène, β-Pinène), BTEX (Ethylbenzène, m-, p- et o-Xylènes), cétones, siloxanes …. Les BTEX notamment ont montré des effets inflammatoires sur des cultures de cellules de poumons humains.

Des COVs et du CO sont également détectés au-dessus des seuils admissibles à la combustion en cogénération et bien sûr aux épandages.



Certaines voies de pastillage-séchage de digestat à des fins de réduction de volume pour transport, entraînent jusqu'à 95% de volatilisation de NH_3 !

Carbone Organique des Sols, amendement

COS et méthanisation

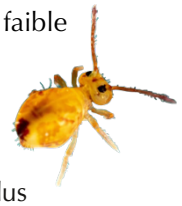
Le bénéfice carbone pour les sols et leur équilibre grâce à la méthanisation est une affirmation qui ne peut être que fausse puisque le carbone y est en circuit extrêmement court à cause de la méthanisation.

En termes de COS et bilans humiques les sols épandus de digestats solides et liquides ne montrent que peu de différence par rapport à des sols non fertilisés par digestat, de deux à quatre années. Alors qu'un compost permet de mobiliser plus de 90% de son carbone organique pour les sols, les digestats n'offrent que 50 à 80%. La proportion de chaines carbonées stables restant dans le sol à long terme est inférieure après méthanisation ou digestion naturelle (environ 14% de baisse) comparée au retour simple de la biomasse au sol. Il est par conséquent nécessaire de post-traiter les digestats pour leur conférer un caractère d'amendement suffisant. La double digestion accentue le départ de carbone labile de la biomasse, et par conséquent amoindri le caractère amendant du digestat.

L'apport de digestat tend à diminuer le rapport C/N du sol épandu comparé au sol sans épandage. Il est démontré que le digestat d'effluents bovins ne peut pas être considéré comme un amendement. Les fumiers entraînent à court terme (un à deux ans) un amendement plus important que les digestats liquides et solides jusqu'à 10 cm de sol arable. L'utilisation de digestat solide pour des croissances en pots de basilic sont plus que mitigés. Pour la même quantité d'intrants initiale, des modélisations montrent que l'apport de digestat au sol incorpore moins de C labile et moins de C stable jusqu'à 100 ans, que l'incorporation au sol direct de fumier de bovins et paille de blé. Ceci ne peut qu'occasionner un appauvrissement des sols progressif.



Comme le démontre le programme Ad'Métha (2020-2023), l'utilisation de CIPAN au lieu de CIVE permet d'obtenir plus de carbone dans les sols, et moins de stress hydrique. Le programme MéthaBioSol montre également la trop faible teneur en C des digestat et le faible amendement résultant et "qu'une application de digestat répétée sur une même parcelle entraîne une diminution du COS".



La respiration biologique des sols épandus (un paramètre mesurant l'activité des microorganismes du sol) est inférieure à celle des sols non épandus. Cette diminution peut être associée à une baisse de la diversité microbienne du digestat, environ deux fois plus faible que celle du digestat composté. Le stress induit par le manque de carbone labile sur la sphère microbienne met en compétition cette dernière avec la macrofaune telle que les vers de terre.



Les risques environnementaux et la toxicité des digestats pour les sols sont élevés.

Il faut se méfier des fausses positivités de l'effet des digestats sur le COS. En effet, dès lors que la teneur en COS du sol où l'épandage de digestat a lieu est plus faible que celle du digestat, il est normal de voir une augmentation du COS dans le sol. Mais ce qui compte, ce n'est pas cette augmentation brute, c'est d'établir un bilan global sur toute la surface utilisée pour produire les intrants de méthanisation, pour voir si le digestat recueilli augmente le COS sur toute cette surface. Illustrons cet aspect et pourquoi des faux COS positifs peuvent être observés :

Imaginons une culture sur 10 km^2 ne servant que le méthaniseur, et que le digestat recueilli soit épandu sur ces 10 km^2. Un bilan COS positif a peu de chance d'apparaître, puisque, en gros 10% de la masse d'intrants est partie dans les gaz (CH_4, CO_2 notamment), avec leurs atomes de carbone. En revanche, si la chalandise des intrants s'opère sur une surface supérieure aux 10 km^2 servant à l'épandage, alors les atomes de carbone provenant de

l'extérieur du périmètre peuvent venir renforcer le COS. Mais c'est un faux positif car la surface hors périmètre d'exploitation aura elle vu son COS diminuer. C'est un effet de concentration couramment rencontré et ignoré (volontairement ?). Par exemple une ferme de l'Iowa a mesuré pendant 12 années le COS de son exploitation et a remarqué une augmentation du COS au maximum de 30% sur certaines de ses parcelles. Mais les intrants comportent 40% d'apports de biomasse extérieurs sous forme de déchets ménagers ! Ainsi le bilan est plutôt COS négatif de 0,8%/an. Attention, cet effet de concentration concerne potentiellement toutes les espèces entrantes. Par exemple les métaux lourds peuvent se concentrer sur le périmètre cultural par apports venant de l'extérieur ...

Le biochar (hydrochar et pyrochar) un bienfait pour le COS ?

Ah le biochar ou hydrochar (obtenu par carbonisation hydrothermale) ou pyrochar (obtenu par pyrolyse) ! De nombreuses équipes scientifiques travaillent sur cette voie (voir « Dérives » page 29). Puisque certains imaginent pyrolyser le digestat, pour récupérer les cendres et les mettre dans les sols, les combiner à d'autres digestats avant de les retourner au sol pour les amender, voire les incinérer, arrêtons-nous deux minutes sur le biochar.



La pyrolyse nécessite de hautes température en atmosphère contrôlée (sans trop d'oxygène sinon on brûle tout et le résultat est qu'il ne reste rien) : l'énergie consommée pour chauffer et les émissions doivent être prises en compte dans le bilan global. La carbonisation hydrothermale nécessite un peu moins de température, mais tout de même 120-200°C.

La fabrication du biochar consiste donc à pyrolyser de la biomasse (biochar = charbon de végétaux), c'est à dire à faire du charbon tout court, pas plus bio qu'un charbon naturel puisqu'il a été fait de façon synthétique. Tout comme le charbon de bois. Pour pouvoir délivrer un peu d'énergie, en émettant du CO_2, et récupérer les cendres pour les retourner au sol (c'est en fait la seule issue permettant de résorber le stock de ce résidu, donc ça arrange bien l'affaire : même principe que pour le digestat, on a des Mt de résidus).

La filière est bien entendu enveloppée en défendant le caractère amendant du biochar, en prétendant l'amélioration du sol. Rappelons-nous que les Mayas et les Incas utilisaient leurs cendres pour les sols bien avant nous. A petite échelle, sans cumuler culture et épandages de cendres au même endroit trop fréquemment : le carbone pur tel que le charbon n'est pas une matière que les plantes vont pouvoir assimiler rapidement, il faut faire travailler quelques microorganismes avant. Ceux-là même qui préfèreraient de la biomasse pour vivre, alors qu'on la leur dérobe pour la pyrolyser. Ils vont donc mourir.

Les ex brûlis, écobuages et étrépages, présents dans l'antiquité et jusqu'à des périodes récentes partout au monde, faisaient en gros la même chose. Sauf qu'ils étaient pratiqués avec parcimonie pour ne pas détériorer les sols. L'infertilisation des sols était en ces temps là un paramètre pris vraiment au sérieux, car les sols étaient la seule source d'énergie véritable : manger. Aujourd'hui manger semble être une question détachée de la réalité tellement on n'a plus besoin d'y penser quotidiennement, on achète et on a à manger. Des cerises du Chili, des mangues du Mexique et des bananes des Canaries à la vanille de Madagascar. C'est pourtant la seule réalité qui devrait nous préoccuper, car elle est en instance de disparaître, alors même qu'elle restera toujours l'énergie nécessaire n°1. Le prix du gaz et sa provenance importent peu si on n'a rien à faire cuire.

On remarquera au passage que l'ajout de biochar en méthanisation d'effluents permet de ramener du C dans les effluents qui en possèdent peu. Ainsi, la co-méthanisation biochar- effluent, biochar-effluents-pailles de riz, biochar-glucose, biochar-eaux de manioc, biochar-boues de STEP permet d'obtenir un peu plus de CH_4 qu'avec ces intrants seuls. Il en va de même pour l'ajout de biochar de germes de malt dans des eaux vertes de brasseries elles aussi de faible teneur en C. Toujours au détriment des sols qui ne verront pas revenir ce carbone et des élevages dont l'alimentation pourrait bénéficier de ces substrats. Par contre l'ajout de biochar n'occasionne pas de CH_4 supplémentaire dans d'autres substrats. Egalement, l'ajout de biochar augmente le développement de gênes antibiorésistant en méthanisation sèche.

De plus, lorsque le biochar est additionné au digestat pour fertilisation d'ivraie vivace (ray-grass, *Lolium perenne*) en labour conventionnel, les émissions de N_2O dues à l'utilisation de ce mélange ne sont pas significativement diminuées comparé à l'utilisation du digestat seul. En addition dans un compost de déchets ménagers, le biochar (de noix de coco) ne montre pas d'effet de synergie comme annoncé par certains groupes, et les émissions dues à la fabrication du

biochar ne sont pas prises en compte dans le bilan. L'addition de biochar de pommes de pins dans le digestat (d'effluent bovin + lactoserum) n'améliore pas non plus la croissance ni le taux de germination des laitues.

Corrolaire : dans toute biomasse il y a C, H, O, N, S, P, K. En pyrolysant, puis en brûlant, C devient CO_2, S devient SOx, et N devient NOx, beaucoup se combinent en COV et particules fines ... espérons que les filtres ad-hoc soient placés aux bons endroits en pyrolyse.

Nous sommes donc bien avec le biochar dans la même idéologie que pour la méthanisation, en pire ! Le méthaniseur laisse en gros 10% de lignine qui retourne au champ. C'est très peu, déjà dramatique, mais mieux que rien. La pyrolyse utilise aussi la lignine. Plus rien ne reste pour les sols donc, qu'un peu de carbone indigeste. Car ne nous y trompons pas, les mêmes acteurs sont derrière.

Doit-on donc passer par une étape biochar, sachant que dans le biochar, et en particulier celui de boues de STEP, des molécules cancérigènes (en particulier chez les enfants) se retrouvent dans les digestats ? En tout cas, dans des sols fertiles, l'ajout de biochar au sol (avec ou sans digestat) ne sert ni à fertiliser le maïs, ni à limiter la lixiviation des nitrates, sur trois ans d'application.

Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE)



Le recours aux CIVE comme couvert végétal est aujourd'hui quasi généralisé en France. Ces couverts deviennent les remplaçants des CIPAN (Culture Intermédiaire Piège A Nitrates) dont la biomasse revenait au sol après la saison intermédiaire, comme amendement, tout en stockant les nitrates résiduels. On voit qu'avec les CIVE, le côté amendement est sacrifié, puisque la partie aérienne des plants part en méthanisation.

Mais également, l'introduction des CIVE dans la rotation annuelle tend à privilégier ces dernières au détriment des cultures nourricières, vu leur rentabilité. Aussi, leur introduction a un impact potentiel sur les cultures sucessives. Ainsi après quelques années d'utilisation en région céréalière française, les CIVE ont entrainé une baisse de rendement des cultures suivantes de 10 à 40% pour un tiers des fermes les ayant utilisées.

Effet fertilisant des digestats



Il n'est pas juste de présenter les digestats comme de meilleurs engrais, sauf à considérer que l'agrochimie des engrais a menti aux agriculteurs depuis des dizaines d'années en leur vendant des ammonitrates et non pas des ions ammonium (solutions ammoniacales) directement. Les digestats souvent ne correspondent pas aux régulations françaises et européennes.

D'ailleurs les études à court terme utilisent souvent comme référence celle des engrais "traditionnels" ou "chimiques" et ne montrent pas de différence remarquable quant à la croissance de biomasse, voire plutôt en faveur de l'utilisation des ammonitrates avec moins d'azote résiduelle dans le sol, soit avec plus d'azote résiduelle dans le sol. Dans ce dernier cas (moins de croissance de biomasse et moins de N minéral résiduel), le différentiel en N est forcément soit lixivié soit évaporé plus fortement.

Les engrais traditionnels augmentent également la biomasse de sorgho (*Sorghum bicolor sudanense*) et de tomate sans différence flagrante comparé aux digestats liquide et solide. Les digestats d'aquaculture (de tilapia, *Oreochromis niloticus*) n'ont pas d'effet sur la croissance de tomates (*Solanum lycopersicum*) et d'onions (*Allium cepa*), contrairement aux engrais NPK. Les digestats de déchets alimentaires acidifiés et séchés entrainent une plus faible croissance du blé, comparé à l'utilisation d'ammonitrate d'urée. Les digestats de boues d'épuration conduisent aussi à une masse sèche de blé (*Triticum aestivum*) plus faible que les fertilisants habituel. Les digestats d'effluents d'élevage ne montrent pas d'effet notable, comparé à un fertilisant NK, sur la masse sèche de patates douces cultivée en sol sableux. Le rendement en aubergines (*Solanum melongena*) est supérieur avec un fertilisant usuel qu'avec du digestat. Un fertilisant minéral produit plus de masse sèche de grains de maïs que les digestats de maïs ensillé et effluents dans un sol acide. Les ammonitrates donnent des rendements de croissance similaires à ceux des digestats pour le colza.

L'utilisation répétée de digestat sur la culture de maïs montre une décroissance de



rendement en maïs grain sur trois ans, et il en va de même pour l'herbe *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Trifolium repens* et *Trifolium pratense*. Dès la deuxième année, l'application de digestat d'effluents de

porcs montre une moins bonne croissance des grains de blé que l'application de NPK. L'application d'urée et de DCD entraîne plus d'activité photosynthétique et de prise de biomasse que l'utilisation de digestat sur l'olivier commun (*Olea europaea*). Le digestat de fumier équin composté ou non avec de la paille de blé diminue le rendement en champignons (*Agaricus bisporus* et autres espèces *Agaricus*). Le compostage de digestat liquide et de pailles de céréales a un effet négatif sur la croissance du noisetier et mitigé sur l'olivier. Un taux d'à peine 0,1% N a un effet inhibiteur sur la croissance du bouleau (*Betula pendula*) et son taux de survie. Comparé à un substrat traditionnel, l'addition de 15% de digestat solide n'a aucun effet significatif sur la croissance des pleurotes (*Pleurotus ostreatus*) alors même que la teneur en N, P et K du digestat est très supérieure !

Les digestats solides ne favorisent pas la teneur en antioxydants ni en composés phénoliques des tomates matures (*Solanum lycopersicum*) sur tourbe, par contre diminuent les rendements et augmentent les déchets de fruits. La culture de souci ornemental est également mieux fertilisée par la tourbe que par les digestats solides de différentes matières méthanisées (végétaux, effluents divers), et les digestats solides de silphie (*Silphium perfoliatum*) montrent les moins bonnes croissances.



Concernant les laitues (*Lactuca sativa*), l'application de lisiers de porcs, de litières de volailles ou de fumiers de vache permet un meilleur développement massique des laitues que l'application de leurs digestats, et l'humus résiduel contenu dans le digestat d'effluents reste inférieur et insuffisant à celui nécessaire à une fertilisation normale. La masse de laitues est aussi élevée sans fertilisant qu'avec digestat de lisiers de porcs, et l'application de digestats d'eaux de brasseries diminue l'indice de germination. En sols à faible C/N, l'utilisation d'engrais NPK classiques entraîne plus de feuilles et de rendement à l'hectare que le digestat liquide (pourtant de fort C/N=8, c'est à dire une digestion incomplète) de pulpes de fruits de margousiers (*Azadirachta indica*) et effluents ovins. Le compost reste plus efficace que le digestat solide (de C/N=18 fort lui aussi). Les digestats de lisier bovin et lactoserum avec ou sans biochar de pommes de pins, ne montrent pas d'avantage quant à l'indice de germination, la masse foliaire et l'indice chlorophyllaire, par rapport à l'utilisation d'urée. En culture hors-sol de laitues, le digestat d'effluents bovins ne suffit pas à obtenir des maxima de rendements.

Sur des plants de mûres, la répétition d'utilisation de digestats de boues de STEP ne montre pas de différence particulière comparé à celle d'engrais chimiques traditionnels. Le taux de P est plus élevé dans les racines et pousses de maïs en utilisant un engrais NPK qu'avec du digestat provenant de co-digestion d'ensilage de maïs et d'effluents de poulets.

Les fourrages de sols riches en matière organique voient leur quantité de matière sèche diminuer sous l'action des digestats de déchets IAA.

Les taux d'azote apportés par les digestats doivent donc rester très modérés.

Comparé à aucune fertilisation, l'ajoût de digestat liquide n'entraîne pas de croissance particulièrement plus forte des feuilles, des plants et des fruits chez le concombre (*Cucumis sativus*). Pour cette espèce, la croissance racinaire est même plus prononcée sans fertilisant qu'avec le digestat modifié.

L'épandage de boues de STEP et de digestat reste en large faveur du premier sur quatre espèces de plantes (*Alyssum murale, Lupinus albus, Fagopyrum esculentum, and Carthamus tinctorius*) : plus de nutriments totaux et labiles (P, Fe, Mn, Zn, Ni) dans le sol (lumisol), plus de matière organique, et plus de prise racinaire de P, moins d'éléments non essentiels (Ge, Ga, terres rares).

Utiliser les digestats pour la croissance algale ne donne pas de résultat meilleur que les témoins, voire est moins bon pour l'algue *Tribonema minus* sauf à garantir un digestat de pH neutre ... Inversement, utiliser le digestat d'algues rouges (*Furcellaria lumbricalis*) pour la fertilisation de basilic montre des résultats peu clairs jusqu'à 3% de digestat et moins bon que le témoin au dessus, sans comparer à une fertilisation naturelle par retour au sol des algues.

Les propriétés antioxydantes (polyphénols, flavonoids, activité de piégeage de radicaux) des feuilles de chanvre fertilisé au digestat diminuent.

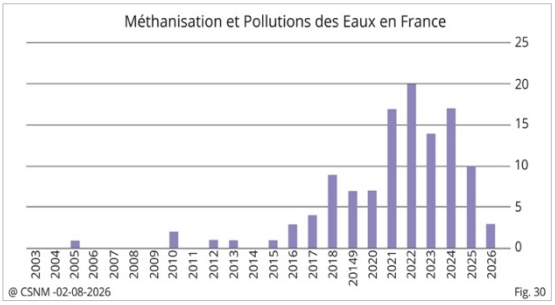
Même sur sols dégradés (C/N=11), l'application de digestat entraîne une baisse du rapport C/N, qui met 8 mois à retrouver sa valeur initiale. Finalement, seuls les sols très pauvres en nutriments et en humus peuvent bénéficier de l'apport de digestat, comme les sols rouges. Il en va de même pour les propriétés mécaniques, seuls les sols dégradés bénéficient de propriétés accrues après épandage de digestats de méthanisation.

Finalement, les sols ne voient leur taux de carbone et de nutriments (K, P) augmenter avec un apport de digestats d'effluents, que si de la biomasse est intégrée au sol pour décomposition, comme sur les sols de cultures de blé et l'apport d'armoise (*Artemisia dubia*).

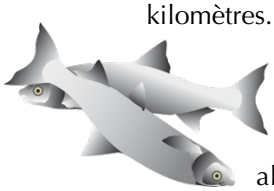
Pollutions aquatiques

Des situations inquiétantes

L'impact de l'utilisation de CIVEs et autres cultures dédiées à la méthanisation sur les ressources en eau, la biodiversité et l'environnement n'est pas évalué. Or les pollutions aquatiques dues à la méthanisation ne cessent d'augmenter à cause des fuites diverses, des ruissellements dus aux zones de stockages d'intrants, et des épandages de digestats. De fait, nous observons plus d'une pollution aquatique par mois depuis 2021, et ces pollutions sont accompagnées d'une forte mortalité de diverses espèces aquatiques (Fig.30). Le déversement de digestat dans les eaux douces modifie le pH, la conductivité électrique, la concentration en ions ammonium, le potentiel redox et surtout la communauté microbienne des eaux pendant quelques jours même avec des digestats issus de méthanisation de cultures.



La plupart du temps ces pollutions sont accompagnées de mortalités importantes de poissons et autres espèces, s'étendant sur des kilomètres. Or les infiltrations de nitrates sont moins importantes lors des épandages de lisiers de porcs et de composts, que de digestats de restes alimentaires. Ceci est logique, puisque la lixiviation de l'azote au travers des sols est moins prononcée pour des rapports C/N plus importants, ce qui le cas de ces derniers.



L'incorporation d'intrants provenant de l'extérieur du périmètre cultural conduit à augmenter les risques de pollutions et d'eutrophisation par effet de concentration.

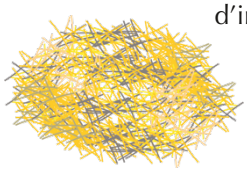
A l'étranger

Les pollutions aquatiques sont également fréquentes à l'étranger, et commencent à être pénalisées. Par exemple, une rivière polluée en 2022 au Royaume-Uni par déversement d'environ 10 m^3 de digestat n'ayant toujours pas retrouvé en 2026 son équilibre piscicole initial, s'est vu infliger une amende de 3700 £. En Malaisie, un élevage de poulets est en cause.

Concurrences à la surface

Quelle que soit la Région métropolitaine, la concurrence à la surface est un fait qui s'amplifie et s'amplifiera encore dans le futur avec le réchauffement climatique. Les sécheresses de plus en plus fréquentes imposent un choix de filière pour certaines biomasses, pour retrouver des situations plus saines des élevages.

Quel que soit le projet de méthanisation, il n'y a aucune garantie formalisée de non-accaparement des terres au détriment des cultures vivrières, et de l'élevage, de non intensification de méthanisation (donc de cultures dédiées), ni de non-incorporation d'intrants moins contrôlés dans le futur.



L'accaparement se fait au détriment des agriculteurs et éleveurs etau profit des multinationales du gaz.

Accaparement de la biomasse :

- Le fourrage, les pulpes de betteraves, l'herbe pour les bêtes, la paille, les écarts de triages de céréales, les coproduits de l'IAA, commencent à manquer aux éleveurs, bergers et haras, surtout en période de sécheresse.
- Les méthaniseurs limitrophes cherchent des "déchets" en France.
- Certains méthaniseurs vont chercher de la paille à des centaines de km.
- Les quantités projetées d'intrants ne sont pas réalisables, entrainant des problèmes de rentabilité financière.
- Ces concurrences sont prédites également par FranceAgriMer et limiteront forcément le développement de la méthanisation, sauf à aller chercher des ressources alimentaires hors de France, ce qui est une ineptie environnementale.
- Devant tous les usages prévus de la biomasse, la méthanisation entrera en concurrence avec les autres filières. Par exemple avec la filière de compostage, pourtant plus vertueuse car plus locale et riche de liens sociaux.
- Les effluents ne partent plus amender les surfaces agricoles.
- Ces effets sont amplifiés lors des épisodes de sécheresse.

Concurrence financière :

La rentabilité subventionnée d'un méthaniseur étant meilleure et mieux garantie que celle d'un élevage ou d'une culture sur le court terme, les compétitions financières sont là :

• Avec une hausse sur le foncier pour les primo-accédant à l'agriculture, qui entrent en compétition directe avec la méthanisation.

• Entraînant une hausse des prix (fourrage, paille, pulpes de betteraves, luzerne, déchets de l'IAA, co-produits (drèches, fanes) …). Le prix de la luzerne va jusqu'à doubler dans le département de l'Orne.

• Promouvant une meilleure rentabilité du gaz que de la viande ou que du lait.

• Impactant jusqu'aux coopératives productrices d'aliments pour animaux et produits pharmaceutiques.

• Les méthaniseurs proposent d'acheter le maïs aux agriculteurs, plus cher que le cours normal.

• Entraînant une monétarisation des intrants, ces derniers auparavant gratuits (certaines IAA payaient les méthaniseurs pour s'en débarasser) deviennent de plus en plus chers et diminuent d'autant la rentabilité de la méthanisation

Accaparement de la SAU :

• La construction des méthaniseurs en service aujourd'hui a nécessité l'artificialisation de 6600 ha de terres, (8700 ha si tous les projets prévus aujourd'hui sont réalisés).

• Nous estimons à 23,3 m^2/kW installé la surface nécessaire pour une puissance nominale de 1 kW électrique. Ce chiffre est en accord avec celui estimé sur le territoire italien.

• Les cultures dédiées à la méthanisation occupent déjà 370 000 ha, soit la SAU de plus d'un département moyen métropolitain, pour seulement 6-7 TWh de biogaz !

• L'ADEME projette "***A l'horizon 2050, entre 11,5 et 14,3 millions d'hectares de sols agricoles et forestiers pourront être nécessaires pour répondre aux besoins en biomasse énergétique***". Soit quasiment la moitié de la SAU métropolitaine.

• Pour 80 TWh de méthane (équivalent de la quantité de gaz naturel importé de Russie), il faudrait monopoliser la surface totale d'environ 8 départements métropolitains (sans routes, villes, fleuves …) soit la SAU de 16 départements, et épandre sur la SAU de plus de 50 départements !

Concurrence hydrique :

L'accentuation de la diminution des précipitations est aujourd'hui quasiment programmée pour les années et décennies à venir. Face à ce défi majeur, utiliser l'eau à d'autres fins que l'alimentation humaine et animale ne peut être acceptable. Surtout pour des cultures qui intensifieront le tassement des sols et réduiront ainsi les rétentions hydriques. On remarquera que les méthaniseurs par voie humide ayant le plus besoin d'apport en eau sont ceux n'utilisant que des apports de végétaux (CIVE par exemple). La concurrence hydrique entre cultures vivrières et énergétiques est de plus en plus prégnante. De même, la résultante méthanisation qu'est l'épandage de digestat menace les réserves hydriques. Comparé à des rotations culturales reposant sur des CIPAN, l'utilisation de CIVE engendre un stress hydrique plus important, et les besoins futurs ne feront qu'augmenter ce stress.



Concurrence halieutique et cynégétique :

L'effet des pollutions aquatiques, des extensions des surfaces cultivées (donc labourées, fauchées, traitées et épandues) engendrent une baisse de biodiversité et de ressources halieutiques et cynégénétiques.
Que dire de la culture énergétique d'algues qui occuperait une surface considérable, à énergie délivrée équivalente, nécessitant récoltes et manutentions diverses ?

Concurrence aux épandages :

La conséquence directe d'une distance maximale moyenne d'épandage recouvrant la distance entre méthaniseurs voisins (Fig. 1, Fig. 2 et Fig 3) est la difficulté croissance à trouver des terres pour épandre les digestats.
Cette concurrence s'opère entre agriculteurs-méthaniseurs, mais aussi entre agriculteurs-méthaniseurs et structures territoriales comme les STEP.

En augmentant la quantité de déchets localement, la méthanisation crée une augmentation des excès de matière azotée estimée à 22%, et à 11% de phosphore, qui entrent en compétition avec les autres matières du plan d'épandage.

Concurrence avec les cultures et l'élevage :

L'effet négatif de l'implantation des CIVE se fait déjà sentir, avec une estimation de 2 540 000 t de CIVE alimentant aujourd'hui les méthaniseurs en service (plus de 3 500 000 t prévues si tous les méthaniseurs programmés entrent en service). Les responsables de méthaniseurs poussent aux apports de cultures énergétiques tellement les effluents sont peu méthanogènes, et commencent à déstabiliser les élevages alentours. Certains évaluent déjà à 30% de biomasse de perdue pour leur élevage.



Un autre type de concurrence avec l'élevage réside dans certains résidus industriels, autrefois valorisés comme alimentation animale, désormais envoyés au méthaniseur, comme ceux de Mademoiselle Dessert en Dordogne. Le cas emblématique des betteraves à sucre montre combien cette dérive est déjà très pénalisante pour les éleveurs.

De plus, le développement des méthaniseurs sur STEP commence à impliquer une réduction des terres cultivables.

La dérive observée déjà aujourd'hui sur l'accaparement des cultures vivrières a poussé même le Président de région Normandie (Hervé Morin) à suspendre les subventions.

Concurrences entre agriculteurs

Les stress auxquels sont déjà soumis les agriculteurs sont renforcés par le développement de la méthanisation, ressentis en particulier chez les agriculteurs pratiquant une agriculture bio.

Concurrence et éthique alimentaire

Les invendus de marchés, pourtant extrêmement utiles aux associations aidant les plus démunis et les sans-abris (Les Restaus du Cœur, Le Secours Populaire par exemple), voient une des sources d'alimentation leur échapper. Alimenter un méthaniseur pour économiser quelques sous, plutôt qu'aider son prochain. Triste constat, étrange éthique.

Ce type de concurrence est déjà apparent en Italie où la méthanisation est développée. Dans le sud, l'utilisation des grignons d'olives, résidus des premières pressions d'olives dans la réalisation de l'huile, sont accaparés par les méthaniseurs, au péril de cette industrie centenaire.

Comparaisons

Pourtant il existe des méthodes d'optimisation de développement d'une filière afin d'en minimiser les conséquences négatives en fonction du contexte local. Ces méthodes ne sont jamais utilisées dans le cas de la méthanisation.

Une étude récente élaborée uniquement sur l'utilisation de déchets en Pologne (ISDND, STEP, Agricoles, IAA) montre une balance d'environ 4 TWh d'électricité et 5 TWh de chaleur. Il peut paraître étonnant que la France montre des ambitions dix fois plus élevées a minima, sans envisager les concurrences inévitables qui seront engendrées.

Les concurrences impliquées dans le plan Européen Fit-for-55, avec 50% des prairies semi-naturelles perdues en Europe (donc une perte de biodiversité et de COS considérables), une multiplication par 4 des importations de bois (donc une déforestation hors Europe accrue), une hausse des importations agricoles, et par voie de conséquences une émission accrue de CO_2) sont pourtant dénoncées par les scientifiques.

Notons aussi que dans une étude récente des chercheurs évaluent la biomasse disponible aux USA d'environ 1000 mégatonnes chaque année. Les USA ayant une superficie 20 fois plus grande que la France, cette dernière devrait donc pouvoir délivrer 50 mégatonnes (en fait moins, car la densité de population et l'artificialisation sont plus grandes en France). Comment alors concilier les chiffres étonnants de quelques centaines de millions de tonnes disponibles donnés par divers organismes ?

Externalité négatives, remédiation, dépréciation immobilière

Aucun fond n'est prévu pour assumer les externalités négatives futures dues à la méthanisation (dégradations du système routier, pollutions, effets sanitaires, dégradation des sols agricoles …), ni pour le démantèlement.

Dégradations du réseau routier

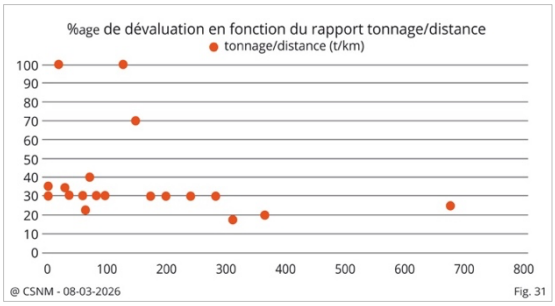


Les routes voisines des usines de méthanisation sont pourtant soumises à dégradations de la part des engins routiers pour l'apport des intrants comme pour les départs des digestats. Ces dégâts de voiries restent à la charge des Communautés de Communes et Départements.

Dans certains cas une contribution financière est demandée aux sociétés méthaniseur.

Dévaluation immobilière

Aucun fond n'est également prévu pour la dévaluation de l'immobilier pour les riverains, alors même que cette dévaluation est quantifiée typiquement entre 20 à 70%, avec une moyenne de 37% (Fig. 31), et ne dépend pas de la région.



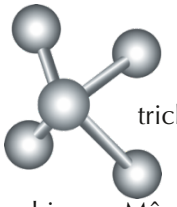
Dévaluations des biens immobiliers estimées par des cabinets. 100% signifie « invendable ».

L'installation d'un méthaniseur est reconnu comme un facteur d'impossibilité de revente de bien immobilier (100% de dévaluation).

De ce stress financier naissent des dérives dans les processus d'achat-vente immobilières (ventes annulées après signature de compromis, vente après réduction de tarif importante, bien invendable malgré réduction, agents immobiliers passant sous silence l'existence de projets ou prétextant leur abandon (alors que la procédure de justice est en cours) ou minimisant les impacts, notaires insuffisamment informés (bases de données incomplètes), propriétaires oubliant d'informer les acheteurs potentiels).

Innocuité des gaz injectés

La méthanisation en injection garantit-elle l'innocuité des gaz injectés chez l'habitant, dès lors que GRDF et/ou GRTgaz annoncent uniquement 4 contrôles du gaz injecté la première année, puis 2 contrôles par an ?



Des métaux lourds (Cr(VI), Pb et Hg par exemple) et des composés organiques volatiles cancérigènes trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, benzène, dichlorobenzène …) peuvent être présents dans le biogaz. Même si l'épuration fournit en principe un abattement de ces éléments et molécules, le contrôle du biométhane injecté devrait être publié en continu avec la caractérisation des gaz et éléments chimiques présents hors CH_4. Le CSNM a demandé à plusieurs reprises des résultats de dosages du gaz injecté sur le réseau (dosages aisés par spectrométrie de masse ou chromatographie en phase vapeur), et n'a jamais obtenu de réponse.

Cycle de vie, Taux de Retour Energétique, Viabilité économique

L'analyse du cycle de vie total du méthaniseur n'est jamais détaillé. Les ACV partiels de la littérature comparent les modes de gestion de production (cogénération/injection, digestat brut/séparé, compostage du digestat ou non …) pour un type de situation donné. La cogénération est préférée à l'injection d'un point de vue environnemental comme financier), sauf en utilisant une électricité bas-carbone pour le chauffage des digesteurs et pour l'épuration-compression. A énergie délivrée donnée, produire du biométhane induit une toxicité environnementale plus grande et avec un rendement plus faible que produire du biogaz.

Comparé au PV, la production de biogaz représente un coût deux fois plus fort par kWh délivré.

Le bilan énergétique n'est donc pas vérifiable dans l'absolu. Or, le CSNM et le GREFFE l'ont calculé, le rendement énergétique de la méthanisation est plusieurs ordres de grandeur inférieur à celui du photovoltaïque, et le TRE de la méthanisation est très faible, proche de 1 ou inférieur.

Une revue de littérature montre un TRE pour l'utilisation de la biomasse pour faire du gaz allant de 1 à 4, alors que la viabilité économique est autour de 10. Une autre étude montre un TRE de 2,8 à 4,8. Ces études ne tiennent pas compte de tous les effets. En particulier, l'étape d'épuration du biogaz (phase nécessaire pour l'injection en réseau gazier) a un coût financier et énergétique important et ne peut que participer à réduire le retour énergétique global. Mais aussi, l'effet ILUC est absent des calculs ... Le cas de la production de biogaz par culture de microalgues est particulièrement instructif, les meilleurs scénarii aboutissant à un TRE de 1,2 seulement. Le chauffage des réacteurs impacte également le TRE, et il devient nécessaire de chercher des voies de décomposition anaérobie en conditions psychrophiles.

La déshydratation des digestats afin de diminuer la masse à transporter a une contrepartie énergétique à prendre en compte dans le bilan énergétique global. L'utilisation de biochar associé par exemple à du ferrate de potassium nécessite la fabrication de ces derniers. La microfiltration aussi.

Notons aussi que la présence de plastiques (macro, micro et nano) dans les intrants contribue à une diminution du taux de CH_4 produit. Certains nanoplastiques (nP) et microplastiques (µP) perturbent les processus enzymatiques lors de la production de méthane, mais aussi les étapes d'hydrolyse et d'acétogénèse, comme le polystyrène par exemple. Outre les effets accidentels dus au phénomène de moussage (débachage par exemple), ces nP et µP, impossibles à trier en amont, participent à diminuer le rendement, donc le TRE.

Ce TRE faible implique une utilisation de l'énergie libérée localement, pour économiser l'énergie utilisée par ailleurs sur toute la chaîne de production.



Par exemple, injecter du biométhane produit sur STEP sur le réseau national n'a pas de sens énergétique, vu les quantités d'énergie nécessaires sur toute la station d'épuration. Ou encore, utiliser le photovoltaïque pour remédier au faible rendement, ne peut pas être énergétiquement

plus favorable que d'utiliser directement le PV. Le *perpetuum mobile* n'existe pas !

Biodiversité – Ecocidité

Les conséquences sur la biodiversité ne peuvent qu'être négatives puisque le déséquilibre introduit, à hauteur de la demande en énergie, engendre des perturbations physicochimiques et microbiennes de la biosphère des sols et des habitats.

Acariens

L'effet d'un digestat (qui contient un peu de carbone organique, C_{org}) sur les acariens est quelques fois comparé à un apport nul de C_{org} (engrais purement minéral, type ammonitrate). Dans ce cas, et surtout sur un sol à faible rapport C/N, l'apport de digestat a alors un effet plutôt positif sur les populations d'acariens. Cette comparaison est biaisée puisque les acariens ne rencontrent pas la même possibilité de trouver leur énergie dans les deux cas.



Amphibiens

Les salamandres sont victimes des pollutions de cours d'eau.

Biodiversité microbienne

La biodiversité microbienne du digestat est plus faible que celle du même digestat composté. A cela s'ajoute la trop grande stabilité du digestat épandu, qui abaisse l'activité de la communauté microbienne réduisant d'autant la fertilité du sol à court terme et induisant un stress de la sphère microbienne par effet de compétition avec la macrofaune.



La biodiversité de la rhyzosphère de tomates en pots est également affectée par épandage de digestat de déchets de nourriture, avec ou sans biochar.

A l'inverse, la présence d'antibiotiques dans le digestat diminue la diversité microbienne du sol épandu au profit des espèces résistantes dont *Clostridium sp.*. Les composts permettent de conserver une plus grande biodiversité dans les sols que les digestats.

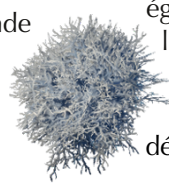
L'application de digestats sur différents sols montre une décroissance de biomasse microbienne, et une décroissance de diversité prokaryotique

Champignons macroscopiques et champignons microscopiques du sol

L'effet nocif des digestats d'effluents bovins sur les micromycètes, organismes essentiels à leur équilibre, est mesuré.

L'épandage de digestats liquides sur des sols de feuillus (peupliers) entraîne un abattement de la population de certains champignons (ectomyccorhyzes) de la rhizosphère du sol, accroît le risque pathogène, et représentent des toxicités et un risque environnemental élevés.

L'usage de digestats d'effluents équins pour la culture des espèces macromycètes *Agaricus* est également reportée comme néfaste à leur croissance.



Sur sols à C/N assez forts, l'application de digestats entraîne une décroissance de diversité fongique.

Collemboles

Les collemboles représentent, avec les acariens et les nématodes, une des familles essentielles de méso-faune indispensable aux sols. Les épandages de lisiers, digérés ou pas, impactent négativement le nombre de collemboles, et plus fortement les espèces épigées. Toutefois, les épandages de digestats provoquent un impact plus long. Bien évidemment, comme dans le cas des acariens, l'effet d'un digestat (qui contient un peu de carbone organique, C_{org}) sur les collemboles ne devrait être comparé qu'à l'apport d'une quantité de C_{org} équivalente et non à un engrais purement minéral (n'apportant aucune énergie aux décomposeurs), comme c'est le cas dans quelques études semblant indiquer un effet positif du digestat.

Insectes

La destruction d'habitats sur les lieux de construction des méthaniseurs met en danger des espèces protégées.

A l'inverse, la prolifération d'insectes à cause de zones d'intrants non couvertes est assez fréquente, et peut causer des gênes chez l'habitant.

Mammifères

L'infiltration de coliformes provenant de matières stercoraires dans les nappes phréatiques à des profondeurs jusqu'à 45m selon les sous-sols, représente un danger mortel pour nombre d'espèces mammifères, et en particulier les jeunes bovins. 23 veaux morts en 48 h. Les ruissellements sur champs d'herbes sont aussi un danger pour le bétail en général. Les pollutions aquatiques entraînent également le décès d'espèces en danger comme les castors. Le fauchage nocturne entraîne une perte de petits animaux, lièvres, faons, chevreuils. Sur certains animaux sauvages comme le renard, l'ingestion de poissons morts par intoxication au digestat entraîne le décès également.



Mollusques

Un stress physiologique important dû au digestat sur certains mollusques de rivières est

visible pour des concentrations en ions ammonium aussi faibles que 10^{-8} mol/L.

Nématodes

Dans un sol ayant subit l'agriculture intensive, le nombre d'individus des 4 grandes classes de nématodes (prédateurs, bactérivores, fongivores, herbivores de plantes parasites et non parasites) décroît avec application de digestat brut, par comparaison avec un fertilisant classique. C'est également ce qui est observé en comparant les effets de plusieurs digestats, le retour direct des effluents et le digestat solide montrant une plus grande diversité et une plus grande quantité de nématodes. En revanche le retour direct de biomasse au sol n'est pas envisagé.

Oiseaux

Le fauchage des cultures pour alimenter certains méthaniseurs est suspecté de manière très fortes par la fédération de chasse et l'Observatoire Français de la Biodiversité de détruire les nicheurs de prairies tels que la perdrix grise. Certains témoins de fauchages entraînant des pertes à la nidification dans les prairies.

A l'inverse, les zones de stockages d'intrants non recouvertes participent à la prolifération d'espèces invasives telles que le pigeon commun qui engendrent aussi des perturbations conséquentes et potentiellement sanitaires pour les riverains.

Poissons et crustacés

La mortalité poissonnière suite à écoulements, épandages, déversements, accidents ... de digestats dans des cours d'eaux, est un fait récurrent malheureusement fréquent (Fig.30). Il n'est pas rare d'observer cette mortalité sur des kilomètres, avec des centaines de kg de poissons morts, impactant très fortement les ressources halieutiques.

Végétaux

Si de petites quantités d'éléments chimiques et composés sont indispensables à la bonne physiologie végétale, leur toxicité est flagrante à des taux trop élevés. Par exemple, NH_3, un des gaz émis par méthanisation, peut donner lieu à des altérations de croissance foliaire, des déficits de floraison et de fruits …

Vers de terre

L'importance des vers de terre sur la santé des sols et leur fertilité n'est plus à démontrer. Une étude récente évalue leurs contributions en moyenne à 6,5% de la production de grains et à 2,3% celle de légumes au monde !

Or l'effet des épandages de digestats sur la décroissance des populations de vers de terre et la répartition entre espèces est avéré.

Cette décroissance atteint 30% par rapport à l'épandage de lisier de porcs, surtout au stade juvénile, sur au moins 10 espèces de ces macro-organismes essentiels aux sols. La toxicité est rapide, et supérieure à celle d'épandages d'effluents. Lorsque la statistique de comptage est insuffisante pour des raisons expérimentales, on constate tout de même une perte de masse d'environ 20% de l'espèce *Aporrectodea longa*, en quelques semaines et en conditions déficitaires en C. Dans ce cas, digestats liquides et solides n'ont pas plus d'effet que des effluents bruts. En revanche, le retour naturel de biomasse au sol n'est pas envisagé pour comparaison.

Notons une mortalité importante de *Eisenia fetid*a, pourtant connu pour être une espèce résistante, au-dessus de 30% d'incorporation de digestat, et une suppression de la reproduction de cette espèce dès 15%. A la fois le temps et la dose pour atteindre 50% de mortalité (TL_{50} et DL_{50} resp.) sont plus faibles à l'épandage de digestats qu'à l'épandage de lisiers.

Même les digestats solides après compostage ne semblent pas appréciés de certaines espèces à l'exception d'*E. fetida* dans des digestats solides sans métaux lourds ni phytosanitaires.

La présence de micro- et nano-plastiques dans certains digestats représente un risque létal supplémentaire pour les populations de vers de terre, tels que *Lumbricus terrestris*.

A dosages moyens (120 kg N/ha), les populations et masses de vers de terre endogées (*Aporrectodea caliginosa, A. icterica et A. rosea*) un mois après épandage de digestats liquide et solide ou de lisier et fumiers, remontent par comparaison à un sol non épandu. Toutefois cet effet est plus fort de 20-25% par fertilisation de lisier et fumier.

Les populations de vers de terre (*Lombricus rebellus et A. caliginosa)* sont plus importantes dans un sol ayant subit un retour de déchets de moissons que sans retour, et l'application de digestat ne permet pas d'augmenter ces populations. Le retour au sol de lisiers est également plus favorable que l'épandage de digestat pour *A. caliginosa, A. rosea, Allolobophora chlorotica et L. terrestris.* Les deux espèces *L. terrestris* et *A. caliginosa* préfèrent les zones où le sol a été mélangé avec du compost à celui mélangé avec du digestat.



L'incorporation de digestat solide pasteurisé permet d'augmenter la teneur en carbone organique d'un sol limoneux. En conséquence, et surtout lorsque l'humidité est suffisante,

l'abondance et la biomasse en vers de terre augmentent avec le taux d'application, principalement pour trois espèces endogées (*Aporrectodea caliginosa et A. rosea, Octolasion lacteum*). Par contre l'utilisation de digestat solide n'est pas comparée à un retour naturel de biomasse.

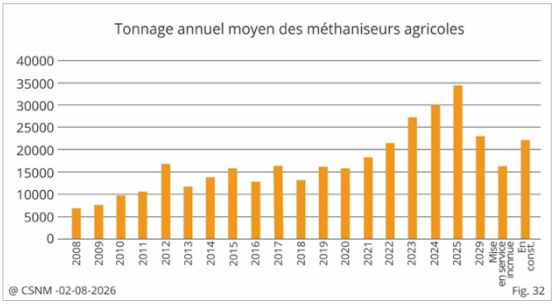
On constate une mortalité accrue aux stades juvénile et adulte de l'espèce *Allolobophora chlorotica* soumise à un digestat de déchets alimentaires.

Malheureusement, les vers de terre habitant sur les berges de cours d'eau patissent également des pollutions aquatiques.

Méthanisation "agricole" ?



L'Appellation de structure agricole pour la méthanisation développée dans les projets est trompeuse. D'une part nous constatons que la moyenne du tonnage d'intrants augmente au cours des années (Fig. 32), signature d'une méthanisation déjà fortement industrialisée même si elle est dénommée "agricole". De manière généralisée en Europe, un décalage s'opère des petites structures "à la ferme" vers un modèle industriel. D'autre part, les méthaniseurs projetés aujourd'hui comportent un tonnage annuel bien supérieur à la moyenne des méthaniseurs agricoles jusqu'en 2022.



On peut craindre comme constaté par le ROSO dans l'Oise un rachat des méthaniseurs par les grands groupes des déchets (leur politique de développement l'affiche), concomitant avec l'arrivée d'intrants de natures de plus en plus diverses. L'industrialisation de la filière est d'ailleurs revendiquée ouvertement

Dérives prévisibles et en cours

Il n'y a aucune garantie à court terme que cette filière ne s'emballe pas vers des technologies complètement irresponsables vis-à-vis de l'environnement, ne laissant plus aucun carbone retourner aux sols, avec des taux de retour énergétiques très inférieurs à 1, le tout sur fond de greenwashing.

Dans cette voie, au sein même de la filière méthanisation, certaines équipes de recherche travaillent déjà à prétraiter les intrants et retraiter les digestats (liquides et solides) par différentes techniques physiques, chimiques, thermochimiques, biologiques, génétiques, et en utilisant des additifs (pyrolyse, gazeïfication hydrothermale, carbonisation hydrothermale, hydroponie, biochar, traitement à l'oxygène, distillation, nanoparticules, précipitation de struvite par méthode chimique ou électrochimique, précipitation de phosphate de calcium ou de magnésium, stripping, séparation membranaire, hydrolyse à l'eau sous-critique, hydrolyse thermique, hydrolyse et lipase enzymatique, ultrasonication …). Mais il existe aussi des voies différentes, annoncées comme compléments à la méthanisation pour produire du méthane, comme la pyrogazeification, la gazeïfication hydrothermale et la méthanation.

De telles pratiques ne feront que baisser le TRE et le retour au sol du carbone, et pèseront lourd dans l'infertilisation des sols, donc dans souveraineté alimentaire.

Dérives en filière Méthanisation

Extraire-fabriquer toujours plus de méthane ou autres agrocarburants :

Des méthodes sont développées pour extraire toujours plus de méthane et/ou d'agrocarburant de la biomasse, des déchets ménagers et des boues de stations d'épuration.

En rajoutant des étapes de traitement :

Des intrants :

Prétraitements :

Par double digestion, trempage des tiges de riz, broyage à billes, par vapeur explosive, traitement enzymatique et thermique, bioaugmentation (Yang J. *et al.* 2025), ultrasonore, pyrolyse et catalyse sur divers substrats, chaulage des cultures stockées en attente de méthanisation, application d'un champ électrique même si son effet semble incompris, d'un champ microonde, d'un champ microonde et ajout de fer zéro valent, extrusion, hydrolyse des déchets alimentaires et des résidus d'huile de palme à l'eau sous-critique, hydrolyse thermique avec ou sans surfactants, traitement thermique, traitement thermique et acidification, thermique alcalin, hydrothermal, hydrothermal assisté, hydrothermal assisté hydrochar, pyrolyse, co-pyrolyse, aération, cavitation hydrodynamique, coagulations augmentées par membranes. Ou encore des traitements biologiques plus ou moins complexes pour décomposer un peu plus les cannes de maïs, kératine de laine de mouton,



préfermentation à l'éthanol, prétraitements enzymatiques, à la levure ou alcalins des déchets alimentaires.
Le traitement des intrants pour décomposer le plus possible de lignine, avec comme conséquence moins de digestats solides, par exemple pour utiliser les résidus de bois ou pour décomposer plus de lignocellulose en trempant les résidus de maïs dans le digestat.
Même le recyclage de CO_2 requiert des prétraitements d'intrants, par exemple en utilisant des amines.

Ajouts :

Activation de transfert électronique par incorporation d'oxyde de fer ou de nanoparticules d'oxydes de fer sur feutre de carbone ou biochar, de ferrate de potassium sur lisiers de porcs, d'huiles essentielles sur lisiers bovins, de nanoparticules métalliques, de nanoparticules de graphène de nanotubes de carbone, de CaO, ajout de soufre, de biochar de tiges de maïs (donc pyrolisées !), de biochar de digestat !, de germes de mal, de charbon de différents grades et d'acide benzoique sans se demander si l'utilisation de charbon "fossile" est une solution climatique ..., d'oxyde de graphène fonctionalisé par des nanoparticules de magnetite pour permettre l'activation de transfert électronique, mais en contrepartie qui augmente la présence de certaines bactéries nocives comme *Clostridium sensu stricto 1*, micro-aération. Par ajoût de lignite (houille brune), ce charbon fossile s'il en est !



Durant la digestion : appliquer un champ électrique, en utilisant des cellules électrochimiques, des procédés bioelectrochimiques, un barbottage, un bullage ou nanobullage O_2 et CO_2, des fertilisants minéraux, un broyage mécanique, l'application d'un champ magnétique éventuellement en ajoutant de la tourmaline traitée à la dopamine, des MOFs, des ceramsites avec inclusions de magnetite, des particules de magnetite, des oxydes de graphene, un mélange biochar-magnetite, des zéolithes à base d'effluents de pigeons pyrolysés et dopés au Fe, des zéolithes avec des roches volcaniques, un ensemencement de microorganismes tels que *Bacillus subtilis* ou *Serratia sp.,* du fer zéro valent éventuellement nanométrique, des nanoparticules, des tissus de carbone, une solution de NaOH ou de NaOH-urée pour des intrants déchets ménagers, du charbon allié à de la betaine.

La Chlorotetracycline, un antibiotique a spectre large présente dans certaines boues d'épuration, apparaît comme une "stratégie prometteuse" pour augmenter la production de CH_4 !

Lorsqu'il ne s'agit pas de produire plus de CH_4, l'utilisation de la soupe en digestion est envisagée pour produire des "bio" plastiques.

En stoppant la digestion : en ajoutant éthanol et *Clostridies* pour favoriser la production d'acide caproic, futur précurseur pour carburants "biosourcés" pour l'aviation (Mandra Harahap *et al.* 2024) ... ce qui nécessitera encore plus de cultures énergétiques !

Des sortants :

Les résidus issus des réacteurs continuent à produire du méthane, en principe recyclé par un post-digesteur. Mais à l'issue du post-digesteur, les résidus les plus stables (contenant de la lignocellulose) comportent encore une partie décomposable, par exemple pour produire du méthane en chélatant ce résidu. Ou bien pour produire de l'huile par co-pyrolyse du digestat avec d'autres biomasses.

En utilisant le biogaz comme précurseur :

Le biogaz est de plus en plus utilisé comme précurseur d'autres chimies pour fabriquer du méthanol, et même pour fabriquer du H_2 par reformage à grand renfort de catalyseurs ! Pourquoi ne pas ensuite refaire du CH_4 à partir du H_2 ?

Ou en utilisant le CO_2, du charbon actif, *Clostridium thailandense* et H_2 pour former CH_4 et de l'acide acétique ...

On voit aussi le biogaz non épuré utilisé comme promoteur d'ectoïne et de bicarbonate de soude !

Ainsi la fabrication du biogaz ne dessert pas la décroissance de consommation de gaz naturel (ou de pétrole), mais correspond bien à une utilisation dérivée des sols pour diverses industries, donc un accroissement de consommation.

En utilisant des intrants génétiquement modifiés :

Le développement de végétaux génétiquement modifiés pour obtenir plus de méthane sont déjà envisagés dans la littérature.

Utiliser toujours plus les digestats

D'autres méthodes sont développées qui feront que les digestats solides et liquides ne retourneront pas aux sols comme amendement et fertilisant. A tel point que certains nutriments viennent à manquer dans les digestats et qu'il devient nécessaire d'en rajouter a posteriori.

• Combinaison du digestat avec du biochar obtenu par pyrolyse de maïs, de résidus de bois, de coques de noix de coco, de mollasse de soja, de diverses espèces végétales

(*Eucalyptus marginata, Lycium chinensis* ...), d'effluents divers, procédé extrêmement énergivore.



• Combinaison des résidus de sucres et de digestats pour former des protéines monocellulaires,

• Combinaison du digestat liquide avec du CO_2 pour décomposer les tiges de maïs.

• Extraction d'éléments chimiques et molécules : Nutriments (N, P, Mn, Fe), toxiques potentiels (Cd, Cr, Pb, As, Cu, Ni, Co, Zn), à haute valeur ajoutée (Ge, terres rares), ions ammonium, NH_4^+, autres nutriments ou molécules organiques pour utilisations ultérieures, par des procédés bio-physico-chimiques consommateurs d'énergie et de ressources.

• Extraction d'acides gras volatiles (VFA) et NH_4^+ par electrodialyse, éventuellement associée avec d'autres procédés.

• Extraction de biostimulants.

• Les digestats sont envisagés pour dépolluer les sols contaminés par immobilisation des métaux lourds dans les plantes. Le digestat solide appliqué à la croissance d'ortie (*Urtica dioica*) permet une croissance double des parties aériennes, mais une concentration moindre de Hg dans les feuilles, et donc finalement moins d'intérêt pour dépolluer si on veut extraire Hg de la biomasse ultérieurement.

• Réutilisation en des cultures intensifiées et/ou en milieu inadapté naturellement.

• Réutilisation du digestat solide comme litière d'élevage.

• Nourrir des cultures horticoles avec le digestat solide.

• Nourrir des larves d'insectes ou des cultures de microalgues, éventuellement en rajoutant une étape de filtration ou d'ultrafiltration ce qui pénalisera le rendement global, éventuellement en rajoutant une étape de filtration ou d'ultrafiltration, un séchage pour faire des tablettes de digestat, une décoloration électrochimique, ce qui pénalisera le rendement global. Sans résultat probant sur l'algue *Tribonema minus* sauf à garantir un digestat de pH neutre ... Les microalgues développées sont des fois elles-mêmes enviagées comme substrat pour nourrir des larves de mouches produisant des lipides, base de la production de diesel ...



• Extraire N pour cultiver des protéines comestibles.

• Etre utilisés comme précurseurs de fabrication dans d'autres filières, : bétons, microélectronique, … fibres de digestats solides comme renforts de matériaux composites, fabrication de biopolymères, de bio-pesticides, biochar, fabriquer du carbon poreux, synthétiser Na_2CO_3 pour la filière batteries au lithium, fabrication de zéolithes à partir du digestat solide pour servir à la fabrication de biodiesel.

• Etre envisagés comme combustible, directement après asséchage, ou en incinération en les transformant en hydrochar (par carbonisation hydrothermale) ! ou en pyrochar (pyrolysés) avant incorporation au sol ! ou comme combustible liquide en les transformant (par exemple par liquéfaction hydrothermale) !

• Décomposer la biomasse restante à différentes fins (y compris en retournant le décomposat en méthanisation), par traitement thermique alcalin, par carbonisation hydrothermale, par pyrolyse, par pyrolyse microonde, ou par hydrolyse thermique pour produire un peu plus de CH_4.

• Transformation en biochar, éventuellement après incorporation de $CaCO_3$, pour capter le phosphore des eaux usées ou de la fraction liquide.

• Transformation en biochar par pyrolyse pour retourner le biochar en culture de maïs hors-sol.

• Production d'eau oxygénée.

Devant la trop grande production de digestat liquide, inhérente au procédé, il devient nécessaire de trouver des moyens pour traiter et/ou assécher ces derniers :

• En utilisant une source auxiliaire de carbone organique.

• De baisser chimiquement et/ou physiquement la quantité d'azote et/ou de phosphore,

• De pastiller ou assécher pour le transport à cause du surplus d'épandage. On remarquera l'utilisation d'oxydes de polymères dans certains cas pour assécher le digestat, ce qui ne manque pas de soulever la question des pollutions aux plastiques des sols

• Pour tenter d'en abattre la toxicité,

• Par électrodialyse.

• Par précipitation chimique et ajout de cendres volantes.

• Par distillation-précipitation.

• Par ajout de charbon actif,

• Pour abattre leur charge pathogène.

• Par oxydation anaérobie des ions ammonium (anammox) éventuellement en ajoutant des cristaux d'hydroxyapatite.

• Fabriquer de nouveaux engrais ! Par exemple en co-traitant digestats et hémoglobine de porc, pour des résultats très mitigés sur les concombres.

• D'incorporer des roches naturelles et des cendres volcaniques comme adsorbants.

• En le pyrolysant pour l'utiliser dans d'autres filières.

• Par carbonisation hydrothermale.

• En combinant plusieurs procédés.

A l'issue de toutes ces techniques, lorsque malgré tout les digestats traités ont une vocation à retourner au sol comme fertilisant, c'est au prix de traitements complexes dont on doit se demander si leur bilan énergétique et GES est au niveau de l'investissement engagé :

• Traitement par carbonisation hydrothermale, en ajoutant des pailles traitées au $FeCl_3$, et des zéolithes.

• Ajout de légumes et légumineuses (cultivées ?) comme moyen de relever ou abaisser le rapport C/N.

• Mélange avec du biochar.

• Combinaison pyrolyse, Carbonisation hydrothermale, co-digestion.

Pyrogazéification

La pyrogazeïfication consiste à former du CH_4 par pyrolyse, donc là aussi à utiliser toute la biomasse le plus possible, y compris celle non décomposée par méthanisation (lignine principalement). Les cibles ici sont le bois, les arbustes, les résidus agricoles, mais aussi les digestats ... L'ADEME 2018 prévoit 100 TWh obtenus par pyrogaseification.

Cependant, l'énergie dépensée pour la pyrolyse pénalise les rendements énergétiques et financiers, à tel point que même de grandes multinationales abandonnent certains projets.

Avec la volonté de produire également du H_2, certains groupes envisagent le biochar obtenu par pyrolyse pour capturer du H_2, par exemple à partir de pailles de blé, y compris par voie cryogénique à -196°C.

Soulignons que la pyrogazeification génère, avec le gaz (10%), du biochar (20-30%) et du liquide de pyrolyse (50-60%) très toxique. On comprend mieux ici pourquoi cet engouement pour l'utilisation du biochar, résidu de cette technique, en méthanisation. Mais on voit aussi qu'il devient nécessaire de traiter la phase liquide en quantité importante.

Gazéification hydrothermale



En portant à haute température (au moins 400°C, souvent bien plus) et pression (200-300 bars), et souvent en utilisant des catalyseurs (nanoparticules de Cu par exemple), on peut fabriquer du "syngaz" mélange de CH_4 (majoritaire) H_2 et CO_2. A partir d'intrants liquides comme des digestats, des boues de STEP, des effluents ... mais à quel prix énergétique ? Il est également nécessaire d'ajouter de l'eau.

Méthanation

Combiner CO_2 et H_2 pour former CH_4 peut paraître une bonne méthode pour réutiliser le GES CO_2 issu en grande quantité de la méthanisation. Hélas, cela requiert de l'énergie. Mais surtout, pourquoi ne pas utiliser H_2, gaz utilisable comme carburant qui ne forme aucun GES à son utilisation, au lieu de CH_4, GES puissant ? C'est pourtant ce que fait la méthanation, par l'intermédiaire de procédés divers utilisant divers matériaux et consommateurs d'énergie à différentes étapes.

Ce procédé correspond à des demandes électriques irréalisables de manière soutenable si l'on veut que la méthanation substitue d'autres énergies de manière conséquente.

Notons que ce procédé dépend fortement (le temps de retour sur investissement peut être multiplié par 2-3) des montants de la taxe carbone, ce qui n'est pas le cas de la cogénération.

Soulignons un des travers : certaines équipes pensent utiliser des énergies renouvelables (y compris le biogaz !) pour produire l'électricité nécessaire à l'électrolyse pour fabriquer H_2, pour remplacer une partie du CH_4 en injection ... quel rendement !

Remarquons que la sélection de micro-organismes ad-hoc permet la formation de H_2 directement, sans passer par CH_4, et que le digestat donne des résultats prometteurs sur la croissance de maïs *Zea mays*. Cette méthode évite certains des désavantages de la méthanisation que la méthanation conserve et amplifie.

Syngas H_2

Obtenir H_2 sans electrolyse est possible, toujours à partir de CH_4. Ainsi, il peut paraître judicieux de synthétiser du biogas (mélange CO_2 et CH_4) pour obtenir H_2. Cette filière s'appelle Biogas-To-Hydrogen (BTH). Il faut pour cela utiliser des catalyseurs performants, qui permettront de décomposer CH_4 de manière efficace. Ou bien de créer un plamas par arc. Cependant, l'utilisation de la voie biogaz nécessite les mêmes inconvénients et

produit les mêmes externalités négatives que celles de l'injection de biométhane. De plus, les catalyseurs sont coûteux et composés de métaux et terres rares dont les ressources sont loin d'être renouvelables ... En modifiant la composition en microorganismes anaérobies, on peut augmenter la teneur en H_2 du biogaz. Il reste cependant une quantité non négligeable de CH_4 qu'il faudra transformer, et retenons que l'obtention du biogaz nécessite de toutes façons l'utilisation de biomasse dont l'utilité pourrait être plus grande ailleurs. En particulier, si le syngaz est fabriqué à partir de digestats (qui devrait être utilisé comme amendement), et de hautes températures (jusqu'à 800°C), on a du mal à imaginer un bénéfice agronomique et énergétique.

Faux prétextes et fausses validations

Comparaison avec les moins bonnes approches

Lorsqu'il s'agit d'évaluer les effets des applications des digestats, les émissions, les infiltrations ou les efficacités énergétiques, les comparaisons sont très souvent réalisées par rapport aux systèmes et pratiques les moins vertueux. Il conviendrait de viser les meilleures pratiques pour tirer les avantages de la filière en la tirant vers le haut. Quelques mauvais exemples :

• L'application de digestat et/ou de digestat modifié est comparée à l'application de boues de STEP, d'urée, de fertilisant minéral industriel, de mélange digestat-biochar de fertilisant contenant moins de NPK ou à l'absence totale d'apport de fertilisant, mais pas au retour au sol naturel ou raisonnable de biomasse.

• La réduction d'émission de méthane par méthanisation est comparée aux émissions de cuves de lisiers ouvertes ou de tas de fumiers laissés en tas.

• L'effet d'un digestat de boues de stations d'épuration entraine une fertilisation plus importante (mais moins de carbone organique au sol) que le même digestat composté, mais la comparaison par rapport à une fertilisation par ammonitrate n'est pas présente ou en défaveur du digestat.

• L'effet de l'épandage sur les vers de terre est comparé aux fertilisants minéraux et aux épandages de lisiers, mais pas à l'incorporation de compost ou au retour naturel de la biomasse au sol.

• L'utilisation de CIVEs est justifiée par la couverture des sols qu'elles engendrent.
Or, si cela est vrai, les personnes n'ayant pas couvert leurs sols sont en infraction vis à vis des obligations Européennes. Il conviendrait de comparer les intérêts d'une couverture CIVEs à des sols couverts (par des CIPANs ou autres) dont la biomasse retourne au sol.

Les recommandations indiquées par plusieurs auteurs, pointent clairement la nécessité, d'un point de vue environnemental, de traiter et/ou composter les digestats pour qu'ils n'affectent pas les sols arables et émettent moins de GES. On peut dès lors se demander pourquoi ne pas utiliser directement la biomasse comme matière fertile et d'amendement, plutôt que de retourner au sol des résidus indigestes sans traitement spécifique.

Faux prétextes

La méthanisation est annoncée comme promotrice d'emplois non-délocalisables. On peut toutefois se demander comment cela est possible lorsque des multinationales sont aux manettes. Ainsi Air Liquide n'hésite pas à se séparer de plusieurs de ses usines de biogaz.

Le prétexte du tas de fumier laissé en bout de champ où il émet énormément de CH_4 est utilisé pour justifier l'utilisation de la méthanisation. Cependant, les tas de fumiers sont laissés sur les zones d'intrants de méthanisation sur des durées où leurs émissions ont pourtant lieu, mais il est vrai, pas en bout de champ !
Qu'a-t-on donc gagné à part des émissions supplémentaires à cause du transport de ces quantités de fumiers, alors qu'un simple étalement des tas dans les champs suffit à éliminer les émissions de CH_4 ?
Les abonnements "verts" d'énergie venant de "bio" gaz, souvent plus chers que les tarifs régulés, sont proposés par les fournisseurs d'énergie. Pourtant, un seul tuyau de gaz parvient jusqu'aux domiciles. Il est tout bonnement impossible de fournir chaque foyer avec le type de gaz désiré, "vert" ou naturel "fossile". Dés lors, ce type d'appelation d'abonnement est trompeur pour le consommateur.

"Comme dans la panse d'une vache ... " qui n'a pas lu cet argument vendeur d'un gaz qui se veut "vert" ? Malheureusement, si certains microorganismes sont les mêmes dans une panse de vache et dans un réacteur de méthanisation, les rapports entre les différents microorganismes, les substances ingérées et la finalité sont tous clairement différents !

Alors que dans le réacteur la finalité est de produire CH_4 le plus possible, dans la panse, CH_4 correspond à l'élimination de H_2 qui serait néfaste aux bactéries nécessaires au métabolisme. Les microorganismes responsables de la transformation $H_2 \rightarrow CH_4$

sont des archées, qu'il convient donc de mettre en quantités importantes dans le réacteur.

Dans le réacteur sont incorporés des biomasses qui ne pourraient pas être ingérées par un bovin. Des effluents ou des vinasses par exemple. Les bactéries capables de décomposer ces biomasses sont bien différentes de celles que l'on retrouve dans une panse de vache.

Marketing mensonger et lobbying

Certaines informations sont divulguées lors de campagnes de communication, qui relèvent de méthodes marketting mensongères. Par exemple, Electricité de Strasbourg annonce une offre de biogaz "100% alsacien". Or il est bien évident que ce ne peut pas être le cas. D'une part, car un seul réseau existe pour délivrer l'électricité ou le gaz chez l'habitant. Ainsi quel que soit l'abonnement souscrit, c'est le même "mélange" énergétique qui arrive chez l'habitant : les électrons "nucléaires" et "biogaz" ne sont pas différenciables, pas plus que les molécules de "gaz naturel" et de "biométhane". D'autre part, car pour fournir 100% de la consommation des habitants, tous les méthaniseurs alsaciens ne peuvent suffire !

La CRE a bien noté cet état de fait, en demandant à GRDF d'arrêter les communications sur le biométhane, considérant que vu le faible pourcentage de ce dernier dans les tuyaux, chaque communication en faveur du biométhane est en fait un plaidoyer pour le gaz "fossile".

Etudes publiées incomplètes

Le nombre d'études scientifiques liées à la méthanisation ne cesse de croitre. Pourtant, à leur lecture, nous constatons que la finalisation de ces études manque, ce qui est visible clairement dans les conclusions relatées par les auteurs eux-même. Ainsi avons-nous pu lire : "*Further agronomic assessments are required to verify the suitability of the resulting digestates for agricultural application*" qui se traduit par "*D'autres évaluations agronomiques sont nécessaires pour vérifier l'aptitude des digestats obtenus à une utilisation agricole*".
Il apparaît donc que dans bien des cas les conclusions des travaux amènent à penser que l'on ne peut pas conclure ! Malgré des titres souvent beaucoup plus affirmatifs.

Subventionnement

Les subventions allouées à la méthanisation (Fig.33 et Fig.34) sont hors de toute raison en comparaison du peu d'énergie recueillie par ce procédé. D'ailleurs même le Président de TotalEnergies Biogaz et la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) le disent.

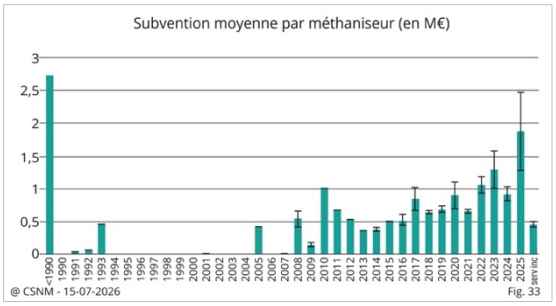


Fig. 33

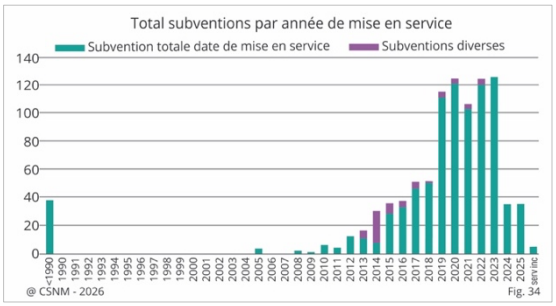


Fig. 34

Ce caractère déraisonnable est renforcé par l'absence de certaines impositions des structures méthanisantes et repésentent un réel gâchis.

• Nous relevons plus de 1,05 Mds d'€ distribués en France pour la construction des méthaniseurs, soit 810 000 € par méthaniseur, a minima (Nous estimons à 2 Mds d'€ les subventions totales allouées à la construction) car la collecte de ces données est très peu ouverte.



• Nous ne pouvons également pas connaître les financements de Chaires, de projets de recherche (AqaMétha, BioChains, CarBioLab, CLAND, CLIMAE, DiagOptiMétha, Ferti-Dig, FLEM, Graine, LéguMétha, Méthabiosol, Méthafaune, MéthaScale, MéthaSolCN, Méthatip, Méthatransferts ...), de thèses de doctorat via les organismes publics (Mahdi Mohamad Ali, Martin Faulques, Nicolas Malet ...) surtout lorsqu'ils sont cofinancés par des industriels (Farah Doumit), ni certains soutiens de programmes locaux (MERGE, Métha-Normandie ...) et soutiens à des réalisations tels que des podcasts.

• Vu les taux de rachat du gaz et de l'électricité fournis par méthanisation, il faudra de plus injecter des sommes colossales et non soutenables, plusieurs dizaines de milliards d'€ chaque année, si le rythme de développement tient ses promesses. La Cour des Comptes donne 2,6 Mds d'€ de tarifs d'achat de gaz sur la période 2011-2022, et des engagements déjà pris de 27 Mds d'€ jusqu'en 2037.

• Comme le méthaniseur moyen en France délivre à peu près 10 GWh d'énergie chaque année, et crée seulement 0,9 emploi direct,

nous laissons aux élus responsables la possibilité d'apprécier l'absence de sens de ces subventions.

• Nous sommes de plus dans l'incapacité de déceler si des subventions versées (études préalables, faisabilités, cabinets, ...) ont été récupérées en cas d'abandon de projet avant service rendu à quelques rares exceptions près.

La construction et les projets de méthaniseurs en Régions ont obtenu jusqu'à plus de 100 M€ de subventions publiques par région, à minima. Ce chiffre est largement sous-estimé car il est très difficile d'obtenir les chiffres exhaustifs (pourtant en principe obligatoirement en libre accès dès lors qu'un subventionnement Européen est obtenu). Rajoutons à cela les subventions au rachat de l'électricité et du gaz qui nécessitera plusieurs dizaines de Milliards d'€ annuels pour très peu d'énergie.

Enfin, que représentent exactement les subventions déguisées, telles que les contrats aidés et les exonérations fiscales liées à la méthanisation ?

Vu la faible production d'énergie des méthaniseurs en service, il eut été beaucoup plus raisonnable d'affecter de telles subventions aux isolations des passoires thermiques privées et publiques, éminemment plus soutenables sur le long terme, et à envisager des approvisionnements énergétiques plus pérennes que la méthanisation.

Ce type d'affectations de subventions aurait le même effet sur les imports de gaz russe, avec moins d'effets négatifs sur la souveraineté alimentaire et la santé environnementale.

Aller à l'opposé, développement des usines de méthanisation intensives et perfusions de subventions pour ce développement, phénomène ni nouveau ni restreint à la France, aura les mêmes conséquences négatives que celles observées et quantifiées en Allemagne et en Italie : accaparement des terres pour la production énergétique, baisse de la production alimentaire, augmentations du coût de la nourriture et des terres, dégradation des sols, augmentation de l'usage de pesticides, impossibilité d'installation de nouveaux agriculteurs.

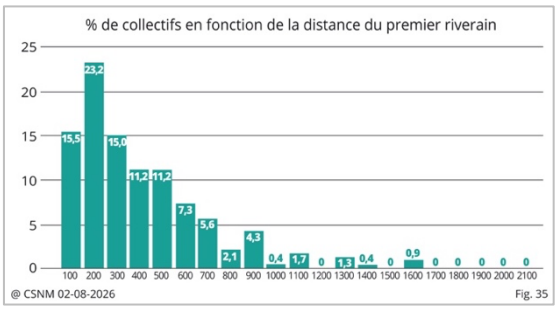
Distance aux Riverains, NIMBY et résistance avertie



Comme dans tout processus conflictuel sans réelle construction d'une concertation amont, les réactions légitimes des riverains mis devant le fait accompli sont rapidement classées dans la rubrique NIMBY par les parties opposées (porteurs de projets, organismes d'Etat, politiques). Il a pourtant été clairement démontré que dans de telles circonstances le processus NIMBY n'est pas le moteur de la contestation. Au contraire, les riverains s'informent, et, en particulier pour la méthanisation, entrent en conditions de résistance avertie.

On peut remarquer que certaines études concernant l'acceptabilité sociale s'appuient sur un nombre de personnes interviewés dont la grande majorité peut être classée dans les "pro" méthanisation.

Dans le cas de la méthanisation, il serait pourtant aisé de s'affranchir d'une très grande partie de la contestation (Fig.35), indépendamment du bien- fondé ou non de cette dernière. On constate (échantillonage de plus de 350 collectifs) que dès qu'un projet de méthaniseur est éloigné de plus d'un kilomètre, pratiquement plus aucun collectif ou association n'est créé par les riverains. Ce chiffre est aussi validé par d'autres chercheurs.



Illégalités, irrégularités, condamnations, intimidations, falsifications : faits

Du simple fait d'intimidation aux condamnations conséquentes, en passant par des irrégularités donnant lieu à mises en demeures préfectorales, les faits sont nombreux qui dénotent une filière laissée à elle-même sans contrôle et poussée par une rentabilité surclassée. Nous listons ici quelques exemples de ces faits.

Intimidations

Les faits d'intimidation à l'encontre des riverains luttant contre les projets de méthanisation ne sont pas rares, arrachages de banderoles, pneus crevés, roues déserrées, appels anonymes, menaces verbales, insultes, menaces de mort, jets de peintures, bousculades, arrachages et vols de tracts et pétitions, boites aux lettres défoncées, voitures dégradées ...

On relève également des dépôts de plaintes de la part des porteurs de projets qui n'hésitent pas à demander des dédommagements conséquents (et hors de toute raison) aux

riverains. N'est-ce pas étonnant pour des projets aussi vertueux ? Ces intimidations atteignent aussi sur les élus de la République.

Irrégularités

Les irrégularités constatées par les services préfectoraux sur sites sont de diverses natures. Les mises en demeure, les mesures d'urgences et les arrêts d'exploitation prononcés concernent par exemple :

• Des manquements **:** au respect des mises en demeures, aux consignes d'incendie, aux plans de permis, aux relevés de torchages, à la signalétique, au plan de maintenance, aux plans de dissémination des odeurs, aux contrôles périodiques.

• Des dépassements de tonnages d'intrants, de rejets chimiques.

• Des intrants non déclarés.

• Des épandages irréguliers : surnuméraires ou sur surfaces interdites ou trop importantes, en périodes interdites, avec insuffisance de suivis, pour éviter l'implantation des gens du voyage.

• Des absences : de plan d'épandage, de déclarations d'intrants, de mesures de CO, CH_4 et H_2S, de contrôles périodiques, de zonage ATEX, de mesures de reliquat azoté, de couvertures de zones d'intrants et/ou lagunes de digestat, de consignes d'exploitations, de traçabilité écrite des conduites et entretiens, de produits et réserves suffisants, de dispositifs de rétentions, de sondes, d'obturation de réseaux, de relevés de compteur d'eau de forage, de formation à la prévention des risques, de documents relatifs à la prévention des risques et explosions, de consignes d'exploitation, de déclaration de pollution accidentelle, de contrôle périodique, de clôture de site, d'étanchéité de zones d'intrants, de programme de lutte contre les nuisibles, de déclaration de nouvel exploitant, de contrôle des installations électriques, de dispositif de détection d'incendie, d'absences de déclaration d'accidents, de double membrane sous lagunes de digestat, d'obturateurs de débordement ... on constate pas moins de 16 absences de dispositifs sur le méthaniseur géré par le président de la FNSEA !



• Des défauts ou insuffisance **:** de torchères, de la maintenance, des capacités de stockages, d'étanchéité de zones d'intrants, de clôtures de lagunes, de zone de rétention de digestat, de capteurs de fosses.

• Des non-conformités : de stockages de matières organiques, de réserves d'eau, d'épandages, de forage, de remplissage, de surproduction par rapport aux déclarations initiales, d'intrants, de niveaux sonores, d'astreinte 24/24, de positionnements d'installations électriques.

• Des démarrages de production, de stockages, d'augmentation avant autorisations légales.

• De rejets polluants : de lixiviats et digestats sur voiries et en milieux naturels, de pollutions olfactives, de fuites de biogaz.

• Des constructions non déclarées,

• Les accidents, ...

Les irrégularités de procédures sont également nombreuses, des élus-porteurs de projets se permettant de prendre part aux discussions lors de votes de subventions. Certains montages de projets semblent à tout le moins mélanger les genres et sont questionnables. On remarque aussi certains non-respect de formalités administratives des mises en exploitation d'usines non conformes au permis de construire initial.

Des anomalies apparaissent dés la phase de permission de construire, obligeant des actes de tribunaux (Ouest-France 2023-12-22).

Condamnations

• Géotexia (groupe Idex) condamnée à rembourser 930 000 € à l'Agence de l'eau, et 2 000 € de frais d'avocats.

• 200 000 € d'amende pour Salers Biogaz pour faits de pollutions, 150 000 € de dommages et intérêts et 9 mois de prison avec sursis pour son PDG O. Bouttes et 20 000 € d'amende (8 000 € de sursis), 5 000 € d'amende pour P. Bouttes (4 000 € de sursis). Egalement dommages et intérêts à la Régie de l'Eau (72 000 €), à FNE (30 000 €) et à la Fédération de Pèche (10 000 €).

• 160 000 € d'amende pour Frênes Energie, pour pollution aquatique en 2022.

• 150 000 € d'amende (50 000€ avec sursis) pour Engie, pour pollution aquatique par négligence en 2020.

• 113 500 € d'amende pour la SAS Bod-Fao Energie (50 000€ avec sursis) pour pollution de cours d'eau, et une contravention de 2500 €. Son dirigeant est condamné à 10 000 € (5 000 € avec sursis) et 1 000 € de contravention

• 90 000 € de dommages et intérêts et 10 000 € (5 000 € avec sursis) d'amende pour le GAEC Hulmer pour pollution de cours d'eau et d'étangs.

• 75 000 € de réparations de préjudice pour la SARL Bio-Recycle, pour pollution aquatique et mortalité piscicole.

• 74 077 € d'amende pour Biogasyl (Les Herbiers) pour faits de pollutions aquatiques et mortalité piscicole.



• 50 000 € d'amende (20 000 € de sursis) pour la SAS la Lande, et son méthaniseur LLDC Algae (Plouguenast-Langast) ainsi que 10 000 € d'amende pour son directeur et 6 mois de prison (avec sursis).

• 50 000 € d'amende (40 000 € de sursis) pour la SAS Méthasec (Renay) ainsi que 10 000 € versées aux parties civiles.

• 42 925 € d'amende pour pollution de rivière et réparations de la société Mathéos Gardhailac.

• 40 000 € d'amende pour pollutions de rivière de la société BF Energie (10 000 € de sursis), et 2 500 € de contravention, ainsi que 5 000 €
(2 000 € de sursis) d'amende pour l'éleveur et 1 000 € de contravention.

• 20 000 € d'amende (5 000 € avec sursis) pour Bioénergies 123 (Azat-le-Ris et Peyrat-de-Bellac) pour pollutions de champs par ruissellements et intoxication animale.

10 000 € et 5 000 € d'amendes pour Grégoire Super (Maire de Locminé, PDG de Liger) et Marc Le Mercier (PDG Liger), pour octroi d'avantages injustifiés.

• 10 000 € d'amende pour prise illégale d'intérets de Pascale Gaillot, Présidente de la commission environnement du Grand-Est,

• 8 000 € d'amende pour Biogasyl (Les Herbiers) pour faits de pollutions aquatiques et mortalité piscicole.

• Mise à l'amende de 5000 € par la Préfecture de Vendée, pour l 'EURL MB2F (Coëx) pour pollutions aquatiques et nuisances diverses.

• Astreinte de 100 /j jusqu'à satisfaction de mise en demeure à la Centrale Beauce Gâtinais Biogaz.

• Condamnation de la SARL Cap-Métha pour pollution de cours d'eau.

• Condamnation de la SARL Moulins de Kérollet à 3000 € pour pollution de cours d'eau et mortalité de poissons.

• Condamnation de la SCEA Le Bihan à 2500 € pour pollution de cours d'eau.

• Condamnation de TotalEnergies (Biobéarn) à 1500 € à verser à chaque commune plaignante au titre du code de justice administrative.

• Condamnation de la SAS Beauce Gâtinais Biogaz à 100 € d'astreinte journalière jusqu'à régularisation.

• Condamnation de la SAS MDP Biogaz à 10 € d'astreinte journalière jusqu'à régularisation.

• Condamnation à une amende journalière de l'EARL MB2F jusqu'à mise en conformité.

Ecarts à l'éthique

De l'Etat :

• La DREAL Grand-Est demande, via une communication du CERDD Hauts-de-France, de "repérer et tenter d'isoler les opposants" et d'avoir "des actions proactives auprès des médias avec des messages positifs".

• Permis de construire ou augmentations signés par les préfectures avant consultations des Mairies ou autres élus, ou même avant enquêtes publiques.

• Les distributions de tracts sont interdits sur certains marchés par les préfets, et les gendarmes dépêchés sur les lieux.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

• Certains Préfets refusent de divulguer des informations.

• Certains parlementaires et Ministres sont actionnaires de multinationales de l'énergie alors qu'ils promeuvent et/ou votent des lois favorisant l'utilisation du biogaz.

Données de la Haute Autorité pour la Transparence de la Vie Publique :

Actions

Air Liquide	Warsmann Jean-Luc	LIOT
Total Energies	Firmin Le Bodo Agnès	Horizons
	Ray Nicolas	LR
	Canayer Agnès (144) *	LR-Renaissance
	Warsmann Jean-Luc	LIOT
	Thillaye Sabine	MoDem
	Turquois Nicolas	MoDem
	Braun-Pivet Yaël **	Renaissance
	Fievet Jean-Marie	Renaissance
	Melchior Graziella	Renaissance
	Oudéa-Castéra Amélie (233)	Renaissance
	Ndiaye Pap	
Véolia	Canayer Agnès (65) *	LR-Renaissance

Entre parenthèses : nombre de parts

* Mme Canayer Agnès (LR) : 144 parts (TotalEnergies) et 65 parts (Véolia Environnement

** Mme Braun-Pivet (Renaissance) : TotalEnergies

• Des agences d'Etat participent au financement de projets avec des industriels juges et parties. Par exemple dans le projet AQAMETHA plusieurs ATMO, l'ADEME avec GRDF, Osmanthe et le CTBM et dans le projet Ferti-Dig, l'ADEME et GRDF.

• Les acquisitions de terrain pour les entreprises privées de méthanisation se font sous le seing d'intercommunalités pour des bouchées de pain. Ces terrains, donc artificialisés, auraient pu servir une agriculture de qualité.

• Le réseautage électoral permet l'aboutissement des projets avant même les

possibilités d'injection dans les réseaux, sous la pression politique.

• Le Ministère de l'Agriculture signe des conventions concernant les établissements d'enseignement agricole, avec GRDF.

Des industriels, associations environnementales et élus

Les industriels des gaz de biomasse (TotalEnergies, GRDF-Engie, Air Liquide) interviennent dans certaines écoles primaires, collèges (pour promouvoir la méthanisation et ses dérivés.

Certaines associations environnementales (FNE, WWF, et leurs filiales) signent des partenariats, et acceptent donc finances, pour mener certains débats, projets, co-élaborer et signer des chartes, distribuer des prix, sous l'égide de ces industriels. Quels conflits d'intérêts ?

Ces actions sont souvent accompagnées d'élus, et soutenues par les Régions. Parmis tous les Maires (nous en relevons 46 au moins) et Conseillers Municipaux impliqués dans les projets de méthanisation, relevons tout de même l'activité de certains, décideurs s'il en est pour l'octroi de subventions ... Malheureusement, ce type de collusions ne s'arrête pas aux Maires et Conseillers Communaux, mais aussi aux Présidents de Communautés de Communes dont les erreurs (a minima) impliquent lourdement les ComCom financièrement. Comment peut-on sincèrement présider à la fois des structures collectives et des sociétés dont les dernières bénéficient de subventions octroyées par les premières ?

Ces mêmes industriels participent à des études scientifiques dont l'impartialité est par conséquent questionnable. Ces collusions vont de la création de Chaires Universitaires, du cofinancement de thèses, de la complaisance dans le co-authoring, à beaucoup plus critiquable.

Par exemple :

• L'utilisation de chaux vive est envisagée pour augmenter le taux de production de biométhane, en prétextant un "bienfait environnemental" par une équipe INRAE-GRDF, alors même que l'utilisation de chaux vive nécessite de calciner le calcaire naturel et d'émettre des quantités énormes (vu le taux envisagé de 10% en masse) de CO_2 !

• Comme par hasard, l'industrie du biodiesel cofinance des études pour incorporer le glycérol (un des résidus de cette industrie) au sol en même temps que le digestat. Les auteurs montrent une augmentation des bactéries gram négatif en pourcentages, en omettant de relever la baisse des champignons et du nombre total de bactéries.

• La méthanisation de plastiques (PBAT, PLA, PBS) prétraités à 80°C par KOH, est annoncée comme une amélioration des digestats par une équipe INRAE-TotalEnergie. En revanche, les microplastiques générés par cette fermentation "nécessitent plus d'investigation". Les conséquences de ce type de résidus micro- et nanoplastiques sur les sols et leur biotope sont pourtant bien documentés (voir §16e) et devraient conduire à des préconisations et travaux d'évitement plutôt que de consommation. D'autant plus que méthaniser des plastiques consiste à retourner vers l'atmosphère du CO_2 qui était piégé dans le plastique, durablement. Il conviendrait de l'utiliser en le séquestrant, puisque sa fabrication a elle même contribué notablement aux émissions GES.

• L'incorporation de cendres volantes durant la méthanisation de moutarde blanche *Sinapis alba,* est annoncée comme favorisant le taux de germination et le taux de floraison. Mais manifestement c'est le contraire qui est observé par les auteurs dans leur étude ! Les sources de financement de cette étude, par ailleurs non nominativement citées, auraient-elles eu un effet ?

• L'incorporation de lignite (houille brune) lors de la digestion permet d'augmenter la production de CH_4. En revanche, rien n'est dit sur les augmentations des GES due à l'utilisation de ce charbon fossile ! Ici, la China Coal Technology & Engineering Group Corp. co-signe l'article

• L'ajout de biochar de noix de coco est annoncé comme un inhibiteur d'émission de NH_3 et N_2O entrant en synergie avec un inoculum de nitrification dans des composts de digestats de déchets organiques ménagers alors qu'aucun effet de synergie n'est réellement observé. La Guangdong Woye Fertilizer Industry Co. cosigne l'article ...

• Une étude annonce que les digestats n'ont pas d'effets délétères sur les vers de terre, alors que les auteurs eux-même précisent que leur quantification n'est pas statistiquement révélatrice, ce que montrent les données, pour des raisons expérimentales bien compréhensibles. Ne serait-il pas plus logique de ne rien dire concernant les vers de terre dans ce cas là ? Les auteurs analysent les familles et quantités de nématodes, et remarquent qu'elles sont favorisées par l'apport de C, les digestats liquides défavorisant ces quantités. Et les auteurs de conclure que les

digestats sont une approche prometteuse pour augmenter l'activité biologique des sols ! On remarque parmis les affiliations de certains auteurs, GRDF, ACE Méthanisation, Chambre d'Agriculture des Pays de Loire ...

De scientifiques, rétractions d'articles

Certaines publications scientifiques sont retirées par les éditeurs, à cause de conflits d'intérêts non déclarés influençant les résultats.

Falsifications

Lorsque la tournure des projets ne semble pas favorable, certains n'hésitent pas à falsifier des documents, en apposant la signature de Maires, celle d'organismes certificateurs ou en déclarant de faux partenaires.

Exemples flagrants de faux déchets

Faux déchets et leurs meilleurs usages

De plus en plus d'études pointent l'utilisation de biomasses (co-produits, restes alimentaires, invendus …) usuellement nécessaires à d'autres applications directes : alimentation humaine et animale, litière du bétail, isolation, mytiliculture, fertilisation et amendement naturel, paillages, construction … Cette affectation par recyclage direct est pourtant clairement la meilleure utilisation pour éviter au mieux les émissions de GES et l'utilisation inutile des sols.

Méthaniser ces biomasses n'a aucun sens environnemental, sociétal, énergétique et écologique, et crée des concurrences supplémentaires. Il est par exemple parfaitement inconcevable d'importer de très loin (du Brésil ou d'ailleurs) des aliments pour l'élevage en très grandes quantités, quand dans le même temps on sacrifie des surfaces où une alimentation souvent plus saine (en tout cas mieux contrôlée) aurait pu être produite.

Citons pour exemples la méthanisation des biomasses suivantes et quelques meilleures utilisations actuelles et/ou potentielles :

- algues et microalgues :
  - "bambous de mer" *Ecklonia maxima* : activateur biologique de cultures, biostimulant physiologique.
  - algues rouges *Furcellaria lumbricalis* : fertilisant.
  - algues vertes *Ulva intestinalis* : cosmétique, produits chimiques, complément d'alimentation animale, matériaux (carton, plastiques). *Dunaliella salina* : compléments alimentaires (anti-rayonnements et anti oxydants).
  - algues brunes *Sargassum* : constructions.
- amidon de tapioca, de manioc : alimentation, agent épaississant, friture
- balles de riz : aération et légère acidification du sol, construction (panneaux isolants ...)
- bave de charbon : additions matériaux de construction
- cactus *Opuntia spp. :* compost, amendement
- canne à sucre, bagasse, cendres de bagasse, résidus : amendement, construction (additions pouzolanique)
- CIVEs : avoine, phacélie, ray-grass, pois fourrager, maïs, seigle, trèfle, moutarde, vesce... : est-il nécessaire de détailler leur meilleur usage ?
- culture de panic érigé (switchgrass, *Panicum virgatum*) : paille
- coques de cacahuètes d'Inca, de cacao, de noix de coco : antioxydant, compost, construction, paillis végétaux, fertilisant, alimentation
- coquillages sous-dimensionnés d'élevages : rejet en milieu naturel
- coquilles d'œufs : renfort de compost, repousseur de nuisibles ...
- coupes de *Gliricidia sepium* (mère des cacaoyers et caféiers) : haies protectriques et ombragères, légumineuse enrichissant le sol en azote, prévention des adventices, fourrage
- déchets de bois : recyclage matière (ameublement, palettes, litières ...), compost.
- déchets de choux : alimentation animale, compost, amendement
- déchets de plantes médicinales : amendement
- déchets de poissons : farines, engrais
- déchets de poivre, poivre épuisé : amendement
- déchets de desserts industriels : alimentation animale
- déchets/résidus de fruits et légumes amendement, fertilisant, alimentation animale, compost
- drêches et eaux de brasseries (orge, malt, blé) : alimentation animale, amendement
- eaux résiduelles de bouillage du liège), de noix de coco : arrosage !
- eaux de moulins à olives : arrosage
- effluents et litières de poulets d'élevages : compost, amendement
- effluents et résidus d'aquaculture : amendement, fertilisants, alimentation animale et amendement
- épines de pins : paillage
- épluchures d'ignames : alimentation animale, compost
- fientes de pigeons : engrais (au compost, séché, en purin)
- fumiers et lisiers bovins, équins, caprins, léporidés, avicoles : fertilisation et amendement des sols
- germes de malt : compensation alimentaire (protéines, minéraux) pour les bovins

- glycérol : édulcorant et conservateur (industrie alimentaire), agent de texture et conservateur (médicaments), hydratant (cosmétique)
- grignons et margines d'olives : huile d'olive légère, amendement et fertilisant (K), compostage
- herbe à napier (*Pennisetum purpureum*) : fourrage
- herbes fauchées de bords de routes : biodiversité et polennisation ! amendement
- invendus (fruits, légumes : associations caritatives, alimentation animale
- jacinthes d'eau : compost, systèmes d'épuration, fertilisant, amendement
- lactoserum, perméats de lactoserum, acides gras laitiers : alimentation humaine (fromages de lactoserum, poudres et protéines de lactoserum, lactose et dérivés, transformation IAA (concentrat (WPC) et isolats (WPI)) et bétaillère
- lie de vin, de raisin : distillation
- luzerne et ensilage de luzerne : alimentation animale, amendement
- madre de cacao *Gliricidia sepium* : multiples usages médicaux, protection comme haie, fourrage
- maïs : alimentation
- manioc : eaux usées, résidus : alimentation animale, papetterie ...
- marc, coques et pellicule de café : amendement, répulsif à moustique, gommage pour la peau, matériaux de construction, paillage, composts, cosmétique, emballages
- marcs de pommes, de raisins
- mollasse de soja / alimentation (humaine, ruminants), probiotiques, colles
- pailles d'orge, de blé, de millet : litières, isolation thermique et acoustique, mytiliculture, amendement naturel, matériaux de construction, papiers
- palmes (rafles, fibres, effluents, bouquets de fruits vides) : épandages, compostages pour retour au sol
- peaux d'oranges : fertilisant naturel, compost
- peaux de bananes : fertilisant naturel, compost, amendement
- pelures de cacahuètes : paillage, augmenteur d'humidité, fertilisant, amendant
- petit lait de tofu : alimentation animale
- pulpes de betteraves : alimentation animale
- renouée du Japon : pharmacopée
- résidus d'industrie du poission : amendement
- résidus de camomille : fertilisant/amendement.
- résidus de crevettes : alimentation animale et humaine, extraction de chitine, chitosan
- résidus de choux *Brassica oleracea* : amendement
- résidus de dates : amendement
- résidus de grenades : amendement
- résidus de laine de mouton : isolant thermique
- résidus de laitues : alimentation animale
- résidus de millet : amendement
- résidus de nourriture à base de poulet : alimentation pour animaux
- résidus de fabrication : d'huiles essentielles (lavande, menthe, eucalyptus, romarin ...), de distilleries (fruits et légumes : amendement
- résidus de khat (*Cathe edulis*) : amendement, fibres de cellulose
- résidus de pêches en conserve : amendement, compost, alimentation animale
- résidus vinicoles et de vendanges : amendement
- restes alimentaires : alimentation animale
- roseau commun : paillage, construction
- sapins de Noël : compost, protection des littoraux, alimentation chèvres, brebis et moutons, paillage hivernal, allume feu
- saule (*Salix viminalis*) : paillage, compost, amendement
- sciure : paillage, litières, compostage, fumage ...
- seigle : alimentation, amendement
- thé : tiges : amendement
- tiges et résidus de maïs, pailles, ensilages : amendement, litières, alimentation, construction
- tomates (peaux, graines) : alimentation élevage
- tontes de pelouses : fertilisant naturel, paillage
- tourbe : laisser les tourbières intactes ! Leur renouvellement est très long, et ce sont des puits de carbone riches en biodiversité !
- tournesol (têtes) : amendement
- vinasse de sucre de canne, de téquila : fertilisant, amendement.

Deux exemples de meilleure utilisation de biomasses

Boues de STEP activées

Vu la faible énergie délivrée par méthanisation des boues activées, on peut se demander si les quantités de matière organiques de ces boues ne peuvent pas être utiles pour extraire des composés à bonne valeur ajoutée. Par exemple pour obtenir des acides gras volatiles, éventuellement transformés lors d'une étape ultérieure. Par exemple pour fabriquer des "bio" plastiques comme les polyhydroxyalcanoates (PHA), bon substituant aux plastiques dérivés du pétrole.

En revanche, l'utilisation des biodéchets ménagers pour faire l'équivalent, pour produire le "bio" plastique poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV)correspond à une

dérive non désirée puisque ces biodéchets ne sont pas des déchets vrais.

Génération de H_2 directement par fermentation

Plutôt que de passer par l'étape de formation de CH_4 par méthanisation, puis de former H_2 par méthanation, une méthode utilisant la fermentation anaérobie pour former directement H_2 semble beaucoup plus logique, puisque éliminant une étape nocive pour l'environnement. C'est par exemple ce que proposent des chercheurs à partir de peaux de bananes le digestat produit donnant des résultats prometteurs sur la croissance de maïs *Zea mays*. Pourvu que l'utilisation de cette biomasse reste cantonnée à n'utiliser que des résidus qui n'aient pas meilleure utilisation par ailleurs, l'approche semble éviter un des écueils de la méthanisation en termes de GES émis.

Intérêt des élus

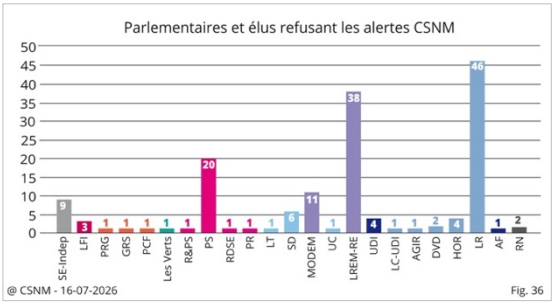
Devant autant de risques, dérives, impacts, le CSNM a décidé d'alerter les élus (parlementaires, conseillers régionaux et municipaux), à raison d'un mail d'information environ par semaine. De rares discussions sont ainsi nées.



Mais surtout, nous avons pu relever les élus désireux de ne plus recevoir ces alertes.

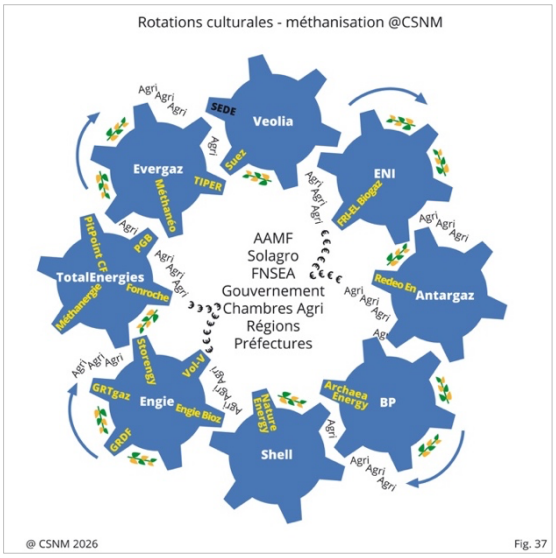
La répartition de ces derniers par groupe politique (Fig.36) est une sorte de mesure de leur préoccupation aux problèmes des riverains.

Fort heureusement, certains parlementaires prennent conscience de certaines dérives et dangers, et tentent de réagir.



Des agriculteurs asservis aux multinationales de l'énergie

Nous assistons depuis 2018, en France comme à l'étranger, au rachat progressif des équipementiers originels de la méthanisation par les multinationales du pétrole et du gaz (Fig.37). De fait, l'objectif des agriculteurs-méthaniseurs sera contraint par cette relation à évoluer vers la seule demande énergétique au détriment des sols.



C'est ainsi que les usines agricoles dont le bénéfice net est en berne sont rachetées par les mêmes multinationales.

Viabilité des structures et enjeux futurs

Viabilité économique, cessations d'activités

La viabilité économique des méthaniseurs est très fragile, principalement à cause du faible TRE, car toute fluctuation de tarifs, de subventions au rachat ou de revente annule potentiellement tout bénéfice, et surtout pour les plus petites usines. Même sans fluctuation, la rentabilité financière n'est pas assurée. Cette fragilité est encore plus prononcée dans des lieux géographiquement plus isolés, où les subventions deviennent absolument obligatoires, dans les iles écossaises par exemple, la province du Limpopo en Afrique du Sud, ou dans les régions de faible coût de l'électricité comme dans le Pacifique Nord-Ouest. Cette non rentabilité a été soulevée très tôt en Inde, dès 1977.

Nous pouvons aussi remarquer que la rentabilité de la cogénération, selon les mesures locales de subventionnements et les conditions tarifaires, est plus rentable que l'injection, comme en Sud Afrique.

Ceci crée une contrainte financière supplémentaire :

- Sur les exploitations agricoles.
- Sur les communes, intercommunalités et départements, qui doivent éponger les déficits et maintenir/réparer les voiries, quand il ne s'agit pas tout simplement d'assumer des frais de travaux qui devraient naturellement être à la charge des exploitants. Pour finalement, certaines fois, revendre pour 1 € symbolique ... à des compagnies privées !
- Et sur l'Etat qui se désengage directement ou indirectement du gouffre financier qu'il a lui-même créé, ce qui évidemment se répercutera

progressivement sur les contribuables. La Cour des Comptes elle-même s'alerte, et pourtant les sommes annoncées sont loin du compte !

La fluctuation d'approvisionnement en intrants (due aux concurrences à la surface) pose également le même type de problèmes, tout comme le prix des matériaux et des intrants à la hausse ou les subventions à la baisse ou encore les changements réglementaires mis en place pour lutter contre l'accidentologie croissante, voire les simples maintenances donnant lieux à des coûts exhorbitants ou des arrêts prolongés.

Egalement, l'accroissement des prix des engrais lié aux différents conflits internationaux, incite à revenir à l'épandage de fumiers traditionnels. Ce retour à une agriculture plus raisonnable s'accompagne d'un manque en intrants de méthanisation chez certains agriméthaniseurs à la recherche de fumier.

Ainsi, les petites structures sont les premières touchées par les faillites. Les structures plus moyennes sont également touchées à la moindre fluctuation ou stagnation financière. Mais même les grosses structures telles qu'Engie refusent de se lancer si les subventions ne sont pas assez importantes.

Le tout à tel point que, pour compenser les bénéfices si faibles, voire négatifs, il devient nécessaire de supprimer des commandes de méthaniseurs ou d'établir des voies détournées d'obligations, par exemple les subventions, les "certificats de biogaz", ou encore la modification du tarif de rachat à la moindre augmentation d'inflation, autant d'aides qui seront en fait payées par les consommateurs !

Malgré toutes ces mesures les cessations d'activités sont assez courantes. Nous mesurons aujourd'hui une moyenne de durée de vie à cessation de 8,5 ans (Fig.26) reflétant de manière homogène les proportions de chaque type de méthaniseur.

Quelques exemples de sociétés, méthaniseurs (soulignés) et liées à la méthanisation, radiées du registre du commerce (dates de radiations entre parenthèses) :
Actibio La Chapelle, Agraferm France (2012), Agri-Méthanisation du Cotentin, Agrigaz 41 (2023), Agroenergie (2017), ALB Green Gaz (2022), ALM Biopôle, Alterneo, ArcBiogaz, Arseme, Astrade, B2S Energie (2025), Berry Biogaz, Bifrost (2025), Bimega, Bio Méthagri (2021), Bioénergie la Comtesse (2024), Biogaz Amailloux (2021), Biogaz Bragard (2024), Biogaz Caux Littoral (2022), *Biogaz de Brécy* (2023), Biogaz Engineering (2015), Biogaz France (2013), Biogaz Gournay (2021), Biogaz Hanches (2021), Biogaz Invest Naujac (2025), Biogaz Invest Saint-Sorlin (2016), Biogaz Landes (2024), Biogaz Penol (2021), Biogazélec (2020), Biohydrometa (BHM, 2024), Biométhane Beau Chêne (2018), Biométhane Expansion (2019), Bionersis, Bispont Biogaz (2026), Bright Biométhane France (2022), Blue Pearl Energy Services (2023), Carentan Méthanisation, Cefal Dana Gaz (2023), Certitude Energie Méthanisation, Charolais Biogaz (2022), CUMA Métha 09 (2026), D-Carbone (CVE Biogaz) (2024), Dalkia Biogaz (Ferrière (2018), Gardanne, Gizay (2022), Grange David (2022), La Ciotat (2022), Orange (2022), Perbousie (2022), Saint-Laurent (2022), Sainte-Sévère), DAO & co, Delvalle Gondouin, Ecovalim by CVE (2024), Eden Biogaz Méthanisation (2019), Energie du Mont Lage, Energies Naturelles 44, Energie Verte de l'Aunelle (2024), Etude-Biogaz, Ferme du Biogaz (2014), Fixhub Energies (2025), Fonroche Biogaz Investissement (2014), France Biogaz Développement (2024), France Biogaz Environnement, Galatia Group, Galamétha (2025), Gaz Européen Holding, Gaz Vert de la Bourbre, Gazcoop (2026), Gazinnov (2023), Gazosoleil, Géotexia, Green Project & Conception, Grosne Biogaz, Incorporateur-biogaz.com (2020), Ineval/Ogin Biogaz (2024), Inno Biogaz (2020), ISDND Beine-Nauroy, ISDND Granges, ISDND Vernéa Puy-Long, Je Roule au Biogaz de ..., J.I.T., Jokosun, Karrgreen (Le Pouzin, Loudéac (2023), Moréac, Ploërmel, Pontivy, Saint-Eloi), K-Revert, La Méthanaysienne, La Prade Biogaz (2024), Lempsi Biogaz, Les Ormes Biométhane (2022), Letang (2024), Léviénergie, Mac Méthagricor (2024), Mairieux Biogaz (2020), Mater Biogaz (2015), Mathéoz Le Vernet (2020), Mazuc Biogaz (2024), Méth'Ysieux (2025), Métha Beauce (2018), Métha de Remennecourt, Métha Energie de la Scarpe (2024), Métha Green Gaz (2024), Métha Peyroux, Métha'Groupe, Métha'VO (2024), Méthadub (2023), Méthaénergies, Méthaisne Energies Vertes (2026), Méthajoule, Méthalait, Méthan Verville (2018), Méthane Invest, Méthanisation Biogaz Val de Sâone (2019), Méthaniseur du Matz (2022), Méthaniseur.com (2020), Méthavenir, Méthaénergies (2018), Micrométha (2024), Mougeolle Energie (2024), Mouron Energies, Naoden, Oxenbridge Biogaz (2015), PAGE Energies (2022), Patural Energie, Petite Californie Nantes, PN Biogaz (2022), Point Fort Environnement, Prometer EVAM, Refood Biogaz (2023), Romilly Biogaz (2021), Sagne Biogaz Energie (2020), Salers Biogaz 1 et 2, Serto Environnement, SIB de Craon Société d'installation Biogaz de Craon (2025), Sioule Biogaz (2024), SJL Energies, SNCI Biométhane (2018), Soumans Biométha (2026), STEP Grand

Chambéry, Teras Méthanisation, Thoiry Bioénergie, Valterris (2017), Vexin Méthanisation (2023).

Lors d'accidents il est également fort possible que la balance financière du méthaniseur soit sévèrement touchée, jusqu'à conditionner l'existence même de l'élevage qu'il était sensé soutenir.

Ces constats sont bien évidemment reconnus par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE), qui note un subventionnement hors norme (et à faire décroitre) au regard de l'énergie délivrée. Les chiffres annoncés sont de plus de 18 Mds d'€ pour la filière hors rachat du gaz ...

Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE 3, fév. 2026) et ses contradictions

"*Pour sortir de la dépendance aux énergies fossiles, la PPE3 mise sur l'électrification massive des usages, qui est une condition à sa réussite. Ainsi, pour synchroniser consommation et production sur le long terme, la PPE3 sera accompagnée d'un plan d'électrification ambitieux*" (dossier de presse, p.5). Suivant cette logique, EDF notamment incite ses clients à abandonner les chaudières à gaz pour leur préférer les pompes à chaleur (PAC). Pour Selectra, "*l'objectif désormais est de réduire le parc de chaudières gaz dans le résidentiel de 20 % d'ici 2030. Cela représente environ 350.000 foyers qui devront, chaque année, abandonner le gaz pour une autre solution*".

Cette approche est valable autant pour les particuliers que pour les industriels comme le précise le ministère de l'environnement (https://www.ecologie.gouv.fr/actualites/electrifions- france-energie-moins-chere-plus-souveraine-plus-durable) : "*Trois axes prioritaires pour transformer concrètement les usages. Pour parvenir à ces objectifs, le Gouvernement agit sur trois priorités :*

• *Electrifier les bâtiments (pompes à chaleur, rénovation énergétique, etc.).*

• *Electrifier les mobilités (véhicules électriques, bornes de recharge, etc.).*

• *Electrifier l'industrie, l'artisanat et l'agriculture (modernisation des outils de production, solutions bas carbone, etc.)* ".

Parmi les arguments avancés, la réduction progressive des abonnés au gaz va provoquer un accroissement important du coût des abonnements, qui doivent couvrir la maintenance et la gestion du réseau national de distribution. Pourtant, l'ADEME projette "*à l'horizon 2050, entre 11,5 et 14,3 millions d'hectares de sols agricoles et forestiers pourront être nécessaires pour répondre aux besoins en biomasse énergétique*". Ainsi, on ne compterait plus sur la production de "biométhane". Dans ce cas, à quoi bon créer de nouveaux méthaniseurs ? Voilà une contradiction importante de la PPE3.

Mais il en existe d'autres. Alors que selon tous les experts le dérèglement climatique va accroître les risques de vagues de chaleur avec sécheresses estivales et même printanières, donc que les débits d'étiage des fleuves et rivières vont diminuer, la PPE3 prévoit l'implantation de nouveaux EPR et de petits réacteurs nucléaires modulaires (SMR) qui ont un besoin important d'eau de rivière pour leur refroidissement. Comment les refroidira-t-on ? En dérégulant les normes en matière de rejets d'eau ? Bref, de belles perspectives si on pense que les retenues d'eau (bassines et autres) et centrales nucléaires consomment de l'eau par évaporation (1 à 3 m^3/s pour un réacteur ; au moins 60 à 120 m^3/j/ha de surface de réservoir). Et comment fera-t- on si la mise en œuvre d'un nouveau programme de campagne présidentielle conduit à l'arrêt d'éoliennes et de fermes photovoltaïques ? Quant au développement de l'hydroélectricité, il est peu probable puisque tous les grands sites aménageables ont déjà été équipés.

Conclusions

Tous ces faits sont partagés par nombre d'organisations scientifiques et scientifiques individuels, nationaux et internationaux :

- Académie des Sciences Allemande Léopoldina: "*Germany should not focus on bioenergy to reduce the consumption of fossil fuels and GHG emissions*".

- Johns Hopkins University (Baltimore, USA) : "*Based on the current state of available evidence, manure digesters should not be promoted as a solution for manure management and energy production*".

- Union of Concerned Scientists: "*The state pumps millions into methane produced by manure – but advocates argue it increases greenhouse gas emissions and encourages factory farming*".

- GRoupe scientifiquE de réFlexion et d'inFormation pour un développement durablE (GREFFE).

- Food and Water Watch.
- Matilda Dunn (Policy Analyst, Green Alliance).
- Laura Calvet-Mir, Jaume Sastre-Juan, Jaume Valentines (Universita Autonoma de Barcelona), Joserra Olarieta, Victo Altés (UdL)

... A l'heure où l'Allemagne se désengage de la méthanisation, il serait inopportun que la France s'y enlise. L'Europe, avec la France, en développant la méthanisation, le GNL, la pyrogazéïfication, la gazéïfication hydrothermale, la méthanation, s'engage sur une voie qui sacrifie le stockage du carbone et la biodiversité au profit des entreprises de la "bio" énergie, en émettant plus de GES et en accroissant la déforestation.

Nous nous tenons à votre disposition pour éclaircir tous ces points.

Sincèrement

Pour le CSNM D. Chateigner
Coodonateur CSNM

Pour en faciliter la lecture, ce document ne cite pas les références qui ont permis de l'établir.

Toutes les informations complémentaires relatives aux bases de travail (Références scientifiques, Parutions presse nationale, Arrêtés Préfectoraux et Permis de construire, sont accessibles sur la version intégrale.

Les 32 membres du Collectif Scientifique National Méthanisation raisonnable

Almagro Sébastien	Maître de Conférences	Unité de Reims	Biochimie cellulaire
Astruc Jean-Guy	Docteur-Ingénieur	BRGM, retraité	Géologie, Hydrologie
Aurousseau Pierre	Professeur des Universités	CNRS, retraité	Agronomie, Environnement
Bakalowicz Michel	Directeur de Recherches	CNRS, retraité	Hydrologie, spécialiste des sols karstiques
Bourguignon Claude	Ingénieur Agronome	LAMS	Microbiologie
Bourguignon Emmanuel	Ingénieur Agronome	LAMS	Microbiologie
Bourguignon Lydia	Ingénieur Agronome	LAMS	Microbiologie
Brenot Jean-Claude	Maître de Conférences, HDR	Université de Paris-Sud, retraité	Physique, Electronique
Chateigner Daniel	Professeur des Universités	Université de Caen Normandie	Physique
Chorlay Eric	Docteur en Médecine	Faculté de Lille	Médecine Générale
Courtois Pierre	Ingénieur-Physicien	Institut Laue-Langevin	Physique
Demars Pierre-Yves	Chargé de Recherches	CNRS, retraité	Préhistoire
Fruchart daniel	Directeur de Recherches Emerite	CNRS	Physique-Chimie
Hamet Jean-François	Professeur des Universités	Ecole Nationale Supérieur d'Ingénieurs De Caen	Chimie
Jouany Jean-Pierre	Directeur de Recherches	INRAE de Theix, Retraité	Biologie, Chimie, Physique
Kammerer Martine	Professeur des Universités	Ecole Vétérinaire de Nantes	Toxicologie animale et environnementale
Langlais Matthieu	Chargé de Recherches	CNRS, Laboratoire PACEA, Université de Bordeaux	Préhistoire
Lasserre Jean-Louis	Ingénieur Chercheur	CEA, retraité	Electronique et Systèmes Rayonnants
Lavelle Patrick	**Académicien des Sciences** de l'Environnement	Pierre et Marie Curie Professeur des Universités	Ecologie des Sols, Sciences Paris VI, Sorbonne Université
Le Lan Jean-Pierre	Professeur des Universités	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Angers, retraité	Electronique, réseaux informatiques, Environnement, Prévention des déchets
Lorblanchet Michel	Directeur de Recherches	CNRS, retraité	Préhistoire, spécialiste des grottes ornées
Morales Magali	Maître de Conférences, HDR	Université de Caen Normandie	Physique
Murray Hugues	Professeur Emérite des Universités	Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen	Physique
Petit Patrice	Directeur de Recherches	CNRS Université Paris Cité	Toxicologie, Biologie cellulaire
Raveau Bernard	**Académicien des Sciences** Professeur des Universités	Université de Caen Normandie	Chimie
Salomon Jean-Noël	Professeur des Universités	Université de Bordeaux, retraité	Géographie Physique
Serreau Raphaël	Directeur de Recherches	Laboratoire PsycoMADD, AP-HP Unversité Paris Saclay	Médecin de Santé Publique, Praticien hospitalier
Tarisse André	Docteur Ingénieur	DDAF du Lot, retraité	Hydrogéologue
Texier Hervé	Professeur des Universités	Université de Caen Normandie, retraité	Biochimiste-Géochimiste
Viers Jérome	Professeur des Universités	Observatoire Midi-Pyrénées	Géochimie des Eaux et des sols
Vinci Doriana	Chercheuse	LASER Européen à électrons Libres et rayons X, Hambourg	Chimie Minérale, Christallographie

Membre honoraire, Liliane Réveillac, Médecin hospitalier à l'hopital de Cahors, Radiologue, décédée le 28 mai 2026, a été à l'initiation de CSNM en septembre 2018

Cartographies du CSNM et album photo

La database d'accidents (760 accidents sur 365 sites) :
https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1PtVRLb8cqaijStrw55KCcVqf_38QoZLS&usp=sharing

La database de collectifs et associations de Riverains (331 collectifs sur 303 communes) :
https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1PtVRLb8cqaijStrw55KCcVqf_38QoZLS&usp=sharing

La database des Mairies et Préfectures contre (232 Mairies-Préfextures) :
https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1PtVRLb8cqaijStrw55KCcVqf_38QoZLS&usp=sharing

L'album photo : ce qu'il ne faut pas faire, en images :
https://drive.google.com/file/d/16Hnx_oXGNIe_yK4v8y9l8AHQcAr2M3F_/view?usp=share_link

Petites vidéos d'avis contradictoires

- Les vrais chiffres de la méthanisation
https://www.youtube.com/watch?v=sO7b7iI00ro
- Chapitre 1 : La Méthanisation, le vrai du faux
https://www.youtube.com/watch?v=xuyjSz-C3RU
- Chapitre 2 : La Méthanisation, L'arnaque du siècle
https://www.youtube.com/watch?v=iwVspoSMzRQ
- Chapitre 3 : La Méthanisation, Le poison sort du méthaniseur
https://www.youtube.com/watch?v=8w247hnthTk
- Chapitre 4 : La Méthanisation, une bombe à retardement
https://www.youtube.com/watch?v=auslXwTDUuY
- Chapitre 5 : partie 1 : La Méthanisation, voyage en Méthanie
https://www.youtube.com/watch?v=RPAWUXq_H0I
- Chapitre 5 : partie 2 : La méthanisation, la culture du mensonge
https://www.youtube.com/watch?v=eC6HsQUCDNk`

Vidéos de Conférences

- Conférence-Débat organisée à Bozouls (12) par Bozouls Comtal Citoyens, le 23 octobre 2025.
- Fontecave M., 2024-01-17 : Cours du Collège de France : Biomasse et Bioénergie : aujourd'hui et demain.
https://www.youtube.com/watch?v=kta-EksUw_0

la méthanisation
et ce qu'ils ne disent pas...

