

Observations du CSNM

Vis-à-vis du projet de construction d'usine de méthanisation par Lingenheld Environnement Champagne

A Prunay (51)

29 juillet 2022

L'Etablissement Lingenheld Environnement Champagne présente un projet de construction d'usine de méthanisation sur la commune de Prunay, pour un tonnage d'intrants de 15590 t/an. Ce projet n'est évidemment pas un projet agricole, mais industriel. Il n'entraînera aucune certitude sur la pérennisation des emplois et ne contribuera en rien à la baisse d'émissions de GES.

Quelques remarques permettant de se rendre compte du manque de clarté, sinon de sérieux, dans l'écriture du dossier d'autorisation :

- La production de biogaz de l'ordre de 2,494 Mm³, semble n'engendrer qu'une valeur très faible de biométhane.
- La quantité de digestat obtenu semble étrangement grande, quasiment le double (liquide + solide) du tonnage d'intrants. 21500 t/an de digestat liquide n'est assurément pas une « petite » (sic) valeur.
- En période de pénurie d'eau croissante et assurément future, l'alimentation en eau du méthaniseur par apport par réseau public communal est une ineptie flagrante. A moins que cette méthanisation annoncée en « Voie Sèche » soit « légèrement » humidifiée ...
- Le total tonnage d'intrants ne correspond pas à l'incorporation quotidienne déclarée (44 t/j)

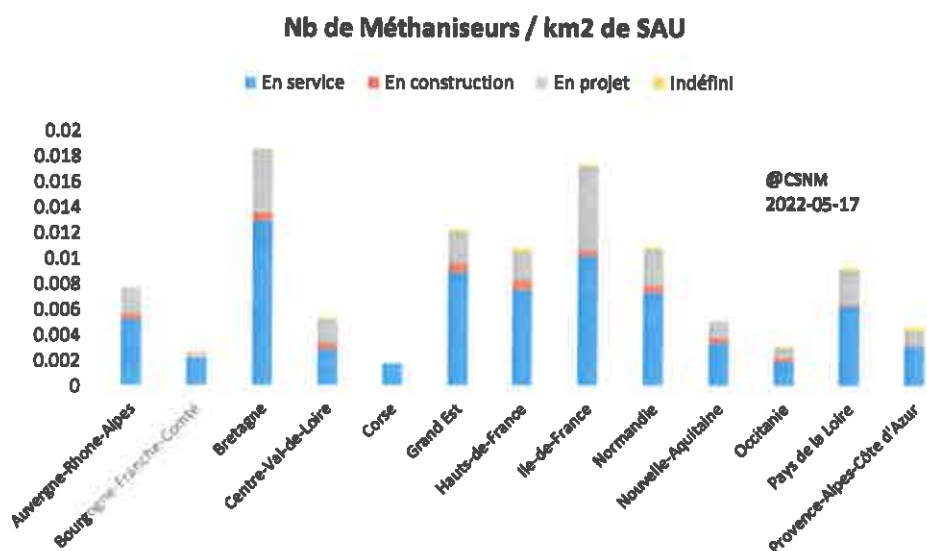
Mis à part ces 4 points, la lecture de ce qui suit vous permettra d'appréhender les raisons pour lesquelles, scientifiquement, un tel projet ne peut être acceptable, puisqu'il s'agit *in fine* de créer du néo-méthane qui n'aurait pas existé sans cette usine.

Cette usine ATEX représente un danger pour ses exploitants ainsi que pour les riverains. Depuis 2015 et encore récemment, des études scientifiques (Soltanzadeh *et al.* 2022, Stolecka *et al.* 2021, Trávníček *et al.* 2015) 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 (Mbareche *et al.* 2018, Merico *et al.* 2020, Naja *et al.* 2011, Zhang *et al.* 2019), ou détectent des pollutions des sols après épandages (Bian *et al.* 2015) à des niveaux de risques élevés. Nul doute que ce type de dispersions polluantes, malheureusement ressenties dans un nombre de cas croissant, créeront des problèmes sanitaires à plus ou moins long 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.

La Région Grand-Est affiche une densité de méthaniseurs déjà en fonctionnement de 0,009 méthaniseurs/km² de SAU (Figure 1a), en peloton de tête des régions en densité de méthaniseurs. Vu les projets en instance, comme dans les autres régions et au niveau national (Figure 1b) 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 (Voir articles de presse nationale en fin de document).

Dans le département 51, la distance moyenne actuelle entre méthaniseurs en fonctionnement sur la surface agricole utile est de 14,5 km. Cette distance sera de 11 km à peine si tous les projets actuels arrivent à terme. Une telle distance est déjà bien inférieure aux distances de chalands et d'épandages de digestats moyennes (Figure 1b), 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. 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 (Grouiez 2021).



a)

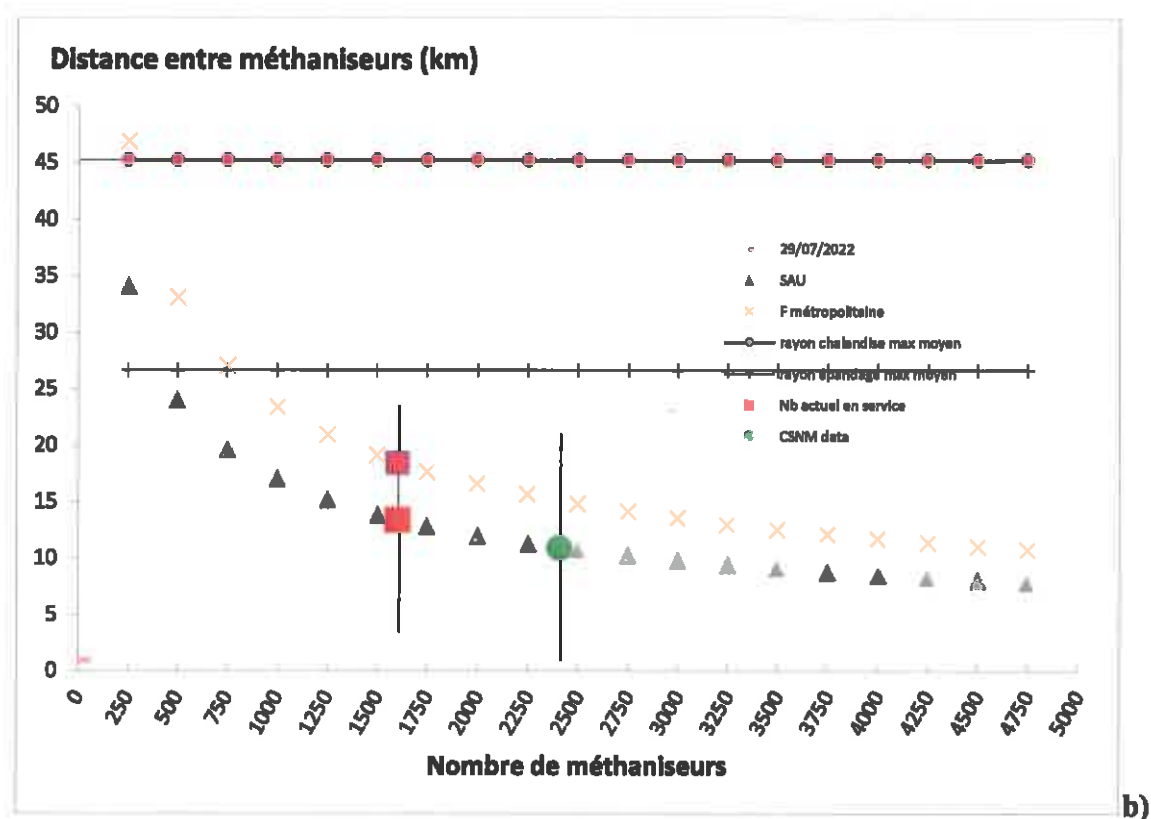


Figure 1

Le CSNM tient à porter à votre connaissance les faits suivants, qui réfutent le caractère bénéfique et vertueux de la méthanisation non raisonnable, et par conséquent de l'usine de méthanisation concernée ici:

1- 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 résulte les points suivants.

11- 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.

12- Circuits courts uniquement

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

a) 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 CO₂ (Caposciutti *et al.* 2020), même en acceptant l'idée fautive de neutralité carbone de la méthanisation.

b) 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 de la station a été totalement assurée par la méthanisation.

c) correspondre à une utilisation locale, dans le périmètre d'exploitation ou des exploitations, pour éviter d'exporter du digestat (Van Puffelen *et al.* 2022).

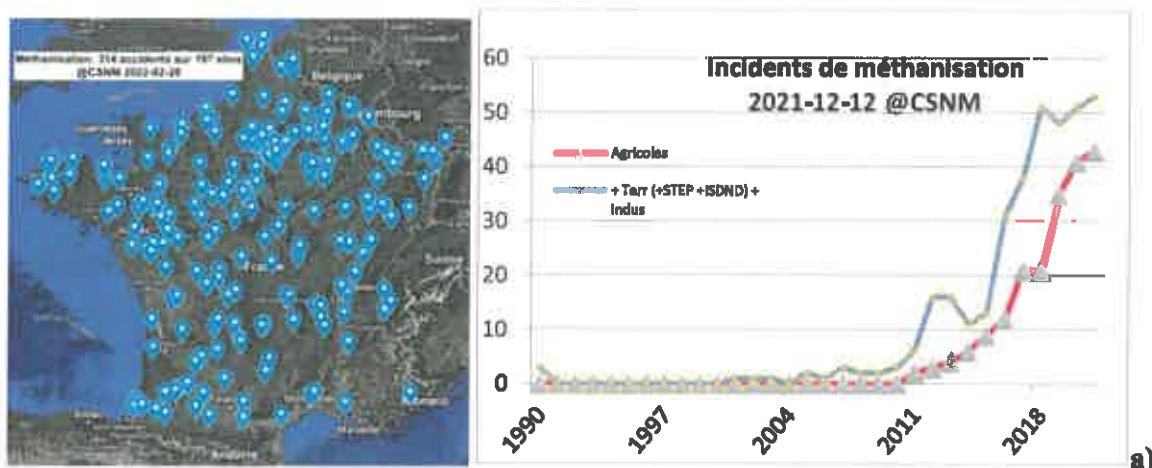
13- Digestats modérés

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. Les ruissellements chargés en azote et phosphore sont encore mal étudiés (Horta *et al.* 2021), et les digestats nécessitent bien souvent une réduction du taux d'azote et de phosphore (Li *et al.* 2022a, Van Puffelen *et al.* 2022).

Les trajets nécessaires pour exporter les digestats dépassent les frontières chez nos voisins européens (Van Puffelen *et al.* 2022), ce qui arrivera en France à coup sûr.

14- Surveillance et contrôles

La surveillance à tous les niveaux du processus de méthanisation doit être réalisée en toute indépendance, comme pour toute usine correctement gérée. L'accidentologie croissante due à la méthanisation (Figure 2a), scientifiquement documentée (Moreno *et al.* 2015, Moreno *et al.* 2016), montre que cette surveillance n'est plus acceptable. Le taux d'accidentologie (nombre d'accident par méthaniseur et par an) ne cesse d'augmenter depuis l'augmentation des subventions (Figure 2b). 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.



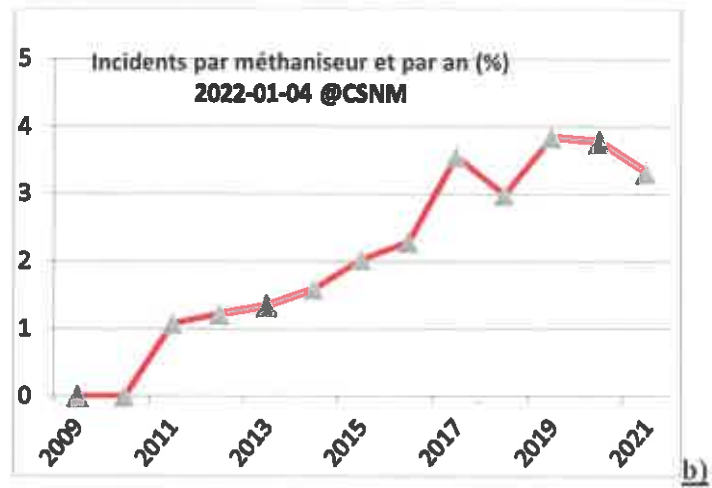
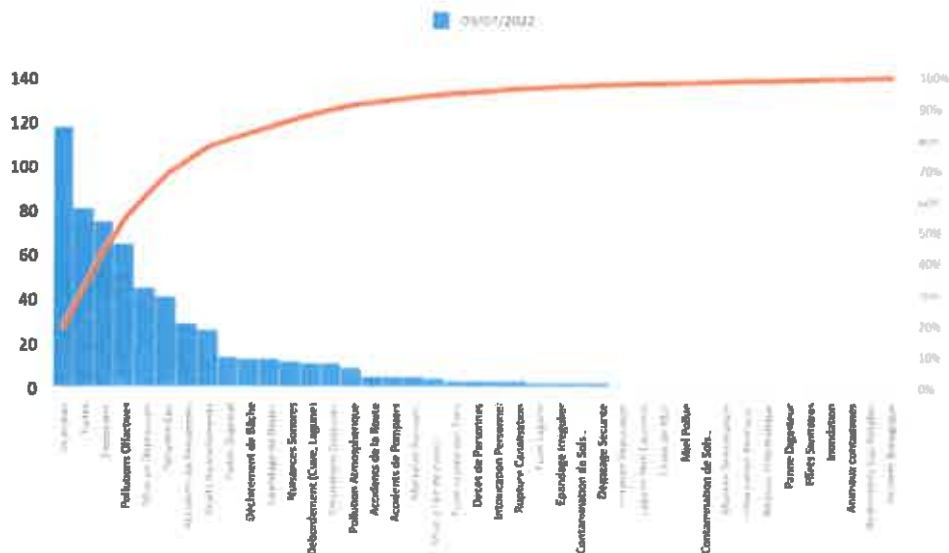


Figure 2

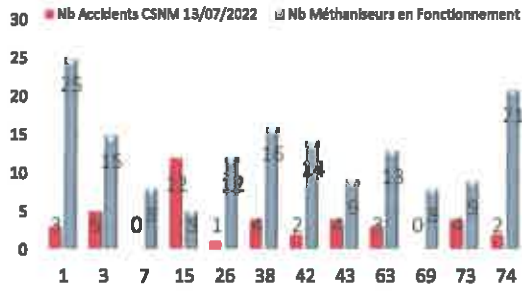
Est-il besoin de rappeler les principales nuisances occasionnées autour des sites de méthanisation en France (Figure 3a) ? La Région est particulièrement accidentogène en ce qui concerne la méthanisation (Figure 3b).

Distribution par Types d'Accidents @CSNM

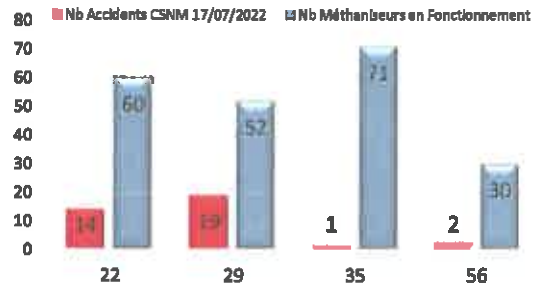


a)

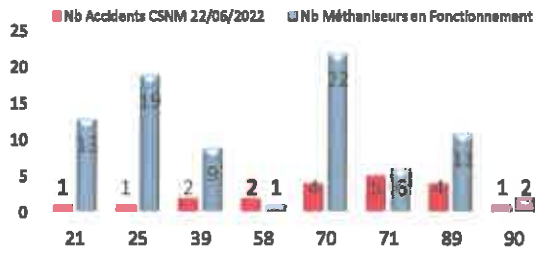
Auvergne-Rhône-Alpes



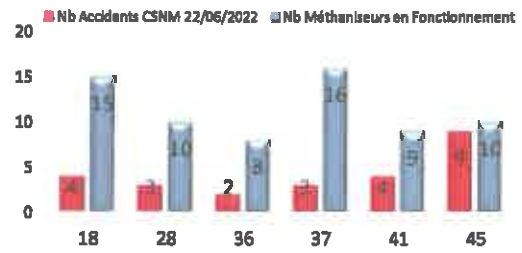
Bretagne



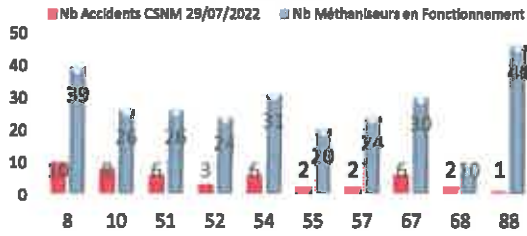
Bourgogne-Franche-Comté



Centre-Val-de-Loire



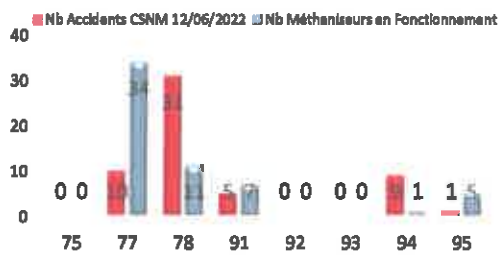
Grand-Est



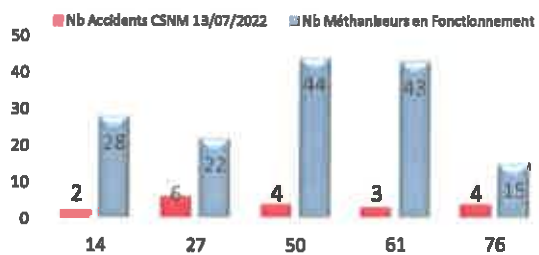
Hauts-de-France



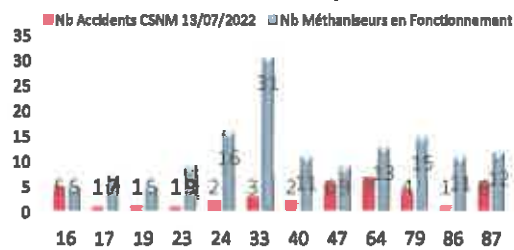
Ile-de-France



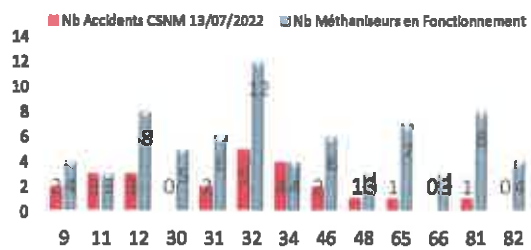
Normandie



Nouvelle Aquitaine



Occitanie



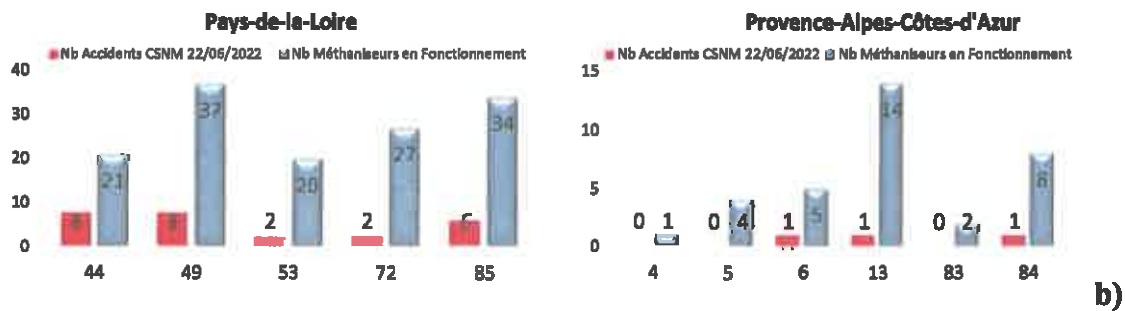


Figure 3

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 chaîne de production. Par exemple, NH_3 est émis principalement à partir des zones de stockages d'intrants et de digestats (Awiszus *et al.* 2018, Bell *et al.* 2016).

L'Etat se rendra responsable des effets sanitaires créés sur la population, s'il accepte la construction de cette usine.

15- Démantèlement

Comme toute activité industrielle, la prise en compte du démantèlement des usines après usage doit être assumée par la structure industrielle.

16- 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.

a) 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 (Ali *et al.* 2019, Barcauskaité 2019, Golovko *et al.* 2022, Kuo *et al.* 2017, O'Connor *et al.* 2022, Zhang *et al.* 2019) : 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, Benzène, Benzènes aromatiques, Bromopropylate, Chlorpyrifos, DDT, Endosulfan, Ethion, Fluoranthène, Phenanthrène, Propène, Pyrène, Tétradifon, Terpènes, Toluène, 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 (Brändli *et al.* 2007), et aucun abattement significatif comparé aux composts pour les phtalates, dioxines, furanes, pesticides, fongicides, herbicides ... (Brändli *et al.* 2007a).

Des COVs sont également émis par les moteurs des cogénérateurs, et peuvent dépasser les seuils admissibles (Kuo *et al.* 2017).

b) Phytosanitaires

Des désherbants (diuron par exemple), pesticides et fongicides sont régulièrement observés (Golovko *et al.* 2022, Li *et al.* 2022).

c) 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 (Asp *et al.* 2022, Bonetta *et al.* 2014, Cucina *et al.* 2021, Golovko *et al.* 2022, Le Pera *et al.* 2022, Li *et al.* 2018, Li *et al.* 2022, Nkoa 2014, O'Connor *et al.* 2022, Pivato *et al.* 2016, Sailer *et al.* 2022, Tshikalange *et al.* 2022, Zheng *et al.* 2022), les sols épandus pouvant dépasser largement les seuils admissibles (Bian *et al.* 2015, Li *et al.* 2018, Zheng *et al.* 2022) 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 ! (Pivato *et al.* 2016, Zheng *et al.* 2022).

En conséquences, la teneur en métaux lourds dans les végétaux alimentaires peut dépasser les seuils admissibles, notamment en Cd et Pb pour le maïs grains (Przygocka-Cyna *et al.* 2020).

d) Persistance de pathogènes dangereux

Les digestats non pasteurisés ne montrent pas un abattement plus prononcé de pathogènes sévères (Coliformes, Helminthes, *Salmonella (enterica et senftenberg)*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Clostridium (botulinum, difficile, perfringens)*, *Cryptosporidium spp.*) plus que l'utilisation d'effluents simples, montrent des effets phytotoxiques, et présentent donc un risque environnemental et de santé (Bonetta *et al.* 2014, Garbini *et al.* 2022). Les digestats doivent donc être post-traités pour ne pas représenter un risque important pour la santé et dans les sols (Cucina *et al.* 2021, Le Maréchal *et al.* 2019, Owamah *et al.* 2014, Russell *et al.* 2022).

Les digestats pasteurisés présentent un risque principalement à cause des espèces pathogènes suivantes, qu'il convient de surveiller aux épandages (Nag *et al.* 2020) : *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 résistantes 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 (Haffiez *et al.* 2022). Il y a donc un risque élevé de propagation de nombreuses espèces de bactéries antibio-résistantes, notamment de *Bacillus cereus* et de *Clostridium sp.* (Garbini *et al.* 2022, Golovko *et al.* 2022, Nesse *et al.* 2022, Sun *et al.* 2020).

e) Micro- et Macro-plastiques

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 pas décomposés par méthanisation. Il résulte du procédé, également, des micro-plastiques invisibles à l'œil nu (O'Connor *et al.* 2022).

f) 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, théobromine, triclocarban, triclosan ... (Golovko *et al.* 2022, Li *et al.* 2018, Li *et al.* 2022, Nesse *et al.* 2022). Ces présences médicamenteuses ont tendance à développer une faune bactérienne résistance aux antibiotiques, notamment à l'amoxiciline et à la pénicilline G (Nesse *et al.* 2022).

2- 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 fautive à moins de remettre en question les travaux du GIEC, dont le dernier rapport est pour le moins alarmant en ce qui concerne CH₄ et CO₂. 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>).

L'exemple du bois est à ce titre très évocateur (Techniques de l'Ingénieur 2012) 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). Même les mix énergétiques très carbonés de l'Allemagne d'il y a dix ans et de l'Italie ne permettent pas de trancher en faveur de la méthanisation d'un point de vue GES (Fusi *et al.* 2016, Meyer-Aurich *et al.* 2012, Meyer-Aurich *et al.* 2016).

La « neutralité carbone » est prise comme prétexte pour ne pas comptabiliser la combustion de CH₄ (qui donne CO₂) dans le bilan GES. Mais on comprend bien que si cette combustion a lieu en continu, alors CO₂ 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 CH₄ dans l'analyse du cycle de vie, les résultats sont très contrastés et montrent des gains en GES très éloignés de tout effet significatif (Breunig *et al.* 2019, Le Pera *et al.* 2022, Ravina *et al.* 2015). De plus, aujourd'hui les méthaniseurs créent intentionnellement du méthane, les déchets vrais ne suffisent 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 (Grubert 2020). 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 (Grubert 2020).

3- Balance environnementale, Emissions de GES et Gaz à effets sanitaires

La balance environnementale de la méthanisation en terme d'émission de gaz divers, à effet de serre (GES) tels que CO₂, CH₄ et N₂O ou à effets sanitaires tels que NH₃, H₂S, NO_x, CO, composés organiques volatiles (COV) ..., ne peut pas être positive pour de multiples raisons.

31- Gaz à Effet de Serre (GES)

Concernant les émissions de GES, le CSNM et le GREFFE l'ont calculé, les émissions de GES sont plus importantes qu'avec l'utilisation du gaz naturel. Il faut prendre en compte :

a) les fuites de méthane sur sites et en lignes, avec les PRG corrects des gaz CH₄ et N₂O sur la durée de vie des méthaniseurs qui n'est jamais mentionnée. Nous mesurons 9,4 ans à cessation d'activité, soit un PRG(CH₄) d'au moins 86 (Grubert *et al.* 2019) ! Des estimations de cycles de vie prennent 15 à 20 ans de durée de vie seulement (Nurgaliev *et al.* 2022, Valenti *et al.* 2016).

Les fuites de méthane sur sites (agricoles, STEP et ISDND, mais aussi microméthaniseurs et méthaniseurs de ménages), à toutes les étapes (stockages d'intrants, digesteurs, épurateurs, stockages de digestats ...), représentent des émissions GES considérables (Bakkaloglu *et al.* 2021, Bakkaloglu *et al.* 2022, Baldé *et al.* 2016, Bühler *et al.* 2022, Burrow 2019, Daniel-Gromke *et al.* 2015, Delre *et al.* 2017, Feng *et al.* 2018, Flesch *et al.* 2011, Fredenslund *et al.* 2017, Fredenslund *et al.* 2018, Fusi *et al.* 2016, Groth *et al.* 2015, Holmgren *et al.* 2015, Hrad *et al.* 2015, Hrad *et al.* 2021, Jélilnek *et al.* 2021, Jensen *et al.* 2017, Khoiyangbam *et al.* 2004, Kvist *et al.* 2019, Liebetrau *et al.* 2010, Liebetrau *et al.* 2013, Merico *et al.* 2020, Mønster *et al.* 2015, Mønster *et al.* 2019, Reinelt *et al.* 2016, Reinelt *et al.* 2017, Reinelt *et al.* 2020, Reinelt *et al.* 2022, Samuelsson *et al.* 2018, Schaum *et al.* 2016, Scheutz *et al.* 2019, Tauber *et al.* 2019, Vergote *et al.* 2020, Yoshida *et al.* 2014, Zeng *et al.* 2020).

Le stockage des digestats représente la source la plus importante d'émissions de CH₄, jusqu'à 14,8% du total produit (Bakkaloglu *et al.* 2022), les stockages à ciel ouvert émettant évidemment plus que les zones couvertes, mais ces dernières restent des émetteurs importants.

La phase de production de biogaz est la seconde plus émettrice, jusqu'à 9,9% (Bakkaloglu *et al.* 2022). Les émissions proviennent des digesteurs, des hygiénisateurs, les valves de pression pouvant représenter 2% (Zeng *et al.* 2022).

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 CH₄ produit (Bakkaloglu *et al.* 2022, Kvist *et al.* 2019), à cause des valves de sécurité, des systèmes de ventilation et aération, pompes, membranes ...

La phase de stockage d'intrants lisiers-fumiers peut représenter de 1 à 48% de pertes de méthane ! (Feng *et al.* 2018). Cependant les plus fortes pertes 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 appropriée (Bakkaloglu *et al.* 2022).

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, sont quasi-absentes des bilans GES (Bakkaloglu *et al.* 2022, Ravina *et al.* 2015).

85% des méthaniseurs fuient (Burrow 2019), avec une moyenne de $4,8 \pm 0,6\%$ du total produit (établie sur 76 sites mesurés, Figure 4). Ce qui pour la France représente aujourd'hui une émission équivalente de plus de 7,1 Mt de CO₂ chaque année. Il est donc absolument nécessaire de contrôler périodiquement les émissions de CH₄ et de prendre des mesures correctives efficaces (Bakkaloglu *et al.* 2022, Hijazi *et al.* 2016).

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

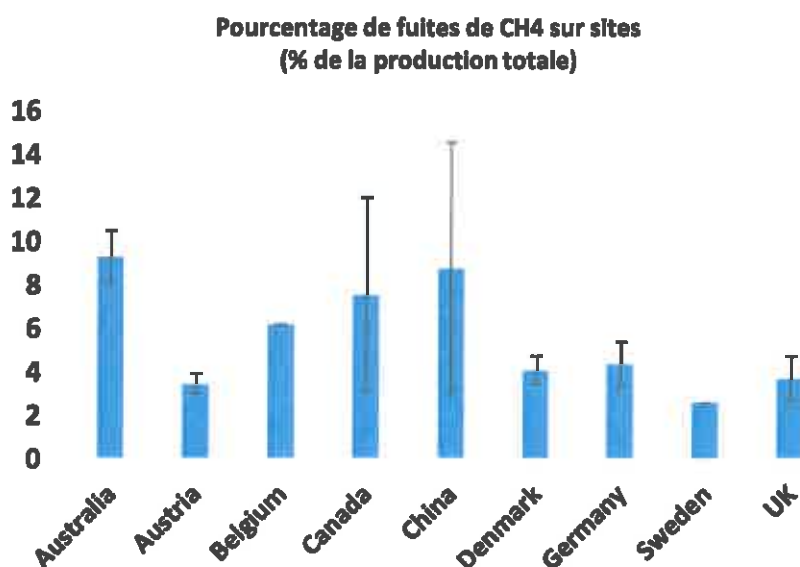


Figure 4

b) les émissions aux épandages. Ces émissions sont souvent oubliées (Cuéllar *et al.* 2018, Fantin *et al.* 2015), et sont pourtant avérées à tel point que des programmes de recherche tentent de les inhiber par des traitements auxiliaires (Kesenheimer *et al.* 2021) ou d'extraire NH₃ du digestat (Riaño *et al.* 2021, Rivera *et al.* 2022), le tout au détriment de l'efficacité globale du procédé. Selon les sols et les conditions hydriques, le fumier épandu émet moins de CO₂ qu'un digestat solide (Piccoli *et al.* 2022), et un fertilisant classique minéral montre des émissions de N₂O plus faibles qu'un digestat solide (Petrova *et al.* 2021). Lorsque des émissions plus faibles de CH₄ aux épandages sont associées à l'utilisation de digestat, l'effet est simplement dû au faible taux de carbone dans ce dernier (Vu *et al.* 2015, Weldon *et al.* 2022).

Les épandages sur disques rotatifs doivent être absolument proscrits (Czubaszek *et al.* 2018).

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 (O'Shea *et al.* 2022).

c) la faim en carbone des sols et les effets de changement d'affectation des terres, directs et indirects (DLUC et ILUC resp.). 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 (Meyer-Aurich *et al.* 2016). On peut facilement imaginer ce qu'il advient en prenant en compte les effets indirects, la balance GES devient vite négative (Tamburini *et al.* 2020). D'autre part, les digestats sont plus minéralisés (donc émettent plus de CO₂) que les sols naturels (Häfner *et al.* 2022).

d) les étapes de cultures énergétiques en incluant tous les trajets et stockages. On remarque par exemple que certaines cultures traversent les frontières pour alimenter les méthaniseurs (Tamburini *et al.* 2020). Ces cultures sont en grande partie responsables des GES de la filière et de son mauvais rendement climatique (Fantin *et al.* 2015).

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 (Bakkaloglu *et al.* 2022).

32- Gaz à Effet Sanitaires

Concernant les émissions de gaz à effets sanitaires (NH₃ créant particules fines, COV, cancérigènes, CO ...):

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 (Daniel-Gromke *et al.* 2015, Fantin *et al.*, Hijazi *et al.* 2016, Li *et al.* 2018, Maldaner *et al.* 2018, Paolini *et al.* 2018, Reinelt *et al.* 2017, Whelan *et al.* 2010). Les lagunes de digestat non couvertes émettent du méthane (GES) de 1 à 9 g CH₄/m³/jour, et de l'ammoniac (NH₃), précurseur de particules fines, à raison de plus de 5 g/m²/semaine.

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.

Pas moins de 49 COV différents sont détectés dans les émanations de digestats (Zhang *et al.* 2019). Les émissions sur sites montrent la présence de COV dangereux tels que terpènes, cétones, toluène, siloxanes ... (Gomez *et al.* 2016, O'Connor *et al.* 2022).

Des COVs et du CO sont également détectés au-dessus des seuils admissibles à la combustion en cogénération (Kuo *et al.* 2017).

4- Carbone Organique des Sols, amendement

Le bénéfice carbone pour les sols et leur équilibre grâce à la méthanisation est une affirmation qui ne peut être que fautive 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 digestats sur deux années (Slepetiene *et al.* 2022). 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% (Reuland *et al.* 2022). La proportion de chaînes 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 (Thomsen *et al.* 2013).

L'apport de digestat tend à diminuer le rapport C/N du sol épandu comparé au sol sans épandage (Brtnicky *et al.* 2022). Il est démontré que le digestat d'effluents bovins ne peut pas être considéré comme un amendement (Vitti *et al.* 2021, Vu *et al.* 2015). 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 (Piccoli *et al.* 2022, Thomsen *et al.* 2013). L'utilisation de digestat solide pour des croissances en pots de basilic sont plus que mitigés (Asp *et al.* 2022).

La respiration biologique des sols épandus (un paramètre mesurant l'activité des microorganismes du sol) est inférieure à celle des sols non épandus (Brtnicky *et al.* 2022). Cette diminution peut être associée à une baisse de la diversité microbienne du digestat, environ deux fois plus faible que celle du digestat composté (Mang *et al.* 2022).

Les risques environnementaux et la toxicité des digestats pour les sols sont élevés (Bian *et al.* 2015, Nkoa 2014, Tigini *et al.* 2016).

5- 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 directement. D'ailleurs les études à court terme utilisent souvent comme référence celle des engrais « traditionnels » et ne montrent pas de différence remarquable (Asp *et al.* 2022, Tshikalange *et al.* 2022, Vu *et al.* 2015, Zilio *et al.* 2022), voire plutôt en faveur de l'utilisation des ammonitrates avec moins d'azote résiduelle dans le sol (Petraityte *et al.* 2022). L'utilisation répétée de digestat sur la culture de maïs montre une décroissance de rendement en maïs grain sur trois ans (Przygocka-Cyna *et al.* 2020).

6- Pollutions aquatiques

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 et des épandages (Figure 5). Le déversement de digestat dans les eaux douces modifient le pH, la

conductivité électrique, la concentration en ions ammonium, le potentiel redox et surtout la communauté microbienne des eaux (Studer *et al.* 2017) pendant quelques jours même avec des digestats issus de méthanisation de cultures.

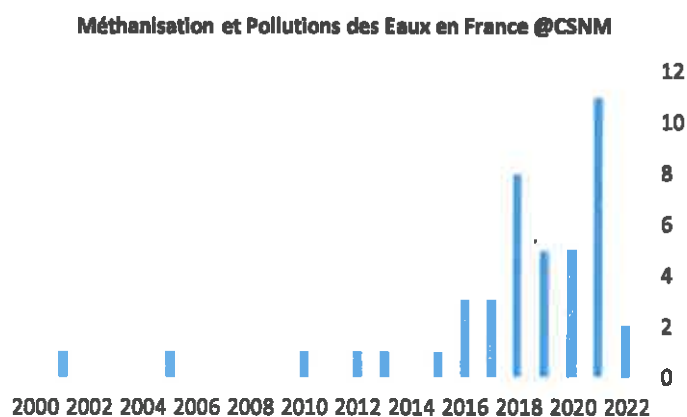


Figure 5

Quelques références de pollutions aquatiques (La Gazette du 50, du 35 et du 53 2022-07-25 ; Le Républicain Lorrain 2022-03-26, Voix du Jura 2022-05-27).

7- Concurrences à la surface

Quelle que soit la Région métropolitaine, la concurrence à la surface est un fait (Voir articles de presse nationale en fin de document).

Accapement de la biomasse :

- Le fourrage, la paille, les triages de céréales commencent à manquer aux éleveurs, bergers et haras
- 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, entraînant des problèmes de rentabilité financière (Le Dauphiné Libéré 2022-07-28)

Concurrence financière :

- Entraînant une hausse du prix du fourrage
- Promouvant une meilleure rentabilité du gaz que de la viande

Accapement de la SAU :

- La construction des méthaniseurs en service aujourd'hui a nécessité l'artificialisation de 4500 ha de terres.
- 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 ...).

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).

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 des ressources halieutiques et cynégétiques (L'Union 2022-05-20, Voix du Jura 2022-05-27).

Concurrence aux épandages :

- La conséquence directe d'une distance maximale moyenne d'épandage recouvrant la distance entre méthaniseurs voisins (Figure 1) est la difficulté croissante 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 (Le Télégramme 2022-06-05).

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

8- Externalités 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.

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 40% (Figure 6). L'installation d'un méthaniseur est reconnu comme un facteur d'impossibilité de revente de bien immobilier.

%age de dévaluation en fonction du rapport tonnage/distance

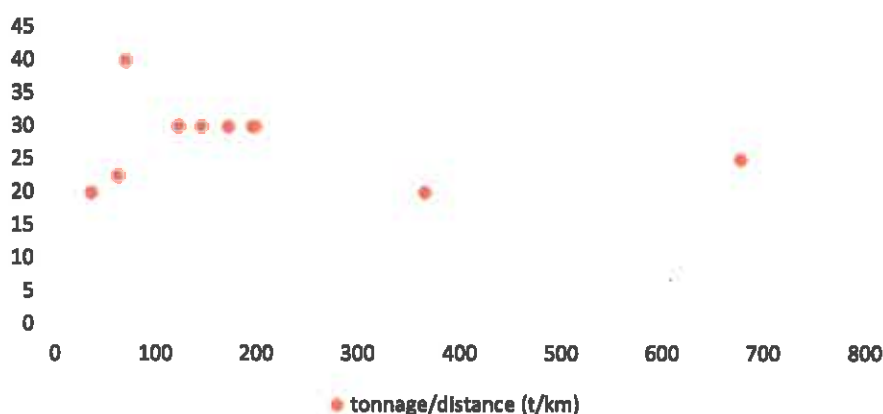


Figure 6

9- 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 par exemple) et des composés organiques volatiles cancérigènes (trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, benzène, dichlorobenzène ...) peuvent être présents dans le biogaz (Naja *et al.* 2011). 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 CH₄.

10- Cycle de vie, Taux de Retour Energétique

L'analyse du cycle de vie total du méthaniseur n'est pas détaillée. Son bilan énergétique n'est donc pas vérifiable. 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.

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.

11- 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 physico-chimiques et microbiennes de la biosphère des sols.

- Vers de terre

L'effet des épandages de digestats sur la décroissance des populations de vers de terre et la répartition entre espèces est avéré (Koblentz *et al.* 2015, Rollett *et al.* 2021). 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 (Moinard *et al.* 2021).

Notons une mortalité importante de *Eisenia fetida*, 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% (Pivato *et al.* 2016).

Même les digestats solides après compostage ne semblent pas appréciés de certaines espèces (Ross *et al.* 2017).

- Champignons du sol

L'effet nocif des digestats d'effluents bovins sur les champignons du sol, organismes essentiels à leur équilibre, est mesuré (Vitti *et al.* 2021). L'épandage de digestats liquides sur des sols de feuillus (peupliers) entraîne un abattement de la population de certains champignons (ectomyccorhizes) de la rhizosphère du sol, accroît le risque pathogène (Yu *et al.* 2022), et représentent des toxicités et un risque environnemental élevés (Tigini *et al.* 2016).

- Biodiversité microbienne

La biodiversité microbienne du digestat est plus faible que celle du même digestat composté (Mang *et al.* 2022). A cela s'ajoute la trop grande stabilité du digestat épandu, qui abaisse l'activité de la communauté microbienne (Brtnicky *et al.* 2022, Thomsen *et al.* 2013) réduisant d'autant la fertilité du sol à court terme.

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.* (Garbini *et al.* 2022, Nesse *et al.* 2022).

- Insectes

La destruction d'habitats sur les lieux de construction des méthaniseurs met en danger des espèces protégées (Rue 89 2022-06-23).

- 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 (Mbah *et al.* 2021).

- 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 (Le Courrier Picard 2022-05-19, L'Union 2022-05-20).

- 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 (Figure 5). 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 (La Gazette du 50, du 35 et du 53 2022-07-25 ; Voix du Jura 2022-05-27).

12- Méthanisation « agricole » ?

L'Appellation de structure agricole pour la méthanisation développée aujourd'hui tel que celui de Lingenheld Environnement Champagne est trompeuse. D'une part nous constatons que la moyenne du tonnage d'intrants augmente au cours des années (Figure 7), signature d'une méthanisation déjà fortement industrialisée même si elle est dénommée « agricole ». D'autre part, ce méthaniseur comporte un tonnage annuel bien supérieur à la moyenne des méthaniseurs agricoles jusqu'en 2020.

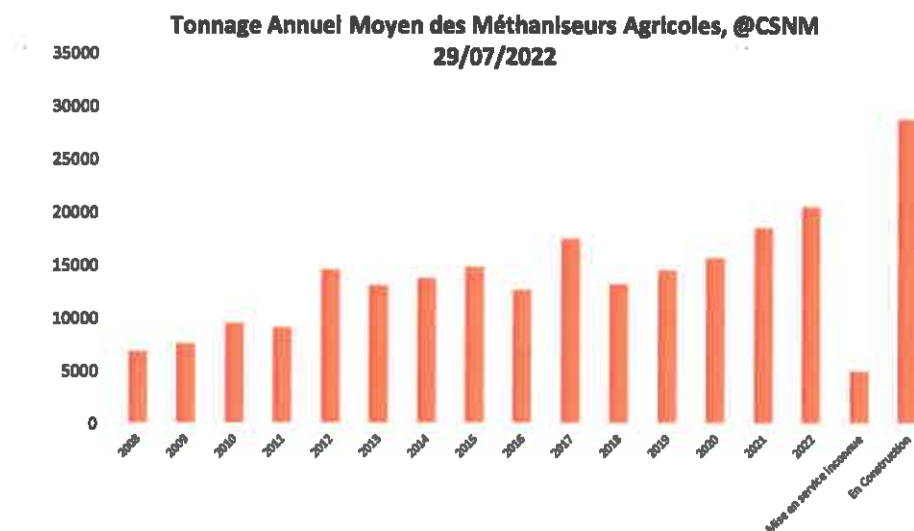


Figure 7

13- 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, la pyrogazeification, gazeification hydrothermale et la méthanation sont déjà annoncées.

Mais au sein même de la filière méthanisation, certaines équipes de recherche travaillent déjà à prétraiter ou retraiter les digestats (liquides et solides) par différentes techniques (pyrolyse, synthèse hydrothermale ...) pour:

- extraire plus de méthane et/ou d'agrocarburant de la biomasse (Brémond *et al.* 2022, Carmona-Cabello *et al.* 2022, Ezieke *et al.* 2022, Gougoulias *et al.* 2021, Guan *et al.* 2021, He *et al.* 2022, He *et al.* 2022a, Kovalev *et al.* 2021, Luo *et al.* 2022, Reza *et al.* 2016, Sailer *et al.* 2022, Thapa *et al.* 2021, Wang X. *et al.* 2022, Wang S. *et al.* 2022, Wei *et al.* 2021, Xie *et al.* 2022)
- utiliser les fibres contenues dans les digestats solides comme renforts de matériaux composites (Gebhardt *et al.* 2021)
- combiner le digestat avec du biochar obtenu par pyrolyse de maïs, de résidus de bois, de *Lycium chinensis* ..., procédé extrêmement énergivore (Catenacci *et al.* 2022, Latini *et al.* 2021, Lee *et al.* 2021, Li *et al.* 2022a, Song *et al.* 2021, Wang N. *et al.* 2022, Wang N. *et al.* 2022a, Weldon *et al.* 2022)
- combiner des résidus de sucres et de digestats pour former des protéines monocellulaires (Bertolini *et al.* 2022)

- extraire le phosphore et les ions ammonium pour utilisations ultérieures (Bach *et al.* 2022, Kubar *et al.* 2022, Li *et al.* 2022a, Van Puffelen *et al.* 2022)
- immobiliser les métaux lourds (Ablicieva *et al.* 2022)
- traiter à la chaux les cultures stockées en attente de méthanisation, pour augmenter la production de biogaz (Van Vlierberghe *et al.* 2022) !

On constate également que les digestats solides et liquides ne retournent pas nécessairement comme amendement et fertilisant sur les sols desquels ils ont été retirés. Ils vont éventuellement servir des cultures intensifiées en milieu inadapté naturellement (Al-Mallahi *et al.* 2022, Asp *et al.* 2022, Bignami *et al.* 2022, Hultberg *et al.* 2022), devenir sources de nutriments pour exploitations ultérieures (Bertasini *et al.* 2022, Chong *et al.* 2022, Kumar *et al.* 2022), nourrir des larves d'insectes (Fu *et al.* 2022), assécher le biogaz de H₂S (Sempere *et al.* 2022), ou même sont envisagés comme combustible en incinération ! (Dziedzic *et al.* 2021, Dziedzic *et al.* 2022).

La pyrogazeification des digestats est envisagée pour extraire encore plus de CH₄ de la biomasse, et donc retourner encore moins de carbone aux sols.

Devant la trop grande production de digestat liquide, inhérente au procédé, il devient nécessaire de trouver des moyens pour traiter ces derniers en utilisant une source auxiliaire de carbone organique (Chuda *et al.* 2021, Li *et al.* 2022a), de baisser chimiquement la quantité d'azote (Baldi *et al.* 2018) et/ou de phosphore (Li *et al.* 2022a), de pastiller ou assécher pour le transport à cause du surplus d'épandage (Szymanska *et al.* 2022, Van Puffelen *et al.* 2022) ou pour tenter d'en abattre la toxicité (Celletti *et al.* 2021). Certains voient l'ajout de légumes et légumineuses (cultivées ?) comme des moyens de relever ou abaisser le rapport C/N (Brtnicky *et al.* 2022).

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 notre souveraineté alimentaire.

14- Validation par comparaisons 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 est comparée à l'application de boues de STEP, d'urée, de fertilisant minéral industriel ou à l'absence totale d'apport de fertilisant, mais pas au retour au sol naturel ou raisonnable de biomasse (Brtnicky *et al.* 2022, Dubis *et al.* 2022, Velechovsky *et al.* 2021, Weldon *et al.* 2022, Zilio *et al.* 2022).
- La réduction d'émission de méthane par méthanisation est comparée aux émissions de cuves de lisiers ouvertes (Holly *et al.* 2017) ou de tas de fumiers laissés en tas (Maldaner *et al.* 2018).
- L'effet d'un digestat de boues de stations d'épuration entraîne 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 (Uzinger *et al.* 2021).
- 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 (Moinard *et al.* 2021).

Les recommandations indiquées par plusieurs auteurs (Ramirez-Islas *et al.* 2020, Samoraj *et al.* 2022), 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.

15- Subventionnement

Les subventions allouées à la méthanisation (Figure 8) sont hors de toute raison en comparaison du peu d'énergie recueillie par ce procédé.

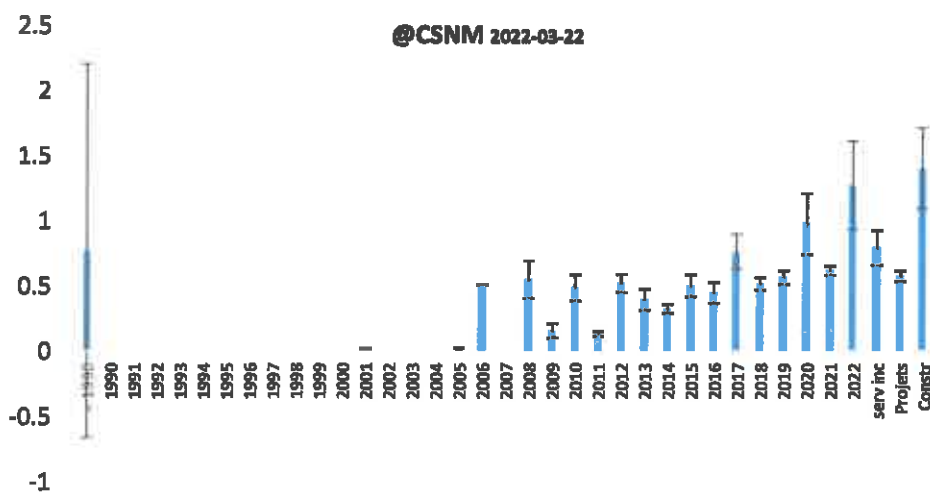
- Nous relevons plus de 826 M€ distribués en France pour la construction des méthaniseurs, soit 710 000 € par méthaniseur, a minima (Nous estimons à 1,7 Mds d'€ les subventions totales allouées à la construction).

- 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.

- Comme le méthaniseur moyen en France délivre à peu près 10 GWh d'énergie chaque année, et crée seulement 0,9 emplois 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.

Subvention moyenne par méthaniseur (en M€)



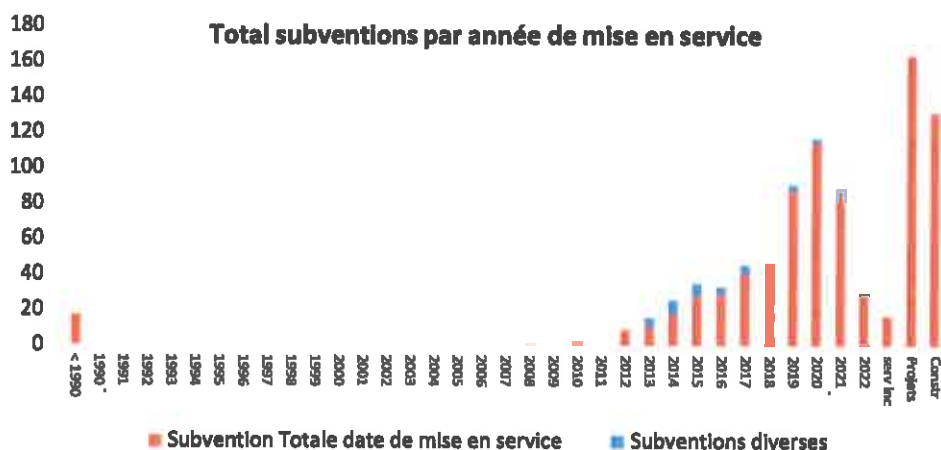


Figure 8

La construction et les projets de méthaniseurs de la Région ont obtenu plus de 103 M€ de subventions publiques 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.

Vu la faible production d'énergie des 274 méthaniseurs de la Région 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 (Caposciutti *et al.* 2020), 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 (Lajdova *et al.* 2016).

Tous ces faits sont partagés par nombre d'organisations scientifiques et scientifiques individuels, nationaux et internationaux (Académie des Sciences Allemande Léopoldina, Union of Concerned Scientists, GREFFE ...). A l'heure où l'Allemagne se désengage de la méthanisation, il serait inopportun que la France s'y enlise.

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

Sincèrement,

Pour le CSNM
D. Chaaignon
Coordonnateur CSNM

Références

- Ablicieva I., Berezchna I., Berezchnyi D., Prast A.E., Geletuha G., Lutsenko S., Yanchenko I., Carraro G. (2022). Technologies for Environmental Safety Application of Digestate as Biofertilizer. *Ecological Engineering & Environmental Technology* 23 106-119
- Al-Mallahi J., Ishii K. (2022). Attempts to alleviate inhibitory factors of anaerobic digestate for enhanced microalgae cultivation and nutrients removal: A review. *Journal of Environmental Management* 304 114266
- Ali A.M., Nesse A.S., Eich-Greatorex S., Sogn T.A., Aanrud S.G., Bunæs J.A.A., Lyche J.L., Kallenborn R. (2019). Organic contaminants of emerging concern in Norwegian digestates from biogas production. *Environmental Science: Processes & Impacts* 21 1498-1508
- Asp H., Bergstrand K.-J., Caspersen S., Hultberg M. (2022). Anaerobic digestate as peat substitute and fertiliser in pot production of basil. *Biological Agriculture & Horticulture* 1-11
- Awiszus S., Meissner K., Reyer S., Müller J. (2018). Ammonia and methane emissions during drying of dewatered biogas digestate in a two-belt conveyor dryer. *Bioresource Technology* 247 419-425
- Bach I.-M., Essich L., Bauerle A., Müller T. (2022). Efficiency of Phosphorus Fertilizers Derived from Recycled Biogas Digestate as Applied to Maize and Ryegrass in Soils with Different pH. *Agriculture* 12 325
- Bakkaloglu S., Cooper J., Hawkes A. (2022). Methane emissions along biomethane and biogas supply chains are underestimated. *One Earth* 5 724-736
- Bakkaloglu S., Lowry D., Fisher R.E., France J.L., Brunner D., Chen H., Nisbet E.G. (2021). Quantification of methane emissions from UK biogas plants. *Waste Management* 124 82-93
- Baldé H., VanderZaag A.C., Burt S.D., Wagner-Riddle C., Crolla A., Desjardins R.L., MacDonald D.J. (2016). Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant. *Bioresource Technology* 216 914-922
- Baldi M., Collivignarelli M., Abbà A., Benigna I. (2018). The Valorization of Ammonia in Manure Digestate by Means of Alternative Stripping Reactors. *Sustainability* 10 3073
- Barcauskaitė K. (2019). Gas chromatographic analysis of polychlorinated biphenyls in compost samples from different origin. *Waste Management & Research* 37 556-562
- Bell M.W., Tang Y.S., Dragosits U., Flechard C.R., Ward P., Braban C.F. (2016). Ammonia emissions from an anaerobic digestion plant estimated using atmospheric measurements and dispersion modelling. *Waste Management* 56 113-124
- Bertasini D., Binati R.L., Bolzonella D., Battista F. (2022). Single Cell Proteins production from food processing effluents and digestate. *Chemosphere* 296 134076
- Bian, B.; suo Wu, H. & jun Zhou, L. (2015). Contamination and risk assessment of heavy metals in soils irrigated with biogas slurry: a case study of Taihu basin. *Environmental Monitoring and Assessment* 187 155
- Bignami C., Melegari F., Zaccardelli M., Pane C., Ronga D. (2022). Composted Solid Digestate and Vineyard Winter Prunings Partially Replace Peat in Growing Substrates for Micropropagated Highbush Blueberry in the Nursery. *Agronomy* 12 00337
- Bonetta S., Bonetta S., Ferretti E., Fezia G., Gilli G., Carraro E. (2014). Agricultural Reuse of the Digestate from Anaerobic Co-Digestion of Organic Waste: Microbiological Contamination, Metal Hazards and Fertilizing Performance. *Water, Air & Soil Pollution* 225 2046
- Brändli R.C., Bucheli T.D., Kupper T., Furrer R., Stahel W.A., Stadelmann F.X., Tarradellas J. (2007). Organic pollutants in compost and digestate. Part 1. Polychlorinated biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons and molecular markers. *Journal of Environmental Monitoring* 9 456-464
- Brändli R.C., Kupper T., Bucheli T.D., Zennegg M., Huber S., Ortelli D., Müller J., Schaffner C., Iozza S., Schmid P., Berger U., Edder P., Oehm M., Stadelmann F.X., Tarradellas J. (2007a). Organic pollutants in compost and digestate. Part 2. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, and -furans, dioxin-like polychlorinated biphenyls, brominated flame retardants, perfluorinated alkyl substances, pesticides, and other compounds. *Journal of Environmental Monitoring* 9 465-472
- Brémond U., Bertrandias A., Hamelin J., Milferstedt K., Bru-Adan V., Steyer J.-P., Bernet N., Carrere H. (2022). Screening and Application of Ligninolytic Microbial Consortia to Enhance Aerobic Degradation of Solid Digestate. *Microorganisms* 10 277
- Breunig H.M., Amirebrahimi J., Smith S., Scown C.D. (2019). Role of Digestate and Biochar in Carbon-Negative Bioenergy. *Environmental Science & Technology* 53 12989-12998
- Brtnický M., Kintl A., Holatko J., Hammerschmidt T., Mustafa A., Kucerik J., Vitez T., Prichystalova J., Baltazar T., Elbl J. (2022). EFFECT of digestates derived from the fermentation of maize-legume intercropped

- culture and maize monoculture application on soil properties and plant biomass production. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **9** 43-67
- Bühler M., Häni C., Ammann C., Brönnimann S., Kupper T. (2022). Using the inverse dispersion method to determine methane emissions from biogas plants and wastewater treatment plants with complex source configurations. *Atmospheric Environment: X* **13** 100161
 - Burrow A. (2019). Reducing the risk of biogas leakage. *Filtration+Separation* **56** 24-26
 - Caposciutti G., Baccioli A., Ferrari L., Desideri U. (2020). Biogas from Anaerobic Digestion: Power Generation or Biomethane Production? *Energies* **13** 743
 - Carmona-Cabello M., Sáez-Bastante J., Barbanera M., Cotana F., Pinzi S., Dorado P. (2022). Optimization of ultrasound-assisted liquefaction of solid digestate to produce bio-oil: Energy study and characterization. *Fuel* **313** 123020
 - Catenacci A., Boniardi G., Mainardis M., Gievers F., Farru G., Asunis F., Malpei F., Goi D., Cappai G., Canziani R. (2022). Processes, applications and legislative framework for carbonized anaerobic digestate: Opportunities and bottlenecks. A critical review. *Energy Conversion and Management* **263** 115691
 - Celletti S., Lanz M., Bergamo A., Benedetti V., Basso D., Baratieri M., Cesco S., Mimmo T. (2021). Evaluating the Aqueous Phase From Hydrothermal Carbonization of Cow Manure Digestate as Possible Fertilizer Solution for Plant Growth. *Frontiers in Plant Science* **12** 687434
 - Chong, C.C., Cheng Y.W., Ishak S., Lam M.K., Lim J.W., Tan L.S., Show P.L., Lee K.T. (2022). Anaerobic digestate as a low-cost nutrient source for sustainable microalgae cultivation: A way forward through waste valorization approach. *Science of the Total Environment* **803** 150070
 - Chuda A., Ziemniński K. (2021). Challenges in Treatment of Digestate Liquid Fraction from Biogas Plant. Performance of Nitrogen Removal and Microbial Activity in Activated Sludge Process. *Energies* **14** 7321
 - Cucina M., Castro L., Escalante H., Ferrer I., Garfi M. (2021). Benefits and risks of agricultural reuse of digestates from plastic tubular digesters in Colombia. *Waste Management* **135** 220-228
 - Cuéllar A.D., Webber M.E. (2008). Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas. *Environmental Research Letters* **3** 034002
 - Czubaszek R., Wysocka-Czubaszek A. (2018). Emissions of carbon dioxide and methane from fields fertilized with digestate from an agricultural biogas plant. *International Agrophysics* **32** 29-37
 - Daniel-Gromke J., Liebetrau J., Denysenko V., Krebs C. (2015). Digestion of bio-waste – GHG emissions and mitigation potential. *Energy, Sustainability and Society* **5** 3
 - Delre A., Mønster J., Scheutz C. (2017). Greenhouse gas emission quantification from wastewater treatment plants, using a tracer gas dispersion method. *Science of The Total Environment* **605-606** 258-268
 - Dubis Bogdan, Szatkowski Artur, Jankowski Krzysztof Józef (2022). Sewage sludge, digestate, and mineral fertilizer application affects the yield and energy balance of Amur silvergrass. *Industrial Crops and Products* **175**, 114235
 - Dziedzic K., Łapczyńska-Kordon B., Jurczyk M., Arczewska M., Wróbel M., Jewiarz M., Mudryk K., Pająk T. (2021). Solid Digestate—Physicochemical and Thermal Study. *Energies* **14** 7224
 - Dziedzic K., Łapczyńska-Kordon B., Jurczyk M., Wróbel M., Jewiarz M., Mudryk K., Pająk T. (2022). Solid Digestate - Mathematical Modeling of Combustion Process. *Energies* **15** 4402
 - Ezieke A.H., Serrano A., Clarke W., Villa-Gomez D.K. (2022). Bottom ash from smouldered digestate and coconut coir as an alkalinity supplement for the anaerobic digestion of fruit waste. *Chemosphere* **134049**
 - Fantin V., Giuliano A., Manfredi M., Ottaviano G., Stefanova M., Masoni P. (2015). Environmental assessment of electricity generation from an Italian anaerobic digestion plant. *Biomass and Bioenergy* **83** 422-435
 - Feng L., Ward A.J., Moset V., Møller H.B. (2018). Methane emission during on-site pre-storage of animal manure prior to anaerobic digestion at biogas plant: Effect of storage temperature and addition of food waste. *Journal of Environmental Management* **225** 272-279
 - Flesch T.K., Desjardins R.L., Worth D. (2011). Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and Bioenergy* **35** 3927-3935
 - Fredenslund A.M., Hinge J., Holmgren M.A., Rasmussen S.G., Scheutz C. (2018). On-site and ground-based remote sensing measurements of methane emissions from four biogas plants: A comparison study. *Bioresour Technol* **270** 88-95
 - Fredenslund A.M., Scheutz C. (2017). Total methane loss from biogas plants, determined by tracer dispersion measurements. *Proceedings of the Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium*
 - Fu S.-F., Wang D.-H., Xie Z., Zou H., Zheng Y. (2022). Producing insect protein from food waste digestate via black soldier fly larvae cultivation: A promising choice for digestate disposal. *Science of The Total Environment* **154654**
 - Fusi A., Bacenetti J., Fiala M., Azapagic A. (2016). Life cycle environmental impacts of electricity from Biogas Produced by anaerobic Digestion. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **4** 26

- Garbini G.L., Grenni P., Rauseo J., Patrolecco L., Pescatore T., Spataro F., Caracciolo A.B. (2022). Insights into structure and functioning of a soil microbial community amended with cattle manure digestate and sulfamethoxazole. *Journal of Soils and Sediments*
- Gebhardt Marion, Milwich Markus, Gresser Götz T., Lemmer Andreas (2021). Impact of Long-Term Weathering on the Properties of a Digestate-Based Biocomposite. *Materials Circular Economy* 3, 25 (7 pages)
- Golovko O., Ahrens L., Schelin J., Söregård M., Bergstrand K.-J., Asp H., Hultberg M., Wiberg K. (2022). Organic micropollutants, heavy metals and pathogens in anaerobic digestate based on food waste. *Journal of Environmental Management* 313 114997
- Gómez J.I.S., Lohmann H., Krassowski J. (2016). Determination of volatile organic compounds from biowaste and co-fermentation biogas plants by single-sorbent adsorption. *Chemosphere* 153 48-57
- Gougoulas N., Papapolymerou G., Mpesios A., Kasiteropoulou D., Metsoviti M.N., Gregoriou M. E. (2021). Effect of macronutrients and of anaerobic digestate on the heterotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* grown with glycerol. *Environmental Science and Pollution Research*
- Groth, A.; Maurer, C.; Reiser, M. & Kranert, M. (2015). Determination of methane emission rates on a biogas plant using data from laser absorption spectrometry. *Bioresource Technology* 178 359-361
- Grouiez Pascal (2021). Une analyse de filière des dynamiques de revenus de la méthanisation agricole. *Notes et Etudes Socio Economiques* 49 41-61
- Grubert E. (2020). At scale, renewable natural gas systems could be climate intensive: the influence of methane feedstock and leakage rates. *Environmental Research Letters* 15 084041
- Grubert E.A., Brandt A.R. (2019). Three considerations for modeling natural gas system methane emissions in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 222 760-767
- Guan Ruolin, Yuan Hairong, Zhang Liang, Zuo Xiaoyu, Li Xiujin (2021). Combined pretreatment using {CaO} and liquid fraction of digestate of rice straw: Anaerobic digestion performance and electron transfer. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 36, 223-232
- Haffiez N., Azizi S.M.M., Zakaria B.S., Dhar B.R. (2022). Propagation of antibiotic resistance genes during anaerobic digestion of thermally hydrolyzed sludge and their correlation with extracellular polymeric substances. *Scientific Reports* 12 6749
- Häfner F., Hartung J., Möller K. (2022). Digestate Composition Affecting N Fertiliser Value and C Mineralisation. *Waste and Biomass Valorization*
- He Mingjing, Zhu Xiefei, Dutta Shanta, Khanal Samir Kumar, Lee Keat Teong, Masek Ondrej, Tsang Daniel C.W. (2022). Catalytic co-hydrothermal carbonization of food waste digestate and yard waste for energy application and nutrient recovery. *Bioresource Technology* 344, 126395
- He L., Lin Z., Zhu K., Wang Y., He X., Zhou J. (2022). Mesophilic condition favors simultaneous partial nitrification and denitrification (SPND) and anammox for carbon and nitrogen removal from anaerobic digestate food waste effluent. *Science of the Total Environment* 816 151498
- Hijazi O., Munro S., Zerhusen B., Effenberger M. (2016). Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 1291-1300
- Holly Michael A., Larson Rebecca A., Powell J. Mark, Ruark Matthew D., Aguirre-Villegas Horacio (2017). Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 239, 410-419
- Holmgren M.A., Hansen M.N., Reinelt T., Westerkamp T., Jorgensen L., Scheutz C., Delre A. (2015). Measurements of methane emissions from biogas production – Data collection and comparison of measurement methods. *Technical Report Energiforsk* 158
- Horta Carmo, Carneiro João Paulo (2021). Phosphorus Losses to Surface Runoff Waters After Application of Digestate to a Soil Over Fertilised with Phosphorus. *Water, Air, & Soil Pollution* 232, 439-450
- Hrad M., Piringner M., Huber-Humer M. (2015). Determining methane emissions from biogas plants – Operational and meteorological aspects. *Bioresource Technology* 191 234-243
- Hrad M., Vesenmaier A., Flandorfer C., Piringner M., Stenzel S., Huber-Humer M. (2021). Comparison of forward and backward Lagrangian transport modelling to determine methane emissions from anaerobic digestion facilities. *Atmospheric Environment X* 12 100131
- Hultberg M., Oskarsson C., Bergstrand K.-J., Asp H. (2022). Benefits and drawbacks of combined plant and mushroom production in substrate based on biogas digestate and peat. *Environmental Technology & Innovation* 28 102740
- Jelínek M., Mazancova J., Dung D.V., Phung L.D., Banout J., Roubík H. (2021). Quantification of the impact of partial replacement of traditional cooking fuels by biogas on global warming: Evidence from Vietnam. *Journal of Cleaner Production* 292 126007
- Jensen M.B. Møller J., Mønster J., Scheutz C. (2017). Quantification of greenhouse gas emissions from a biological waste treatment facility. *Waste Management* 67 375-384

- Kesenheimer K., Augustin J., Hegewald H., Köbke S., Dittert K., Rübiger T., Quinones T.S., Prochnow A., Hartung J., Fuß R., Stichnothe H., Flessa H., Ruser R. (2021). Nitrification inhibitors reduce N₂O emissions induced by application of biogas digestate to oilseed rape. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 120 99-108
- Khoiyangbam R.S., Kumar S., Jain M.C., Gupta N., Kumar A., Kumar V. (2004). Methane emission from fixed dome biogas plants in hilly and plain regions of northern India. *Bioresource Technology* 95 35-39
- Koblenz B., Tischer S., Rücknagel J., Christen O. (2015). Influence of biogas digestate on density, biomass and community composition of earthworms. *Industrial Crops and Products* 66 206-209
- Kovalev A. A., Kovalev D. A., Nozhevnikova A. N., Zhuravleva E. A., Katraeva I. V., Grigoriev V.S., Litt Yu. V. (2021). Effect of low digestate recirculation ratio on biofuel and bioenergy recovery in a two-stage anaerobic digestion process. *International Journal of Hydrogen Energy* 46(80), 39688-39699
- Kubar A.A., Huang Q., Kubar K.A., Khan M.A., Sajjad M., Gul S., Yang C., Wang Q., Guo G., Kubar G.M., Kubar M.I., Wahocho N.A. (2022). Ammonium and Phosphate Recovery from Biogas Slurry: Multivariate Statistical Analysis Approach. *Sustainability* 14 5617
- Kumar S., Posmanik R., Spatari S., Ujor V.C. (2022). Repurposing anaerobic digestate for economical biomanufacturing and water recovery. *Applied Microbiology and Biotechnology*
- Kuo J., Dow J. (2017). Biogas production from anaerobic digestion of food waste and relevant air quality implications. *Journal of the Air & Waste Management Association* 67 1000-1011
- Kvist T., Aryal N. (2019). Methane loss from commercially operating biogas upgrading plants. *Waste Management* 87 295-300
- Lajdova Z., Lajda J., Bielík P. (2016). The impact of the biogas industry on agricultural sector in Germany. *Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika), Czech Academy of Agricultural Sciences* 62 1-8
- Latini A., Fiorani F., Galeffi P., Cantale C., Bevivino A., Jablonowski N.D. (2021). Phenotyping of Different Italian Durum Wheat Varieties in Early Growth Stage With the Addition of Pure or Digestate-Activated Biochars. *Frontiers in Plant Science* 12, 782072
- Le Maréchal C., Druilhe C., Repérant E., Boscher E., Rouxel S., Roux S.L., Požezvara T., Ziebal C., Houdayer C., Nagard B., Barbut F., Pourcher A.-M., Denis M. (2019). Evaluation of the occurrence of sporulating and nonsporulating pathogenic bacteria in manure and in digestate of five agricultural biogas plants. *MicrobiologyOpen* 8 e872
- Le Pera A., Sellaro M., Bencivenni E. (2022). Composting food waste or digestate? Characteristics, statistical and life cycle assessment study based on an Italian composting plant. *Journal of Cleaner Production* 131552
- Lee M.-S., Urgan-Demirtas M., Shen Y., Zumpf C., Anderson E. K., Rayburn A. L., Lee D. (2021). Effect of digestate and digestate supplemented with biochar on switchgrass growth and chemical composition. *Biomass and Bioenergy* 144, 105928
- Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften (2012). Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen
- Li C., Le-Minh N., McDonald J.A., Kinsela A.S., Fisher R.M., Liu D., Stuetz R.M. (2022). Occurrence and risk assessment of trace organic contaminants and metals in anaerobically co-digested sludge. *Science of the Total Environment* 816 151533
- Li Y., Azeem M., Luo Y., Peng Y., Feng C., Li R., Peng J., Zhang L., Wang H., Zhang Z. (2022a). Phosphate capture from biogas slurry with magnesium-doped biochar composite derived from *Lycium chinensis* branch filings: performance, mechanism, and effect of coexisting ions. *Environmental Science and Pollution Research*
- Li Y., Liu H., Li G., Luo W., Sun Y. (2018). Manure digestate storage under different conditions: Chemical characteristics and contaminant residuals. *Science of the Total Environment* 639 19-25
- Liebetrau J., Clemens J., Cuhls C., Hafermann C., Friche J., Weiland P., Daniel-Gromke J. (2010). *Engineering in Life Sciences* 10 595-599
- Liebetrau J., Reinelt T., Clemens J., Hafermann C., Friche J., Weiland P. (2013). Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water Science and Technology* 67 1370-1379
- Luo Longzao, Li Miao, Luo Shuang, Awasthi Mukesh Kumar, Lin Xiaoi, Liao Xing, Peng Changsheng, Yan Binghua (2022). Enhanced removal of humic acid from piggery digestate by combined microalgae and electric field. *Bioresource Technology*, 126668
- Maldaner L., Wagner-Riddle C. VanderZaag A.C., Gordon R., Duke C. (2018). Methane emissions from storage of digestate at a dairy manure biogas facility. *Agricultural and Forest Meteorology* 258 96-107
- Mang S.M., Trotta V., Scopa A., Camele I. (2022). Metagenomic Analysis of Bacterial Community Structure and Dynamics of a Digestate and a More Stabilized Digestate-Derived Compost from Agricultural Waste. *Processes* 10 379
- Mbah J.T., Chmist-Sikorska J., Szoszkiewicz K., Czekala W. (2021). The effects of inflow of agricultural biogas digestate on bivalves' behavior. *Environmental Science and Pollution Research* 28 67385-67393
- Mbareche, Veillette, Dubuis, Bakhiyi, Marchand, Zayed, Lavoie, Bilodeau, Duchaine (2018). Fungal bioaerosols in biomethanization facilities. *Journal of the Air & Waste Management Association* 68 1198

- Merico E., Grasso F.M., Cesari D., Decesari S., Belosi F., Manarini F., Nuntii P.D., Rinaldi M., Gambaro A., Morabito E., Contini D. (2020). Characterisation of atmospheric pollution near an industrial site with a biogas production and combustion plant in southern Italy. *Science of The Total Environment* **717** 137220
- Meyer-Aurich A., Schattauer A., Hellebrand H.J., Klauss H., Plöchl M., Berg W. (2012). Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renewable Energy* **37** 277-284
- Meyer-Aurich A., Lochmann Y., Klauss H., Prochnow A. (2016). Comparative Advantage of Maize- and Grass-Silage Based Feedstock for Biogas Production with Respect to Greenhouse Gas Mitigation. *Sustainability* **8** 617
- Moinard V., Redondi C., Etiévant V., Savoie A., Duchene D., Pelosi C., Houot S., Capowiez Y. (2021). Short- and long-term impacts of anaerobic digestate spreading on earthworms in cropped soils. *Applied Soil Ecology* **168** 104149
- Mønster J., Kjeldsen P., Scheutz C. (2019). Methodologies for measuring fugitive methane emissions from landfills – A review. *Waste Management* **87** 835-859
- Mønster J., Samuelsson J., Kjeldsen P., Scheutz C. (2015). Quantification of methane emissions from 15 Danish landfills using the mobile tracer dispersion method. *Waste Management* **35** 177-186
- Moreno V.C., Cozzani V. (2015). Major accident hazard in bioenergy production. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* **35** 135-144
- Moreno V.C., Papisidero S., Scarponi G.E., Guglielmi D., Cozzani V. (2016). Analysis of accidents in biogas production and upgrading. *Renewable Energy* **96** 1127-1134
- Nag R., Whyte P., Markey B.K., O'Flaherty V., Bolton D., Fenton O., Richards K.G., Cummins E. (2020). Ranking hazards pertaining to human health concerns from land application of anaerobic digestate. *Science of The Total Environment* **710** 136297
- Naja G.M., Alary R., Bajeat P., Bellenfant G., Godon J.-J., Jaeg J.-P., Keck G., Lattes A., Leroux C., Modelon H., Moletta-Denat M., Ramalho O., Rousselle C., Wenisch S., Zdanevitch I. (2011). Assessment of biogas potential hazards. *Renewable Energy* **36** 3445-3451
- Nesse A.S., Aanrud S.G., Lyche J.L., Sogn T., Kallenborn R. (2022). Confirming the presence of selected antibiotics and steroids in Norwegian biogas digestate. *Environmental Science and Pollution Research*
- Nkoa R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **34** 473-492
- Nurgaliev T., Koshelev V., Müller J. (2022). Simulation Model for Biogas Project Efficiency Maximization. *BioEnergy Research*
- O'Connor J., Mickan B.S., Siddique K.H.M., Rinklebe J., Kirkham M.B., Bolan N.S. (2022). Physical, chemical, and microbial contaminants in food waste management for soil application: A review. *Environmental Pollution* **300** 118860
- O'Shea R., Lin R., Wall D.M., Browne J.D., Murphy J.D. (2022). A comparison of digestate management options at a large anaerobic digestion plant. *Journal of Environmental Management* **317** 115312
- Owamah H.L., Dahunsi S.O., Oranusi U.S., Alfa M.I. (2014). Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. *Waste Management* **34** 747-752
- Paolini V., Petracchini F., Segreto M., Tomassetti L., Naja N., Cecinato A. (2018). Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **53** 899-906
- Petraityte D., Arlauskienė A., Ceseviciene J. (2022). Use of Digestate as an Alternative to Mineral Fertilizer: Effects on Soil Mineral Nitrogen and Winter Wheat Nitrogen Accumulation in Clay Loam. *Agronomy* **12** 402
- Piccoli I., Francioso O., Camarotto C., Vedove G.D., Lazzaro B., Giandon P., Morari F. (2022). Assessment of the Short-Term Impact of Anaerobic Digestate on Soil C Stock and CO₂ Emissions in Shallow Water Table Conditions. *Agronomy* **12** 504
- Pivato A., Vanin S., Raga R., Lavagnolo M.C., Barausse A., Rieple A., Laurent A., Cossu R. (2016). Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment. *Waste Management* **49** 378-389
- Przygocka-Cyna K., Grzebisz W. (2020). The Multifactorial Effect of Digestate on the Availability of Soil Elements and Grain Yield and Its Mineral Profile—The Case of Maize. *Agronomy* **10** 275
- Ramirez-Islas M.E., Gtlereca L.P., Sosa-Rodriguez F.S., Cobos-Peralta M.A. (2020). Environmental assessment of energy production from anaerobic digestion of pig manure at medium-scale using life cycle assessment. *Waste Management* **102** 85-96
- Ravina M., Genon G. (2015). Global and local emissions of a biogas plant considering the production of biomethane as an alternative end-use solution. *Journal of Cleaner Production* **102** 115-126
- Reinelt T., Liebetrau J., Nelles M. (2016). Analysis of operational methane emissions from pressure relief valves from biogas storages of biogas plants. *Bioresource Technology* **217** 257-264
- Reinelt T., Delre A., Westerkamp T., Holmgren M.A., Liebetrau J., Scheutz C. (2017). Comparative use of different emission measurement approaches to determine methane emissions from a biogas plant. *Waste Management* **68** 173-185

- Reinelt T., Liebetrau J. (2020). Monitoring and Mitigation of Methane Emissions from Pressure Relief Valves of a Biogas Plant. *Chemical Engineering & Technology* 43 7-18
- Reinelt T., McCabe B.K., Hill A., Harris P., Baillie C., Liebetrau J. (2022). Field measurements of fugitive methane emissions from three Australian waste management and biogas facilities. *Waste Management* 137 294-303
- Reuland G., Sigurnjak I., Dekker H., Sleutel S., Meers E. (2022). Assessment of the Carbon and Nitrogen Mineralisation of Digestates Elaborated from Distinct Feedstock Profiles. *Agronomy* 12 456
- Reza, M. T.; Coronella, C.; Holtman, K. M.; Franqui-Villanueva, D. & Poulson, S. R. (2016). Hydrothermal Carbonization of Autoclaved Municipal Solid Waste Pulp and Anaerobically Treated Pulp Digestate. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 4 3649-3658
- Riaño B., Molinuevo-Salces B., Vanotti M.B., Garcia-González M.C. (2021). Ammonia Recovery from Digestate Using Gas-Permeable Membranes: A Pilot-Scale Study. *Environments* 8 133
- Rivera F., Muñoz R., Prádanos P., Hernández A., Palacio L. (2022). A Systematic Study of Ammonia Recovery from Anaerobic Digestate Using Membrane-Based Separation. *Membranes* 12 19
- Rollett A.J., Bhogal A., Nicholson J.S.F.A., Taylor M.J., Williams J.R. (2021). The effect of field application of food-based anaerobic digestate on earthworm populations. *Soil Use and Management* 37 648-657
- Ross C.-L., Wilken V., Krück S., Nielsen K., Sensel-Gunke K., Ellmer F. (2017). Assessing the impact of soil amendments made of processed biowaste digestate on soil 27olatilizat using two different earthworm species. *Archives of Agronomy and Soil Science* 63 1939-1950
- Russell L., Whyte P., Zintl A., Gordon S.V., Markey B., de Waal T., Nolan S., O'Flaherty V., Abram F., Richards K., Fenton O., Bolton D. (2022). The Survival of Salmonella senftenberg, Escherichia coli O157:H7, Listeria monocytogenes, Enterococcus faecalis and Clostridium sporogenes in Sandy and Clay Loam Textured Soils When Applied in Bovine Slurry or Unpasteurised Digestate and the Run-Off Rate for a Test Bacterium, Listeria innocua, When Applied to Grass in Slurry and Digestate. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6 806920
- Sailer G., Comi J., Empl F., Silberhorn M., Heymann V., Bosilj M., Ouardi S., Pelz S., Müller J. (2022). Hydrothermal Treatment of Residual Forest Wood (Softwood) and Digestate from Anaerobic Digestion—Influence of Temperature and Holding Time on the Characteristics of the Solid and Liquid Products. *Energies* 15 3738
- Samoraj M., Mironiuk M., Lzydorczyk G., Witek-Krowiak A., Szopa D., Moustakas K., Chojnacka K. (2022). The challenges and perspectives for anaerobic digestion of animal waste and fertilizer application of the digestate. *Chemosphere* 295 133799
- Samuelsson, J.; Delre, A.; Tumlin, S.; Hadi, S.; Offerle, B. & Scheutz, C. (2018). Optical technologies applied alongside on-site and remote approaches for climate gas emission quantification at a wastewater treatment plant. *Water Research* 131 299-309
- Schaum C., Fundneider T., Cornel P. (2016). Analysis of methane emissions from digested sludge. *Water Science and Technology* 73 1599-1607
- Scheutz C., Fredenslund A.M. (2019). Total methane emission rates and losses from 23 biogas plants. *Waste Management* 97 38-46
- Sempere F., Sánchez C., Baeza-Serrano Á., Montoya T. (2022). Anoxic desulphurisation of biogas from full-scale anaerobic digesters in suspended biomass bioreactors valorising previously nitrified digestate centrate. *Journal of Hazardous Materials* 439 129641
- Slepeliene A., Kochiieru M., Jurgutis L., Mankeviciene A., Skersiene A., Belova O. (2022). The Effect of Anaerobic Digestate on the Soil Organic Carbon and Humified Carbon Fractions in Different Land-Use Systems in Lithuania. *Land* 11 133
- Soltanzadeh A., Mahdinia M., Golmohammadpour H., Pourbabaki R., Mohammad-Ghasemi M., Sadeghi-Yarandi M. (2022). Evaluating the potential severity of biogas toxic release, fire and explosion: consequence modeling of biogas dispersion in a large urban treatment plant. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 1-12
- Song S., Lim J.W., Lee J.T.E., Cheong J.C., Hoy S.H., Hu Q., Tan J.K.N., Chiam Z., Arora S., Lum T.Q.H., Lim E.Y., Wang C.-H., Tan H.T.W., Tong Y.W. (2021). Food-waste anaerobic digestate as a fertilizer: The agronomic properties of untreated digestate and biochar-filtered digestate residue. *Waste Management* 136 143-152
- Stolecka Katarzyna, Rusin Andrzej (2021). Potential hazards posed by biogas plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135 110225
- Studer I., Boeker C., Geist J. (2017). Physicochemical and microbiological indicators of surface water body contamination with different sources of digestate from biogas plants. *Ecological Indicators* 77 314-322
- Sun H., Bjerkeretorp J., Levenfors J.J., Schnürer A. (2020). Isolation of antibiotic-resistant bacteria in biogas digestate and their susceptibility to antibiotics. *Environmental Pollution* 266 115265
- Szymanska M., Ahrends H.E., Srivastava A.K., Sosulski T. (2022). Anaerobic Digestate from Biogas Plants—Nuisance Waste or Valuable Product? *Applied Sciences* 12 4052

- Tamburini E., Gaglio M., Castaldelli G., Fano E.A. (2020). Is Bioenergy Truly Sustainable When Land-Use-Change (LUC) Emissions Are Accounted for? The Case-Study of Biogas from Agricultural Biomass in Emilia-Romagna Region, Italy. *Sustainability* 12 3260
- Tauber J., Parravicini V., Svardal K., Krampe J. (2019). Quantifying methane emissions from anaerobic digesters. *Water Science and Technology* 80 1654-1661
- Techniques de l'Ingénieur (2012). La biomasse pourrait menacer les objectifs de réduction de CO₂ de l'UE. 17 avril 2012 <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/la-biomasse-pourrait-menacer-les-objectifs-de-reduction-de-co2-de-lue-6828/>
- Thapa Ajay, Park Jun-Gyu, Yang Hyeon-Myeong, Jun Hang-Bae (2021). In-situ biogas upgrading in an anaerobic trickling filter bed reactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(6), 106780
- Thomsen I.K., Olesen J.E., Møller H.B., Sørensen P., Christensen B.T. (2013). Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry* 58 82-87
- Tigini V., Franchino M., Bona F., Varese G.C. (2016). Is digestate safe? A study on its ecotoxicity and environmental risk on a pig manure. *Science of The Total Environment* 551-552 127-132
- Trávníček P., Kotek L. (2015). Risks associated with the production of biogas in Europe. *Process Safety Progress* 34 172-178
- Tshikalange B., Ololade O., Jonas C., Bello Z.A. (2022). Effectiveness of cattle dung biogas digestate on spinach growth and nutrient uptake. *Heliyon* 8(3) e09195
- Uzingier N., Szécsy O., Szucs-Vásárhelyi N., Padra I., Sándor D.B., Lončarić Z., Draskovits E., Rékási M. (2021). Short-Term Decomposition and Nutrient-Supplying Ability of Sewage Sludge Digestate, Digestate Compost, and Vermicompost on Acidic Sandy and Calcareous Loamy Soils. *Agronomy* 11 2249
- Valenti G., Arcidiacono A., Ruiz J.A.N. (2016). Assessment of membrane plants for biogas upgrading to biomethane at zero methane emission. *Biomass and Bioenergy* 85 35-47
- Van Puffelen J.L., Brienza C., Regelink I., Sigurnjak I., Adani F., Meers E., Schoumans O. (2022). Performance of a full-scale processing cascade that separates agricultural digestate and its nutrients for agronomic reuse. *Separation and Purification Technology* 297 121501
- Velechovský J., Malvík M., Kaplan L., Tlustoš P. (2021). Application of Individual Digestate Forms for the Improvement of Hemp Production. *Agriculture* 11 1137
- Vergote T.L.I., Bode S., Dobbelaere A.E.J.D., Buysse J., Meers E., Volcke E.I.P. (2020). Monitoring methane and nitrous oxide emissions from digestate storage following manure mono-digestion. *Biosystems Engineering* 196 159-171
- Vitti A., Elshafie H.S., Logozzo G., Marzario S., Scopa A., Camele I., Nuzzaci M. (2021). Physico-Chemical Characterization and Biological Activities of a Digestate and a More Stabilized Digestate-Derived Compost from Agro-Waste. *Plants* 10 386
- Vlierberghe C. V., Escudíé R., Bernet N., Santa-Catalina G., Frederic S., Carrere H. (2022). Conditions for efficient alkaline storage of cover crops for biomethane production. *Bioresource Technology* 348 126722
- Vu Q.D., de Neergaard A., Tran T.D., Hoang Q.Q., Ly P., Tran T.M., Jensen L.S. (2015). Manure, biogas digestate and crop residue management affects methane gas emissions from rice paddy fields on Vietnamese smallholder livestock farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 103 329-346
- 141 231-239
- Wang N., Chen Q., Zhang C., Dong Z., Xu Q. (2022). Improvement in the physicochemical characteristics of biochar derived from solid digestate of food waste with different moisture contents. *Science of the Total Environment* 819 153100
- Wang N., Huang D., Bai X., Lin Y., Miao Q., Shao M., Xu Q. (2022). Mechanism of digestate-derived biochar on odorous gas emissions and humification in composting of digestate from food waste. *Journal of Hazardous Materials* 434 128878
- Wang S., Wen Y., Shi Z., Niedzwiecki L., Baranowski M., Czerep M., Mu W., Kruczek H.P., Jönsson P.G., Yang W. (2022). Effect of hydrothermal carbonization pretreatment on the pyrolysis behavior of the digestate of agricultural waste: A view on kinetics and thermodynamics. *Chemical Engineering Journal* 431 133881
- Wang, X., Chang V.W.-C., Li Z., Song Y., Li C., Wang Y. (2022). Co-pyrolysis of sewage sludge and food waste digestate to synergistically improve biochar characteristics and heavy metals immobilization. *Waste Management*
- Wei Yufang, Lan Yanyan, Li Xiujin, Gao Minghan, Yuan Shuai, Yuan Hairong (2021). Effect of wheat straw pretreated with liquid fraction of digestate from different substrates on anaerobic digestion performance and microbial community characteristics. *Science of The Total Environment*, 151764
- Weldon S., Rivier P.-A., Joner E.J., Coutris C., Budai A. (2022). Co-composting of digestate and garden waste with biochar: effect on greenhouse gas production and fertilizer value of the matured compost. *Environmental Technology* 1-11
- Whelan M.J., Everitt T., Villa R. (2010). A mass transfer model of ammonia volatilization from anaerobic digestate. *Waste Management* 30 1808-1812

- Xie X., Peng C., Song X., Peng N., Gai C. (2022). Pyrolysis kinetics of the hydrothermal carbons derived from microwave-assisted hydrothermal carbonization of food waste digestate. *Energy* 123269
- Yoshida H., Mønster J., Scheutz C. (2014). Plant-integrated measurement of greenhouse gas emissions from a municipal wastewater treatment plant. *Water Research* 61 108-118
- Yu X.-Y., Zhu Y.-J., Jin L., Wang B.-T., Xu X., Zou X., Ruan H.-H., Jin F.-J. (2022). Contrasting responses of fungal and bacterial communities to biogas slurry addition in rhizospheric soil of poplar plantations. *Applied Soil Ecology* 175 104427
- Zeng J., Xu R., Sun R., Niu L., Liu Y., Zhou Y., Zeng W., Yue Z. (2020). Evaluation of methane emission flux from a typical biogas fermentation ecosystem in China. *Journal of Cleaner Production* 257 120441
- Zeng Q., Zhen S., Liu J., Ni Z., Chen J., Liu Z., Qi C. (2022). Impact of solid digestate processing on carbon emission of an industrial-scale food waste co-digestion plant. *Bioresource Technology* 127639
- Zhang Y., Zhu Z., Zheng Y., Chen Y., Yin F., Zhang W., Dong H., Xin H. (2019). Characterization of Volatile Organic Compound (VOC) Emissions from Swine Manure Biogas Digestate Storage. *Atmosphere* 10 411
- Zheng X., Zou D., Wu Q., Wang H., Li S., Liu F., Xiao Z. (2022). Review on fate and bioavailability of heavy metals during anaerobic digestion and composting of animal manure. *Waste Management* 150 75-89
- Zilio Massimo, Pigoli Ambrogio, Rizzi Bruno, Herrera Axel, Tambone Fulvia, Geromel Gabriele, Meers Erik, Schoumans Oscar, Giordano Andrea, Adani Fabrizio (2022). Using highly stabilized digestate and digestate-derived ammonium sulphate to replace synthetic fertilizers: The effects on soil, environment, and crop production. *Science of The Total Environment*, 152919

Articles de presse nationale

- 2022-07-28 *Le Dauphiné Libéré* : Eau d'Evian. Mal conçu, le méthaniseur pollue et coûte cher.
- 2022-07-25 *La Gazette de la Manche, d'Iles et Vilaine et de la Mayenne* : Pollution : 400 kg de poissons retrouvés morts dans l'étang communal de Lapenty. Par Corentin Gouriou
- 2022-06-23 *Rue 89* : Près de Mulhouse un méthaniseur menace l'habitat d'un papillon rare et protégé. Par Danae Corte
- 2022-06-05 *Le Télégramme* : En pays de Douarnenez, qui veut épandre des boues sur ses parcelles ?
- 2022-05-27 *Voix du Jura* : Jura. Une catastrophe écologique pour les rivières du Valouson et la Doye en petite montagne. Par Cédric Perrier
- 2022-05-20 *L'Union* : L'impact de la méthanisation sur la perdrix grise à l'étude pour un an dans l'Oise. Par Oriane Maerten
- 2022-05-19 *L'Oise Agricole* : La plaine manque d'eau et l'inquiétude gagne les agriculteurs : «Alain Gille craint aussi la concurrence entre les éleveurs et les détenteurs d'unités de méthanisation sur les pulpes de betteraves»
- 2022-05-19 *Le Courrier Picard* : L'impact de la méthanisation sur la perdrix grise à l'étude pour un an dans l'Oise. Par Oriane Maerten
- 2022-03-26 *Le Républicain Lorrain* : L'unité de méthanisation divise : la première adjointe démissionne
- 2022-02-21 *La Montagne* : Dans le bocage du sud du Berry, en mutation : « On gagne plus en faisant du gaz que de la viande »
- 2022-02-02 *Sud Ouest* : Saint-Astier : visite politique dans une installation de méthanisation. «Le digestat de Saint-Astier, par exemple, est envoyé à des céréaliers de l'est de la France. En échange, les exploitants astériens reçoivent de la paille »
- 2022-01-04 *Ouest-France* : Pourquoi la filière équine peine à trouver de la paille
- 2021-05-05 *Ouest-France* : Méthanisation : Craintes des jeunes agriculteurs, hausse des prix du fourrage
- 2021-04-05 *Réussir* : J'ai arrêté les CIVE d'été épuisantes pour les sols (GAEC Chiron)
- 2021-03-10 *La Dépêche-Le Petit Meunier* : Produits cellulosiques _ Concurrence entre nutrition animale et méthanisation concernant les écarts de triage des céréales
- 2020-11-14 *Grands Troupeaux* : Le biogaz contre les éleveurs. « Trop de fourrages finissent dans les méthaniseurs »
- 2020-09-29 *Le Parisien* : Méthanisation dans l'Oise : «Ça fleurit dans tous les sens, on a du mal à voir la cohérence»
- 2020-09-29 *L'Est Eclair Libération-Champagne* : Les éleveurs de moutons s'inquiètent de la concurrence des méthaniseurs dans l'Aube
- 2020-07-16 *France 3* : En Deux-Sèvres, la pénurie de paille devient récurrente
- 2019-06-14 *La Voix du Nord* : Arrageois-Ternois – la méthanisation agricole, une énergie agricole en plein essor. Les méthaniseurs à la frontière viennent chercher leurs « déchets » en France

Membres du Collectif Scientifique National Méthanisation raisonnable

Almagro Sébastien	Maître de Conférences	Université de Reims	Biochimie, Biologie cellulaire
Astruc Jean-Guy	Docteur-Ingénieur	BRGM, retraité	Géologie, Hydrogéologie
Arousseau Pierre	Professeur des Universités	INRA Rennes, Agrocampus Ouest	Agronomie, Environnement
Bakalowicz Michel	Directeur de Recherches	CNRS, retraité	Hydrogéologie, spécialiste des sols karstiques
Bourguignon Claude	Ingénieur Agronome	LAMS	Microbiologie
Bourguignon Emmanuel	Ingénieur Agronome	LAMS	Microbiologie
Bourguignon Lydia	Ingénieure Agronome	LAMS	Microbiologie
Brenot Jean-Claude	Maître de Conférences, HDR	Université 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 Emérite	CNRS	Physique-Chimie
Hamet Jean-François	Professeur des Universités	Ecole Nationale Supérieure 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 Mathieu	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, Professeur Emérite des Universités	Pierre et Marie Curie Paris VI, Sorbonne Université	Ecologie des Sols, Sciences de l'Environnement
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 émérite des Universités	Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen	Physique
Raveau Bernard	Académicien des Sciences, Professeur des Universités	Université de Caen Normandie	Chimie
Réveillac Liliane	Médecin Hospitalier	Hôpital de Cahors	Radiologie
Salomon Jean-Noël	Professeur des Universités	Université de Bordeaux, retraité	Géographie Physique

Serreau Raphaël	Directeur de Recherches	Laboratoire PsychoMADD, AP-HP Université Paris Saclay	Médecin de Santé Publique, hospitalier praticien
Tarrisse André	Docteur Ingénieur	DDAF du Lot, retraité	Hydrogéologie
Viers Jérôme	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, Cristallographie

