



UN CONCEPT CLÉ DE L'ÉCOLOGIE OUBLIÉ PAR LES PROMOTEURS DE LA METHANISATION AGRICOLE : « L'EFFET MATRICE DES VEGETAUX »

Gérard FONTY

Revue Francophone du Développement Durable

2024 - n°23 - Mars

Pages 39 - 46

ISSN 2269-1464

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://erasme.uca.fr/version-francaise/publications/revue-francophone-du-developpement-durable>

Pour citer cet article

Fonty G. (2024), Un concept clé de l'écologie oublié par les promoteurs de la méthanisation agricole : « L'effet matrice des végétaux », *Revue Francophone du Développement Durable*, n°23, Mars, p. 39 - 46.

Un concept clé de l'écologie oublié par les promoteurs de la méthanisation agricole : « l'effet matrice des végétaux ».

Gérard FONTY¹

Directeur de recherche honoraire au CNRS

Président du Groupe scientifique de réflexion et d'information pour un développement durable (GREFFE)

Résumé : Cet article traite d'un aspect oublié des discussions et des débats sur l'apport au sol des digestats issus de la méthanisation en milieu agricole : l'effet « matrice » des substrats végétaux. La matrice d'un aliment est sa structure physique et par ses propriétés physico-chimiques ou rhéologiques. La matrice des substrats joue un rôle important dans le sol. Il contribue à augmenter leur teneur matière organique, améliore leur structure, limite leur érosion, favorise leur biodiversité qui en retour rend des services écosystémiques de haute valeur. A composition chimique strictement identique mais avec des matrices différentes, deux substrats végétaux n'auront pas le même impact sur le sol. Dans les digestats issus de la méthanisation la matrice des substrats est beaucoup trop altérée pour jouer un rôle important dans le sol. En conséquence, ces digestats ne peuvent être difficilement considérés de ce fait comme de bons fertilisants dans les agrosystèmes.

Mots clés : méthanisation, digestats, effet matrice, végétaux

Introduction

Le gouvernement français et les sociétés productrices d'énergie préconisent et encouragent la production d'énergie par le procédé de méthanisation notamment en milieu agricole. Le débat sur ce sujet, qui s'intensifie actuellement en France, est très généralement focalisé sur l'analyse du procédé et se résume à en souligner avantages et inconvénients. Les discussions portent sur la production d'énergie du bilan carbone du procédé d'une unité de méthanisation et sur le potentiel fertilisant des digestats. Malheureusement, l'ensemble du problème est rarement pris en considération. La vision de la méthanisation agricole donnée par les promoteurs du procédé, celle d'une

¹ Mon passé de chercheur en écologie microbienne qui a consisté à étudier les écosystèmes microbiens complexes comme ceux des systèmes digestifs des herbivores (rumen des moutons, colon du lapin et du cheval) ou des sédiments lacustres, me conduit, dans cet article, à faire une analogie sur le fonctionnement des chaînes trophiques présentes dans ces écosystèmes avec la chaîne trophique présente dans le sol. Dans les systèmes digestifs, ces chaînes alimentaires sont au cœur du fonctionnement de ces écosystèmes, elles en assurent l'équilibre, la stabilité et la pérennité et par conséquent contribuent très fortement à la santé de l'hôte qui les héberge. Gageons qu'il en va de même pour le sol.

méthode de « production vertueuse d'énergie verte à partir de déchets agricoles » est pour le moins ambiguë, réductrice, si ce n'est trompeuse. Le contraire a été démontré par des calculs de bilans effectués par le Collectif Scientifique National Méthanisation Raisonnée, (Aurousseau *et al*, 2023), par Jouany (2023, 2024) et par une approche écologique et holistique du problème (Fonty, 2021, 2022). Cet article a pour objectif de préciser un aspect fondamental, trop rarement, pour ne pas dire jamais, discuté dans les débats : celui de l'effet « matrice » des végétaux dans le fonctionnement de l'écosystème sol » dont la méthanisation le prive. Il s'agit pourtant d'un concept clé de l'écologie.

Qu'est-ce que l'effet matrice ?

L'effet « matrice » a été défini en nutrition humaine au sujet des aliments et bien étudié depuis les années 1990. Il se définit ainsi : « à composition strictement identique mais avec des matrices différentes, deux aliments n'auront pas le même impact sur l'organismes, et donc à plus long terme, sur sa santé » (Fardet, 2016, 2017 ; Fardet et Barrot, 2016).

La matrice d'un aliment est sa structure physique visible à l'œil nu qui peut être caractérisée par ses propriétés physico-chimiques (porosité, dureté, capacité de rétention de l'eau, etc.) ou rhéologiques (texture solide, semi-solide, liquide).

On distingue, généralement trois niveaux de structure de la matrice des aliments : la structure moléculaire (nature des molécules, leur arrangement tridimensionnel, cristallinité, degré de polymérisation), la structure microscopique (interactions entre constituants) et la structure macroscopique (forme, couleur, taille des particules).

Les procédés technologiques jouent également un rôle important dans cette matrice, en lui attribuant ses propriétés (forme, couleur, densité, porosité, interaction entre les nutriments, dénaturation des protéines...).

Cette matrice réside dans l'organisation physique et chimique de la paroi des cellules végétales, paroi, qui caractérise les cellules végétales par rapport aux cellules animales qui n'en possèdent pas. Au plan biochimique, elle est formée d'un réseau complexe de polymères glucidiques ou polyholosides (cellulose, hémicelluloses, pectines) représentant jusqu'à 90 % de sa composition, de polymères non glucidiques (lignine, protéines, lipides), de minéraux et de diverses substances variables selon les espèces végétales. Au plan physique La paroi végétale est constituée de trois couches, synthétisées séquentiellement : la lamelle moyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Les constituants de la paroi sont synthétisés dans le cytoplasme et excrétés vers l'extérieur de la cellule. La lamelle moyenne, synthétisée en premier, est une membrane pectique mitoyenne entre deux cellules. La paroi primaire caractérise les cellules jeunes, elle est composée de cellulose, hémicelluloses et de pectines. La paroi secondaire, est stratifiée en trois couches (S1, S2 et S3). Sa composition est la même que celle de la paroi primaire mais en proportions différentes. Elle est formée d'une matrice compacte d'hémicelluloses et de microfibrilles de cellulose, très cristallines, organisées en faisceaux. Le modèle structural de la paroi végétale comprend un échafaudage

constitué d'un enchevêtrement de microfibrilles de cellulose insérées dans une matrice d'hémicelluloses et de pectines. La cohésion entre les différents constituants pariétaux est assurée par des liaisons chimiques très complexes et difficiles à rompre.

Après le dépôt des polymères glucidiques, la paroi secondaire est progressivement incrustée de lignine qui augmente la rigidité des parois et confère une grande résistance mécanique et chimique à la plante. Outre la lignification, il se produit, selon les espèces végétales, une minéralisation (silice, calcaire) ou une gélification (gommes, mucilages) des parois, par accumulation de substances d'incrustations et dépôt de substances d'adcrustation (cires, subérines, cutine, sporopollénine, etc.). La paroi végétale et donc caractérisée par architecture complexe qui assure la rigidité du végétal et sa résistance.

Dans les sols, comme dans les écosystèmes digestifs, C'est la matière organique (MO) végétale apportée qui est à l'origine de l'effet matrice. La MO influence directement les propriétés biologiques, physiques et chimiques et joue de la sorte un rôle essentiel et déterminant vis-à-vis de chacune des fonctions du sol. Comme en santé humaine, maintenir un taux idéal de MO pour nourrir les êtres vivants du sol est indispensable car elle y génère le stock d'humus. Le maintien d'un bon stock d'humus et sa gestion, sont des objectifs majeurs et prudents que doit poursuivre chaque producteur s'il désire éviter des accidents de culture et ménager l'avenir de ses sols. Un faible taux de MO procure de nombreux inconvénients variables selon les types de sols, car la fertilité du sol est la résultante de ses diverses propriétés.

La MO végétale brute est composée essentiellement de débris végétaux dont les divers composants opposent, selon leur complexité, plus ou moins de résistance à leur décomposition. Dans le sol, sous l'action des microorganismes, ces MO fraîches évoluent graduellement. Les composés facilement fermentescibles subissent une dégradation rapide dénommée minéralisation rapide qui libèrent essentiellement des minéraux, du CO₂, de l'eau et de la chaleur. Au contraire les composés difficilement fermentescibles subissent une dégradation lente. Ils sont repris, avant complète dégradation dans des synthèses chimiques et biologiques qui les convertissent en humus stable. C'est le procédé d'humification. L'humus stable représente quantitativement la part la plus importante liée à l'argile du sol formant le complexe argilo-humique ou complexe absorbant représentant le principal réservoir en éléments nutritifs du sol. Cet humus stable n'est pas définitivement immobilisé. Il subit à son tour une transformation lente, c'est la minéralisation lente qui va libérer à son tour des éléments nutritifs indispensables aux cultures.

Que se passe-t-il dans un méthaniseur ?

La méthanisation est le procédé par lequel la MO de la biomasse végétale est transformée en biogaz. Les résidus non transformés constituent le digestat. Il s'agit d'un processus très complexe réalisé en absence d'oxygène (en anaérobiose) par plusieurs centaines d'espèces microbiennes (bactéries et archées). Ce processus se déroule en plusieurs étapes successives, chacune effectuée par des groupes microbiens spécifiques organisés en chaîne trophique. C'est un processus séquentiel et progressif

qui exige des conditions rigoureuses de température, pression, potentiel d'oxydo-réduction, pH, compatibles avec les caractéristiques physiologiques et métaboliques des différentes espèces microbiennes et les conditions de leurs interactions. L'étude de ce processus relève de disciplines scientifiques spécialisées : microbiologie anaérobie, écologie microbienne, biotechnologie.

La biomasse végétale qui alimente le méthaniseur est généralement constituée de résidus de cultures et/ou de cultures dites cultures intermédiaires à vocation énergétique (ou CIVESs). Au cours de la méthanisation ce sont essentiellement les polymères glucidiques (cellulose, hémicelluloses, pectines) des parois végétales, qui sont fermentés et transformés en gaz (« biogaz ») ainsi que les amidons et les glucides solubles. Ces substances sont également connues sous le nom d'hydrates de carbone. Les substances azotées (protéines) et lipides sont également fermentées. Le biogaz est un mélange de deux gaz : le méthane (CH₄) et le gaz carbonique (CO₂) dans des proportions d'environ 65 % et 35 %. Le CH₄ représente la forme la plus hydrogénée (réduite) du carbone et le CO₂, la forme la plus oxydée. Le carbone de ces deux gaz est issu des molécules glucidiques (C_n(H₂O)_n) mises à fermenter. Le méthane ou biométhane, seul gaz utilisable, est valorisé sous forme d'électricité et/ou de chaleur alors que le CO₂ est éliminé dans l'atmosphère. Les digestats sont essentiellement constitués de lignine qui est également un constituant des parois végétales, mais qui n'est pas dégradable en absence d'oxygène, de résidus glucidiques qui ont échappés à la fermentation en raison de leur incrustation dans les molécules de lignine. Une part importante de l'azote organique, principalement inclus dans les protéines et l'urée se retrouve sous forme d'ammonium NH₄⁺.

A la sortie du méthaniseur, la MO subsistant dans les digestats a perdu la plupart de ses propriétés, elle ne peut donc pas jouer le rôle majeur et fondamental qui lui est normalement dévolue.

Conséquences : la méthanisation des résidus de culture, des fumiers et à fortiori des CIVES va à l'encontre des bonnes pratiques agricoles.

Comme en nutrition humaine et animale, le bon fonctionnement de l'écosystème du sol repose sur l'effet matrice des substrats végétaux qui sont les aliments principaux des êtres vivants de cet écosystème. Comme les humains et les animaux, le sol doit « consommer des aliments » et pas seulement des nutriments. Le sol ne doit donc pas être privé de la matrice constituée par les parois végétales. Or au cours de la méthanisation, comme nous l'avons précisé ci-dessus, cette matrice est très fortement altérée voire rendue inexistante, puisque les polysides la constituant et cimentant les composants entre eux, sont ceux qui sont fermentés et transformés en biogaz.

L'approche qui repose sur l'étude de l'effet des nutriments apportés au sol, pris isolément (composés azotés, lignine, micronutriments, etc.), comme cela est le cas dans de nombreuses publications scientifiques portant sur l'effet des digestats, est une approche réductionniste inadaptée aux exigences du fonctionnement à long terme

d'un écosystème complexe comme est le sol. C'est une vision inadaptée aux exigences du développement durable. La valeur nutritionnelle d'un substrat ne se résume pas aux nutriments qu'il contient, mais varie en fonction de la matrice du substrat, de la structure des nutriments dans cette matrice et des interactions avec les autres constituants du substrat.

Les politiques de gestion des sols ont une importance majeure sur la biodiversité du sol et donc sur les services rendus par cette biodiversité. Les activités humaines pèsent en effet très fortement sur les fonctions écologiques des sols, elles doivent donc prendre en compte cet effet matrice des substrats végétaux.

L'effet matrice des substrats végétaux contribue, en effet, à :

- Augmenter la teneur en matière organique du sol. Des apports réguliers de MO améliorent la structure du sol, augmentent sa capacité de rétention de l'eau et des nutriments, protègent le sol contre l'érosion et le tassement et soutiennent le développement d'une abondante communauté d'organismes vivants. Le maintien des résidus de culture à la surface du sol, les rotations qui incluent des plantes à fort taux de résidus, les cultures intercalaires, les systèmes avec peu ou pas de labour ou l'épandage de compost ou d'autres produits résiduels organiques augmentent la teneur en matière organique des sols. Le sol est privé de ces apports s'ils sont méthanisés.

- Limiter les intrants agro-chimiques et la contamination des sols. L'utilisation de pesticides et de fertilisants chimiques favorise les rendements mais les matières actives sont toxiques pour les organismes du sol et conduit à des réductions de la biodiversité.

- Réduire le risque d'érosion. La présence d'une couverture végétale ou de résidus de cultures protège le sol, fournit des habitats pour les organismes vivants et améliore la disponibilité en eau et en nutriments. Un sol nu est sensible à l'érosion par le vent et l'eau, au dessèchement et à l'encroûtement.

En un mot, la matrice des substrats favorise la biodiversité du sol, qui en retour rend des services écosystémiques de haute valeur. Ces services rendus (fertilité du sol, protection des cultures, régulation des cycles des nutriments et de l'eau, décontamination des eaux et des sols, ressources pour le développement de produits pharmaceutiques) ne sont généralement pas perçus par les bénéficiaires. La prise en compte effective de la valeur des services écosystémiques liés à la biodiversité du sol pourrait corriger voire inverser les écarts de rentabilité entre différents types d'usage du sol ou de pratiques agricoles.

Les organismes du sol sont généralement subdivisés en plusieurs groupes selon leur taille : la mégafaune (petits mammifères, etc.), la macrofaune, visible à l'œil nu (vers de terre, fourmis, larves d'insectes, etc.), la mésofaune, visible à la loupe (acariens, collemboles, etc.), la microfaune, et les micro-organismes, visibles seulement au microscope (protozoaires, bactéries, archées, champignons, algues).

Les vers de terre représentent le groupe dont la biomasse est la plus importante (60 à 80 % de la biomasse animale) et la diversité spécifique la mieux connue. Les plus petits organismes sont les plus nombreux et les plus diversifiés. Il existe ainsi plus de deux millions d'espèces de bactéries et de champignons dont la plupart n'ont pas encore été identifiées avec précision. Il est donc important de ne pas les faire disparaître.

Si les organismes du sol peuvent être classés suivant leur taille, ils peuvent aussi être regroupés selon leurs rôles, et ceci à différentes échelles. Les différents groupes d'organismes exercent des fonctions complémentaires en formant une grande chaîne trophique (alimentaire), ainsi on distingue :

- Les ingénieurs physiques (ex : vers de terre, fourmis) renouvellent la structure du sol, créent des habitats pour les autres organismes du sol et régulent la distribution spatiale des ressources en matières organiques ainsi que le transfert de l'eau. Ils jouent un rôle fondamental sur la matrice des substrats.

- Les régulateurs (nématodes, collembolles et acariens) contrôlent la dynamique et l'activité des populations de micro-organismes du sol. La présence d'une diversité de prédateurs permet par exemple de limiter la prolifération de certains champignons ou bactéries pathogènes des cultures.

- Les ingénieurs biochimistes, principalement les micro-organismes (bactéries et champignons microscopiques) assurent la décomposition de la matière organique (ex : les feuilles des arbres) en éléments nutritifs facilement assimilables par les plantes, comme l'azote et le phosphore. Ils sont également responsables de la dégradation des polluants organiques comme les hydrocarbures et les pesticides. Comme les ingénieurs physiques, ils jouent un rôle essentiel sur la matrice. Les différentes espèces exercent des rôles spécifiques et sont elles-mêmes organisées, sur le plan fonctionnel en chaîne trophique.

L'activité des organismes est à la base de nombreux services écosystémiques essentiels aux sociétés humaines :

- Les organismes du sol en assurent la fertilité. Ils supportent indirectement la qualité et l'abondance de la production végétale en renouvelant la structure du sol, en permettant la décomposition des matières organiques et en facilitant l'assimilation des nutriments minéraux disponibles pour les végétaux.

- La biodiversité du sol permet de lutter contre les ennemis naturels des cultures. C'est ce que l'on appelle l'effet de barrière qui est également bien démontré dans d'autres écosystèmes. Maintenir ou favoriser la diversité des organismes du sol permet donc de limiter l'utilisation des pesticides.

- La présence d'ingénieurs de l'écosystème tels que les vers de terre favorise l'infiltration de l'eau en augmentant la perméabilité des horizons de surface.

- Certains microorganismes décontaminent les eaux et les sols en dégradant les polluants, notamment les hydrocarbures aromatiques cycliques (HAC) pourtant très résistants.

- Les organismes du sol constituent le plus important réservoir de ressources génétiques et chimiques pour le développement de nouveaux produits pharmaceutiques. Par exemple, l'actinomycine et la streptomycine sont des antibiotiques communs dérivés des champignons du sol.

Le maintien de ces services indispensables à la vie terrestre passe obligatoirement par la protection de la biodiversité des sols et donc par le maintien de l'effet des facteurs écologiques biotiques et abiotiques qui permettent son développement. Si un seul des maillons des chaînes trophiques est perturbé, c'est le fonctionnement de l'ensemble de la chaîne qui est altéré. L'effet matrice conditionne surtout les premières étapes de ces chaînes mais se répercute sur toutes les autres. On voit donc son importance et tout l'intérêt que les agriculteurs ont à le maintenir. C'est effet est peu perceptible à court terme en raison des réserves actuelles de MO des sols encore fertiles, mais son absence se fera inéluctablement et cruellement sentir à moyen et longs termes. C'est la fertilité de nos sols qui est en jeu. Et au-delà nos productions alimentaires animales et humaines.

Conclusion

A la lumière des considérations développées ci-dessus et de celles développées sur d'autres aspects (Aurousseau *et al*, 2023, Fonty, 2021, 2022 ; Jouany 2023,) on constate que le côté séduisant et prometteur de la méthanisation en milieu agricole comme procédé producteur d'énergie n'est qu'apparent et qu'il sera, à terme, davantage source de problèmes graves que de solutions pour les sociétés humaines. Sa généralisation altérera la fertilité des sols, mettra en danger notre souveraineté alimentaire, tout en accentuant nos émissions de gaz à effet de serre. La méthanisation agricole est donc un procédé qui va à l'encontre d'une agriculture durable Ce procédé doit être réservé au traitement et à la valorisation des déchets ménagers urbains fermentescibles ou en milieu industriel mais proscrit du milieu agricole.

Références bibliographiques

AUROSSEAU P., JOUANY J-P, FONTY G., CHATEIGNER D. (2023). Les scientifiques réagissent quant à l'impact de la méthanisation sur le sol. Les conséquences des digestats standards sur le carbone des sols. Tribune dans WebAgri.

<https://www.web-agri.fr/tribunes/article/204104/les-scientifiques-reagissent-quant-a-l-impact-de-la-methanisation-sur-le-sol>

FARDET A., BARROT F. (2016). L'effet matrice bénéfique des aliments peu transformés. *Equilibre*, 314 : 50-53.

FARDET A. (2016). Do the Physical Structure and Physicochemical Characteristics of Dietary Fibers Influence their Health Effects? in *Dietary Fibre Functionality in Food & Nutraceuticals: From Plant to Gut*, F. Hosseinian, B.D. Oomah, and R. Campos-Vega, Editors. 2016, John Wiley & Sons : Hoboken. p. 1-19.

FARDET A. (2017). L'effet matrice des aliments, un nouveau concept. *Pratiques en Nutrition*, 13 : 37-40

FONTY G. (2021). La méthanisation en milieu agricole vue par un écologue microbien ; un non-sens écologique, éthique et civilisationnel. *Nature & Progrès*, 132, 14 - 16. ISSN 2269-1464

FONTY G. (2022). La méthanisation agricole : attention danger pour notre souveraineté. *Revue Francophone du Développement Durable*, 20, 1 - 14.

<https://theconversation.com/pour-manger-sain-faire-attention-a-la-composition-des-aliments-ne-suffit-pas-121414>

FONTY G. et FORANO E. (1999). Ecologie de la dégradation et de la fermentation des polyholosides constitutifs des parois végétales dans le rumen. *Cahiers d'Agriculture*, 8(1), 21-35

JOUANY J-P. (2023). Analyse des émissions de gaz à effet de serre au cours du cycle de vie d'un méthaniseur agricole. *Revue Francophone du Développement Durable*, 21, 1 - 11.