

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 83 (2021)
Heft: 1

Artikel: Alimentation professionnelle des bactéries
Autor: Hunger, Ruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1086517>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Les installations de biogaz ne doivent pas nécessairement être de grande taille pour fonctionner de manière efficace. Photo: Idd

Alimentation professionnelle des bactéries

Quiconque connaît les propriétés des bactéries et peut les gérer avec doigté est destiné à devenir un exploitant d'installation de biogaz. La Suisse compte actuellement un peu plus de 110 installations de ce type et la tendance est à la hausse. Par conséquent, il y a encore un potentiel de croissance. Vous trouverez ci-dessous quelques principes de fonctionnement d'une installation de biogaz.

Ruedi Hunger

Les bactéries sont les véritables «petites mains» d'une installation de biogaz. La production de gaz se déroule en quatre étapes, chacune caractérisée par un groupe spécifique de bactéries. Cependant, la transition entre ces phases est fluide. Les différents groupes de bactéries travaillent main dans la main de manière très interdépendante, bien qu'ils soient impliqués dans les processus individuels de dégradation de la matière organique. Le processus de production ainsi que les paramètres biologiques et techniques de l'installation déterminent le rendement en gaz du substrat. Des valeurs de

référence pour le rendement en gaz de différents substrats peuvent être trouvées dans la littérature ou sur Internet. On peut citer l'article sur le rendement en gaz des installations de biogaz agricoles dans le cahier n° 88 du comité pour la technique et le bâtiment dans l'agriculture (KTLB, voir l'en-cadré «Sources et bibliographie» à la fin du présent article).

Technologie

Le cœur des installations de biogaz est le digesteur, aussi appelé bioréacteur. Les installations agricoles sont généralement

équipées d'un dispositif à une ou deux étapes. Dans les systèmes à une seule étape, comme le nom l'indique, les différentes étapes (voir les phases 1 à 4 ci-dessous) ne connaissent pas de séparation spatiale et se déroulent dans un seul digesteur. En fonction de la taille de l'installation, on observe ces dernières années une tendance vers des processus à deux ou plusieurs étapes. Cela permet de séparer, au moins partiellement, les différentes phases, d'obtenir des conditions parfaites et d'optimiser tout le processus de fermentation, mais au prix d'investis-

sements bien plus importants. Selon le type de substrat, les procédés décrits ci-dessous sont les plus courants.

- Fermentation par voie humide

La fermentation par voie humide fonctionne avec des substrats liquides pompageables, typiquement du lisier. La biomasse solide doit être suffisamment fractionnée et rendue pompageable par l'ajout de lisier (eau). Les digesteurs humides sont les plus fréquents dans l'agriculture.

- Fermentation par voie sèche

L'expression «fermentation sèche» est trompeuse dans la mesure où toute forme de fermentation nécessite de l'humidité. Cette méthode se caractérise par l'utilisation de matières solides empilables qui alimentent le digesteur et fermentent sans brassage supplémentaire de la matière. Le substrat imprégné du liquide de fermentation repose pendant la fermentation, puis est retiré du digesteur sous forme empilable sans manipulation supplémentaire.

- Fermentation par voie sèche discontinue (procédé «batch»)

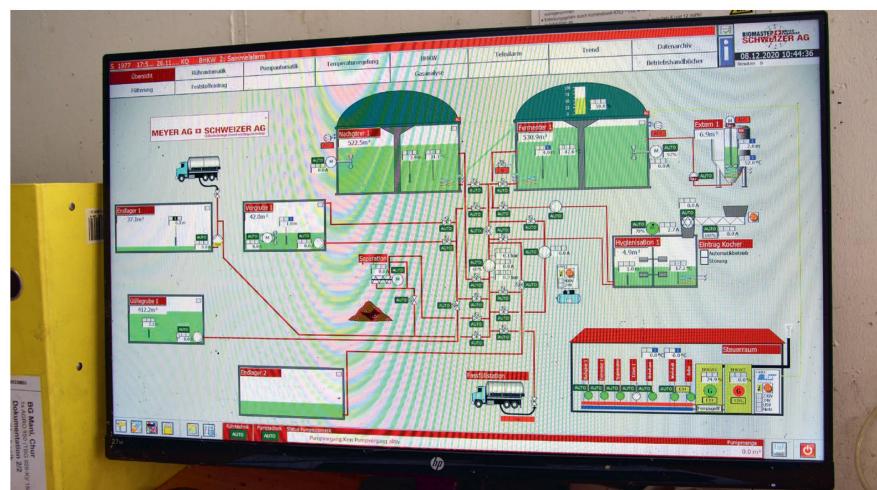
Le digesteur est rempli en une fois. La charge (quantité introduite) fermente durant une durée donnée, sans ajout ou prélèvement. Le digesteur est ensuite vidé en une seule fois. Une partie des boues liquides fermentées (percolat) est utilisée pour inoculer le nouveau lot. Le gaz étant fabriqué de manière séquentielle, il faut exploiter plusieurs digesteurs en parallèle pour une production continue.

- Fermentation par débit continu (par voie humide)

La majorité des installations de biogaz agricoles fonctionnent selon ce principe. Plusieurs fois par jour (3 à 4 fois), le digesteur est alimenté en substrat frais par une (petite) pré-fosse et vidé d'une quantité de digestat équivalente. Il conserve ainsi un niveau constant de remplissage. La fermentation par débit continu est facile à automatiser et produit du gaz de manière relativement uniforme.

Le substrat: un aliment pour les bactéries

La rentabilité du biogaz composé d'une forte proportion de lisier est déterminée par la qualité de ce dernier, c'est-à-dire par son potentiel de production de méthane. Le lisier est avantageux car il stabilise les processus biologiques en apportant dans le digesteur des macro et mi-



Les informations sur les paramètres effectifs de l'installation sont affichées de façon synthétique. Photos: Ruedi Hunger

cronutriments, qui, à leur tour, sont nécessaires aux bactéries méthanogènes pour convertir les matières organiques. Par rapport aux matières premières d'origine végétale, la teneur en méthane du biogaz issu de la fermentation du lisier est nettement plus élevée: celle du lisier de bovins est estimée à 60% et celle du lisier de porcs peut atteindre 70%. Le lisier de porc a tendance à se transformer plus rapidement que celui de bovin. En outre, on peut voir un lien entre le niveau de performance de l'élevage et les rendements en méthane. Les raisons sont dues à la composition du fourrage et à son degré de métabolisation par l'animal. Avec un fourrage de qualité constante, la valeur en méthane du lisier reste la même, avec de légères fluctuations seulement. Les changements de fourrage et de pâturage modifient la qualité du lisier.

Les bactéries sont les véritables ouvrières

La production de biogaz se fait en quatre étapes distinctes (phases).

Première phase: l'hydrolyse

Durant la première étape, l'hydrolyse, les principales liaisons moléculaires de la matière première organique sont cassées. Ce processus est impératif afin que les produits élémentaires puissent ensuite être transformés par les bactéries. En clair, cela signifie que les glucides, les protéines et les graisses sont transformés de manière biochimique en petites molécules. Ce travail grossier est effectué par des bactéries hydrolytiques qui sécrètent des enzymes spéciales qui attaquent les grosses macromolécules et les réduisent en petites molécules hydro-

solubles. Tous les composés ne peuvent pas être traités de la même manière et à un rythme identique. L'hydrolyse détermine la vitesse à laquelle la production de biogaz se déroule. À cet égard, il est important que les substrats utilisés aient une bonne biodisponibilité.

Deuxième phase: l'acidification

Cette deuxième étape est également appelée acidogenèse. Des bactéries absorbent les éléments issus de la première décomposition et les transforment une deuxième fois. Il se forme alors des acides propionique, butyrique, valérique et lactique ainsi que d'autres produits. Pour assurer la formation ultérieure de méthane, il est capital, à ce stade, que les bactéries épient l'oxygène résiduel résultant de l'hydrolyse et créent ainsi un milieu anaérobie.

Troisième phase: l'acétoxygénèse

Lors de la phase de l'acétoxygénèse, les éléments issus de l'acidification subissent une nouvelle transformation pour produire de l'acide acétique, de l'hydrogène et du dioxyde de carbone. La formation d'acide acétique est liée à la formation de méthane. En consommant instantanément l'hydrogène produit lors de la formation de l'acide acétique, les bactéries méthanogènes permettent d'éviter son action inhibitrice sur une grande partie des bactéries. En contrepartie, ces bactéries ont besoin de l'énergie libérée lors de la formation du méthane.

Quatrième phase: la méthanogenèse

La formation effective de méthane est la dernière étape du processus de production du biogaz. Les bactéries méthanogènes ne

fonctionnent que dans un milieu absolument anaérobique. Elles sont inhibées ou meurent en présence d'oxygène, même en petites quantités. Toutes les espèces de bactéries méthanologènes peuvent convertir le dioxyde de carbone, certaines transforment l'hydrogène et quelques-unes peuvent également transformer l'acide acétique. Seule une espèce de bactéries transforme le méthanol. Environ 70% du méthane est issu de la transformation de l'acide acétique produit en troisième phase alors que les 30% restants sont issus du dioxyde de carbone et de l'hydrogène.

Les bactéries apprécient leur petit confort...

Tout comme les êtres humains, les bactéries accomplissent leur travail de manière plus satisfaisante et dans des meilleurs délais si elles bénéficient de conditions de vie idéales. Elles survivent, mais sont inactives en dessous de 3 à 4 degrés, par exemple. La température a dès lors une grande influence sur le processus de digestion. Plus elle est élevée, plus la décomposition et la production de gaz augmentent. On recense trois grandes plages de température offrant des conditions idoines à des bactéries correspondantes:

- Les souches psychrophiles fonctionnent de manière optimale à basses températures, inférieures à 25 degrés.
- Les mésophiles apprécient les températures moyennes, de 25 à 45 degrés.
- Les souches thermophiles fonctionnent le mieux à des températures supérieures à 45 degrés.

Le processus de dégradation peut être ralenti ou arrêté complètement par des subs-



Il faut des installations assez complexes pour que la chaleur produite puisse être utilisée de manière optimale dans l'ensemble du système.

tances inhibitrices. C'est le cas lorsque des résidus d'herbicides, d'antibiotiques, de désinfectants, de sels ou de métaux lourds entrent dans le digesteur par l'entremise des substrats végétaux et/ou du lisier.

... et un pH optimal

Comme dans de nombreux processus, le potentiel hydrogène (pH) du milieu de fermentation affecte l'activité des bactéries. Les bactéries hydrolysantes (première phase) et acidifiantes (deuxième phase) ont une activité optimale dans un environnement acide de pH 4,5 à 6,3. Les bactéries acétogènes et méthanologènes ne peuvent tolérer qu'un pH neutre à légèrement alcalin de 6,8 à 8,0. Cette différence de plage d'activité optimale suggère l'utilisation de

deux digesteurs, soit un digesteur fonctionnant de manière thermophile et l'autre de manière mésophile.

Sous-produits

Le biométhane ou gaz naturel renouvelable est similaire au gaz naturel. Il s'agit d'un combustible propre et neutre en CO₂ qui constitue donc une bonne alternative aux combustibles fossiles. Le biométhane purifié pourrait également être injecté dans le réseau de gaz naturel ou transformé en gaz naturel comprimé. En Suisse, ce n'est cependant pas une option pour une installation de biogaz agricole. Le biogaz provenant du substrat d'une installation de biogaz est toujours contaminé par des éléments plus ou moins indésirables qu'il faut éliminer afin qu'ils n'endommagent pas l'installation, le système de cogénération notamment.

Le gaz sale

Le biogaz est un combustible précieux mais, par rapport au gaz naturel, son pouvoir calorifique est moindre; il est surnommé «gaz sale». La grande différence entre le biogaz et le gaz naturel fossile est leur origine. Le biogaz ne contient que 50 à 70% de méthane (CH₄), cette proportion atteint 90% dans le gaz naturel. Le biogaz contient aussi entre 25 et 45% de dioxyde de carbone (CO₂).

Le biogaz n'est donc pas du biométhane pur à proprement parler car, lors du processus de digestion, d'autres composés tels que le dioxyde de carbone, l'air, le sulfure d'hydrogène (H₂S), l'hydrogène



L'unité de cogénération remplacée à la suite d'un agrandissement d'installation peut continuer à être utilisée comme unité annexe ou de réserve.



L'unité de cogénération est souvent considérée comme le cœur d'une installation de biogaz.

(H₂), des composés organiques volatils et des siloxanes¹ sont également produits. Pour atteindre le degré de pureté du gaz naturel, plusieurs technologies sont utilisées pour filtrer les composants indésirables, comme le lavage aux amines, l'adsorption par inversion de pression, le lavage à l'eau, le lavage physique avec solvant organique, la distillation cryogénique et l'épuration membranaire à triple module. Chaque technologie présente des propriétés et une efficacité différentes.

Épuration du biogaz en gaz naturel

Comme mentionné ci-dessus, le biogaz est d'abord considéré comme un gaz sale devant être purifié de certains composés indésirables. Pour ce faire, il existe différents procédés:

- Le lavage aux amines

Une solution de lavage chimique lie le CO₂ et le sépare du gaz. Le principe de fonctionnement est l'absorption chimique². Pour cela, le CO₂ traverse une colonne de lavage de bas en haut. La solution de lavage s'écoule de haut en bas à contre-courant du gaz avant d'être extraite du fond de la colonne de lavage, régénérée puis réinjectée pour un nouveau lavage. La perte en méthane est inférieure à 0,1 % et la pureté du biométhane supérieure à 99 %.

- La technologie membranaire

Dans le système d'épuration par membranes, l'humidité, le sulfure d'hydrogène et les autres impuretés sont

d'abord filtrés dans un prénettoyeur. Le sulfure d'hydrogène est éliminé du biogaz à l'aide d'un filtre à charbon actif. L'eau est éliminée en refroidissant le biogaz à quelque 5 degrés à l'aide d'un refroidisseur. Le gaz est ensuite comprimé à la pression requise pour être traité dans les modules à membrane. Les membranes sont faites de plastiques à base de polymères haute performance. Lorsqu'elles sont sous pression (de 10 à 16 bars), elles retiennent le méthane, tandis que le CO₂ les traverse. La séparation membranaire s'effectue généralement sur la base de trois modules. La chaleur issue du séchage, du compresseur et du refroidisseur, peut être récupérée grâce à un système de récupération de chaleur.

La technologie membranaire utilisée est à triple modules et présente une très faible perte en méthane (<0,5 %). Le principe de fonctionnement est basé sur le principe de la perméation physique³. La récupération et la liquéfaction du CO₂ représente une source de revenu supplémentaire car le CO₂ liquide peut être utilisé par l'industrie alimentaire.

- Vapeur d'eau

Le biogaz contient une quantité relativement importante de vapeur d'eau qui doit être éliminée pour éviter la formation de condensats nocifs et augmenter l'efficacité de la cogénération. Cela se fait par séchage, en abaissant la température du gaz jusqu'à ce que l'humidité se condense en eau qui peut ensuite être éliminée.

Sous-produits riches

Pour l'utilisation ultérieure des sous-produits issus de la fermentation, c'est-à-dire du «lisier de biogaz», il existe des directives claires dans les «Principes pour la fertilisation des cultures agricoles en Suisse» (PRIF 2017). Le facteur décisif est l'origine du substrat utilisé. Le digestat provenant de digesteurs agricoles est considéré comme un engrais recyclé si le fumier de ferme est fermenté avec plus de 20 % de matières d'origine non agricole. C'est également le seuil d'utilisation du «lisier de biogaz» dans les exploitations biologiques. Déterminée par la matière première initiale, la composition du digestat peut varier considérablement. En général, la teneur en azote du lisier de biogaz est plus élevée que celle du lisier non fermenté. Il est presque inodore et ses meilleures propriétés d'écoulement facilitent son épandage. Les analyses simplifient et optimisent la fumure.

Conclusion

Le seul fait que quatre phases de fermentation se déroulent dans un ou deux digesteurs et dans le respect de modalités strictes montre que l'exploitation d'une installation de biogaz exige beaucoup de doigté. De nombreux facteurs contribuent au succès économique d'une installation de biogaz. Les investissements élevés ne sont intéressants que si tout a été pensé correctement dès la phase de planification et si l'installation peut être exploitée de manière rentable dès sa mise en service.

1) Les siloxanes deviennent un problème lors de leur combustion (par exemple dans la cogénération) car il se forme de la silice à l'état solide (du sable) dont la présence entraîne l'usure précoce des pièces mobiles.

2) Absorption: processus chimique consistant à absorber ou à dissoudre un atome, une molécule ou un ion.

3) Perméation: processus par lequel un perméat (liquide, gaz ou vapeur) pénètre un solide (Wikipédia).

Sources et bibliographie

- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, soit Comité pour la technique et le bâtiment dans l'agriculture), Darmstadt (D), www.ktbl.de
- Cahier Ktbl n° 88: «Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen»
 - Cahier Ktbl n° 97: «Clevere Landwirte geben Gas»
 - Le guide du biogaz (magazine Joule)
 - Installation Halbmil Biogas GmbH, Coire