

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 57 (1995)
Heft: 3

Artikel: Production de biogaz à partir de fumier solide : développement d'une installation de biogaz en système continu pour la fermentation de fumier riche en paille
Autor: Baserga, Urs / Egger, Kurt / Wellinger, Arthur
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1084650>

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>

Production de biogaz à partir de fumier solide

Développement d'une installation de biogaz en système continu pour la fermentation de fumier riche en paille

Urs Baserga, Kurt Egger et Arthur Wellinger, INFOENERGIE, c/o Station fédérale de recherches en économie et technologie agricole (FAT), CH-8356 Tänikon

Une grande partie des exploitations agricoles produisent non seulement des excréments d'animaux liquides, mais également du fumier solide. Selon le système d'évacuation ou de stabulation en place, l'engrais de ferme est composé soit uniquement de matière solide, soit d'un mélange de fumier solide et de lisier. Les installations agricoles de biogaz traditionnelles étant conçues exclusivement pour produire du biogaz à par-

tir d'engrais de ferme liquides, elles ne permettent pas de mettre à profit le potentiel de biogaz du fumier.

L'installation pilote réalisée, servant à la fermentation continue du fumier solide, est composée d'une cuve cubique en acier d'un volume de 9,6 m³. Le digesteur est chargé de fumier par le haut par un système à piston. Le fumier est ensuite fermenté selon le système en continu. L'évacuation

de la matière fermentée s'effectue à l'aide d'un fond mouvant et d'une vis sans fin. L'installation pilote ayant fait ses preuves quant à la fiabilité, à la stabilité du processus et au rendement énergétique, ce concept d'installation peut être conseillé pour produire du biogaz à partir de fumier solide. Dans des conditions de la pratique, les frais d'investissement et d'exploitation d'une telle installation sont comparables à ceux d'une installation à lisier. Or, grâce à la fermentation supplémentaire de la paille, son rendement énergétique est d'environ 50 à 70% supérieur. Le rapport entre le coût et le rendement est nettement meilleur en fermentation de fumier solide que dans les systèmes à lisier, où ne sont fermentés que les excréments d'animaux.



Fig. 1. Installation pilote Anacom servant à la production de biogaz à partir de fumier solide.

Contenu	Page
Problème	25
Fermentation des matières solides	25
Installation pilote Anacom	
- Concept	27
- Exploitation	28
- Valeurs caractéristiques	29
Installations de la pratique	
- Dimensionnement	31
- Frais et rendement	32
Conclusions	32
Bibliographie	32

Problème

En Suisse, à l'heure actuelle, il existe quelque 140 installations agricoles de biogaz qui fonctionnent presque exclusivement au lisier (INFOENERGIE, 1992). Grâce aux recherches et au développement intensifs réalisés au cours des dix ans passés, la technologie de fermentation du lisier peut être considérée aujourd'hui comme mûrie et fiable. Or, dans une grande partie des exploitations agricoles, une part importante des excréments d'animaux sont produits sous forme solide (fumier). En Suisse, environ 70 % des excréments de bovins sont évacués à l'aide de systèmes à fumier solide. Par rapport au cheptel total, environ un tiers des déjections de bovins produites consiste en fumier, le reste en lisier. Dans l'élevage de jeune bétail, la part des systèmes à fumier solide est encore plus importante (Kaufmann, 1993). Du point de vue de la technique de procédé d'un digesteur de biogaz, les exigences ne sont pas les mêmes pour la fermentation de matières solides ou de lisier. Ainsi, les digesteurs traditionnels à lisier ne permettent pas de mettre à profit le potentiel de biogaz du fumier.

Un projet de recherche d'une durée de plusieurs années avait pour but principal de développer une installation pilote servant à la fermentation continue de fumier solide, permettant de fermenter le fumier sans traitement préalable et de l'épandre sur les champs à l'aide d'un épandeur de fumier conventionnel.

Fermentation des matières solides

Principaux systèmes possibles

En ce qui concerne la fermentation des matières solides, on distingue les systèmes à une et ceux à deux étapes. Dans les systèmes à une étape, l'hydrolyse, l'acidogenèse et la méthanisation se déroulent dans le même récipient (voir fig. 3), tandis que dans les procédés à deux étapes, l'hydrolyse et l'acidogenèse sont séparées de la méthanogenèse. Quant à la fermentation méthanique, elle peut avoir lieu soit en discontinu (batch) soit en continu.

Système discontinu

En système discontinu, le digesteur est chargé de matière fraîche et fermé hermétiquement. Pendant une durée de fermentation de deux à quatre semaines (selon le genre de substrat utilisé), la substance fermentable se dégrade. Le digesteur est alors vidé et de nouveau chargé de matière fraîche. Contrairement au système continu, la pro-

duction et la composition du gaz ne sont pas constantes en système discontinu. Pour cette raison, plusieurs digesteurs sont opérés parallèlement et de manière décalée (Membrez, 1994).

Systèmes continus

Dans les installations en système continu, le digesteur est chargé quotidiennement de substrat frais, un volume identique étant expulsé par la matière fraîche ajoutée ou évacuée de manière active. La fig. 2 montre les principaux types d'installations en système continu produisant du biogaz à partir de matières solides:

En fermentation sèche à une étape, des matières solides légèrement ou non diluées sont fermentées selon le système continu (teneur en MS: 25 – 35%). Dans la pratique, il existe déjà quelques installations qui fonctionnent selon ce procédé. Elles sont principalement utilisées pour la fermentation de la fraction organique des déchets ménagers.

Dans le **système à canal de fermentation**, la matière solide, placée dans un récipient perforé, est transportée à travers une phase liquide et fermentée. Le canal de fermentation peut également être opéré en tant que réacteur

Définitions

Anacom

Anaerobic composting of manure

MS

Matière sèche

MO

Matière organique

Fermentation mésophile

Température de fermentation entre 28 et 38 °C

Fermentation thermophile

Température de fermentation entre 50 et 65 °C

Hydrolyse

Première étape de la fermentation méthanique (liquéfaction)

Temps de rétention

Durée moyenne de rétention du fumier ou du lisier dans le digesteur

Charge volumique

Quantité de matière organique chargée par jour par m³ du volume du digesteur

Rendement en gaz

Quantité de biogaz produite par rapport à la quantité de matière organique chargée

Production de gaz

Quantité journalière de biogaz produite par le digesteur

Production spécifique de gaz

Quantité journalière de gaz produite par m³ du volume du digesteur (capacité du digesteur)

CCF

Couplage chaleur-force

Energie de procédé

Energie nécessaire au préchauffage du substrat et à la compensation des pertes de chaleur dues au rayonnement de la cuve, à la distribution et au stockage de l'énergie

Rendement énergétique net

Rendement énergétique de l'installation de biogaz après déduction de l'énergie de procédé

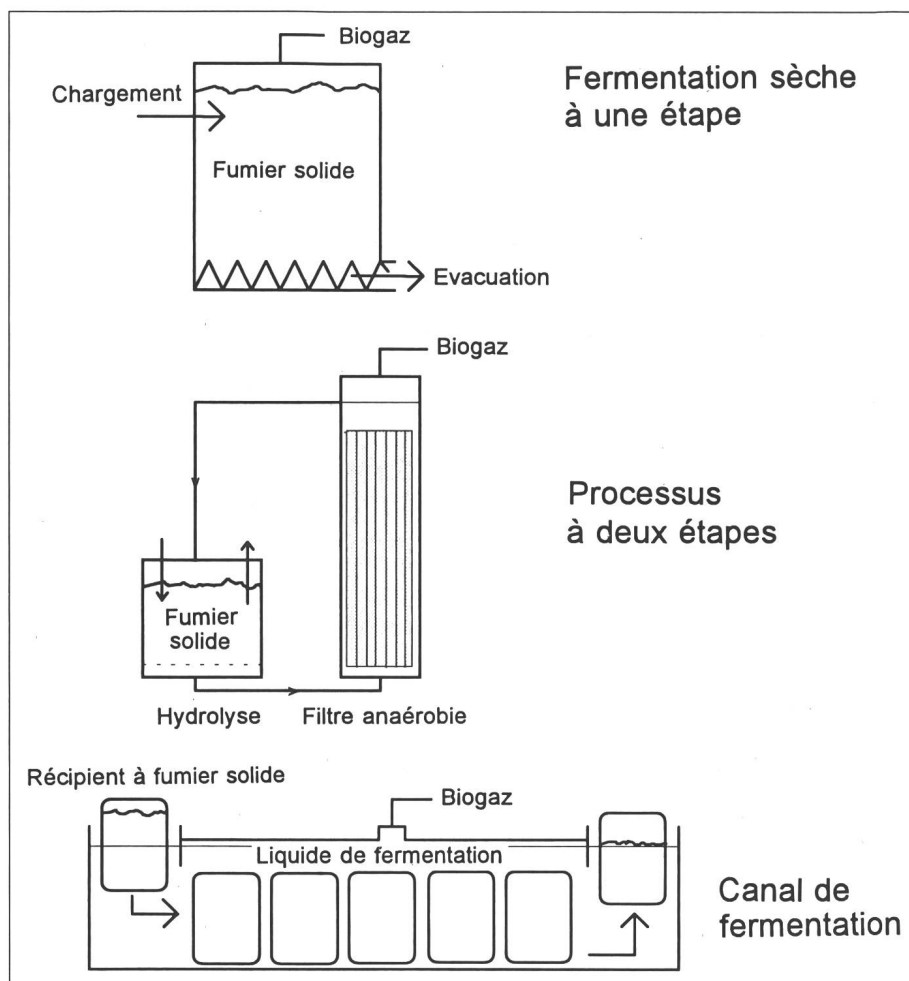


Fig. 2. Types d'installations en système continu produisant du biogaz à partir de matières solides.

hybride, fermentant selon le système continu non seulement la matière solide contenue dans le récipient, mais également le liquide.

Le **système à deux étapes** se distingue par la séparation spatiale de l'hydrolyse («liquéfaction» des matières solides) et de la méthanogenèse. Dans la première étape, le liquide de fermentation traverse les matières solides et se charge de composés solubles. Dans le réacteur anaérobie à grande puissance, ces composés sont ensuite transformés en biogaz. Après la méthanisation, le liquide est recirculé et peut se charger de nouveau des produits solubles de dégradation issus de la première étape.

Systèmes continus de fermentation du fumier solide

A l'aide d'essais fondamentaux biologiques et relatifs à la technique de

procédé, effectués dans des conditions de laboratoire, on a examiné lesquels des systèmes de fermentation représentés dans la fig. 2 se prêtent à la production de biogaz à partir de fumier solide. Les essais de laboratoire ont donné des résultats prometteurs pour la **fermentation sèche** et pour le **canal de fermentation**. Le concept de la fermentation à deux étapes, par contre, s'est révélé inapproprié en raison du rendement en gaz trop faible (Baserga, 1994). Par la suite, deux installations pilotes correspondantes, destinées à la fermentation de fumier solide, ont été construites et exploitées sur le terrain de la FAT. Le présent rapport contient les résultats des essais relatifs à l'installation Anacom, construite en 1990. Les résultats ainsi que les expériences gagnées lors de l'exploitation du canal de fermentation, construit en 1992, feront l'objet d'une publication ultérieure.

Fermentation méthanique

Lors de la décomposition anaérobie de lisier et de fumier, les composants organiques, tels que les lipides, les hydrates de carbone et les composés protéiques, sont fractionnés en leurs éléments constitutifs de faible poids moléculaire pour finalement être transformés en biogaz – un mélange de méthane (60 à 70%) et de dioxyde de carbone (30 à 40%). Le processus de dégradation se déroule en plusieurs étapes, chaque étape faisant appel à des groupes de bactéries spécifiques. Les bactéries méthanogènes proprement dites constituent le dernier maillon de la longue chaîne microbienne. Dans la nature, ce processus biologique se produit partout où il y a absence d'oxygène et une humidité assez élevée (voir fig. 3).

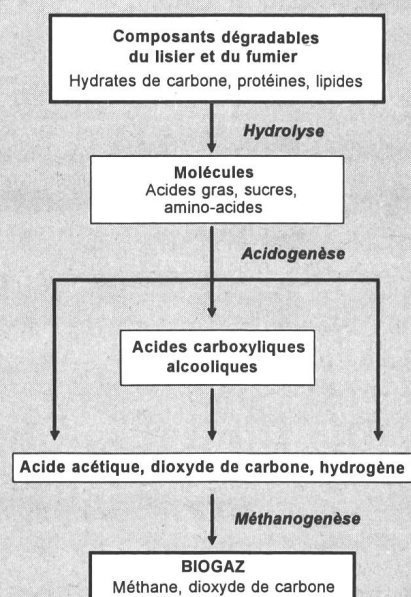


Fig. 3. Représentation schématique du processus de dégradation de la matière organique en biogaz à plusieurs étapes.

Installation pilote Anacom

Concept de l'installation

L'installation pilote Anacom fonctionne selon le système de fermentation sèche en continu (**Anacom: Anaerobic composting of manure**). Le digesteur est chargé de fumier par un système à piston. La fermentation se déroule selon le système continu. La matière fermentée est évacuée à l'aide d'un fond mouvant et d'une vis sans fin (voir fig. 4).

Le fumier est évacué à la brouette et déversé dans la trémie du piston (1) après avoir été pesé. Le piston pousse le fumier dans le tuyau d'amenée (2) à double paroi qui sert d'échangeur de chaleur. Le fumier est alors préchauffé à la température requise. Un répartiteur (9) entraîne le fumier frais dans le digesteur (8). Il traverse la cuve de haut en bas (principe «down-flow») et est finalement évacué par une vis sans fin (5), alimentée en matière fermentée par le fond mouvant (6), qui le dépose sur le tas de fumier (7). Une paroi chauffante placée dans la partie inférieure du digesteur sert à compenser les pertes de chaleur.

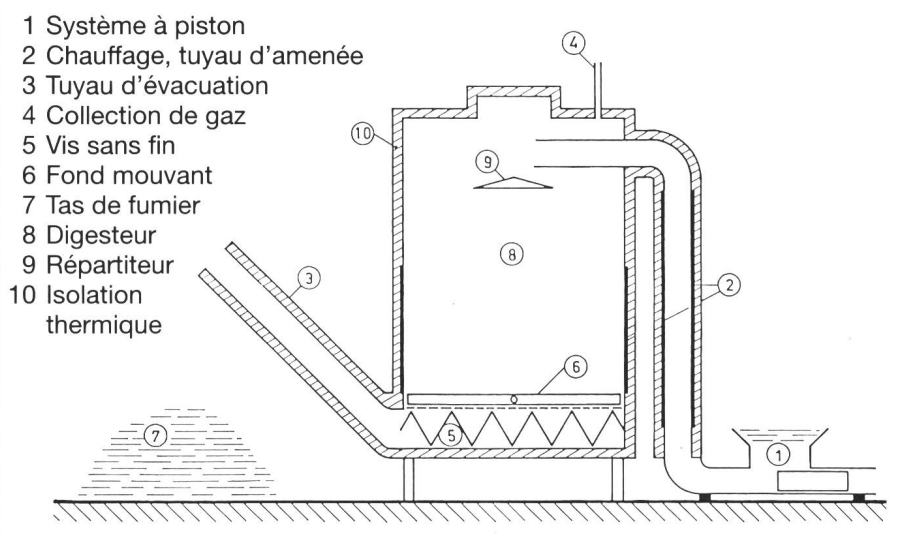
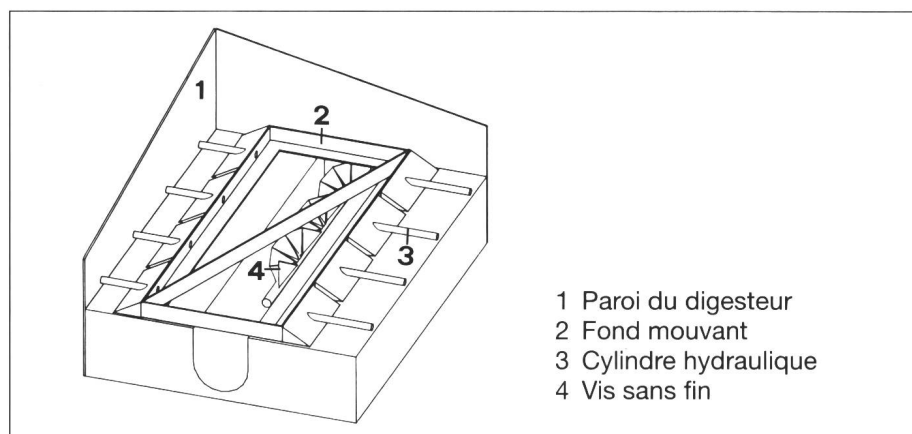


Fig. 4. Représentation schématique de l'installation pilote Anacom.



Composants de l'installation

Le **digesteur** vertical d'une contenance totale de 9,6 m³ comporte une cuve cubique en acier d'une surface de base de 2,0 m x 1,5 m et d'une profondeur de 3,2 m. La cuve est isolée avec des tapis en laine de roche d'une épaisseur de 12 cm. La couche isolante est recouverte d'un manteau métallique ventilé en tôle d'acier ondulée. Sur la face supérieure du digesteur se trouve le trou d'homme d'un diamètre de 60 cm. Le tuyau d'amenée entre dans le digesteur par la paroi latérale, directement sous le plafond, et aboutit au centre de la cuve. Au fond du digesteur, dans l'axe prolongé de la vis sans fin, est placé le tuyau d'évacuation isolé (3). Le **chargement** s'effectue à l'aide d'un système à piston hydraulique, qui, à travers le tuyau d'amenée, transporte le fumier dans le digesteur. Le fumier

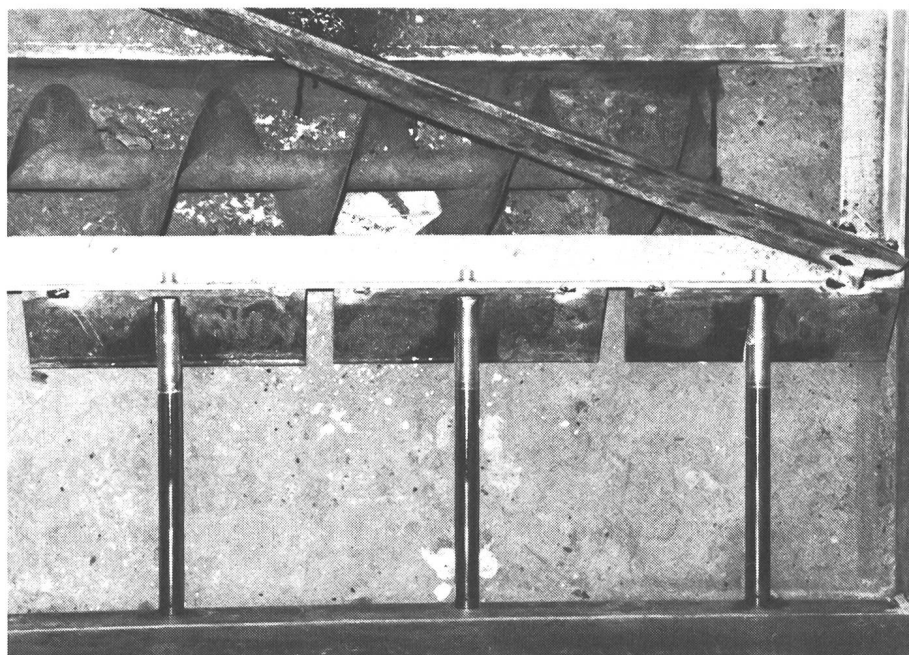


Fig. 5a (en haut) et b (en bas). Le système d'évacuation (fond mouvant): le fumier fermenté est évacué à l'aide d'une vis sans fin alimentée par un fond mouvant.

frais est évacué à la brouette, puis pesé et déversé dans la trémie. Le tuyau d'amenée à double paroi a une contenance d'environ 250 kg de fumier frais, qui est préchauffé pendant l'intervalle de chargement (généralement 24 heures). La durée du chargement proprement dit se situe entre 10 et 15 minutes.

La construction du fond mouvant servant à l'évacuation du fumier fermenté est représentée dans les fig. 5a et 5b. Au milieu du fond du digesteur se trouve la vis électrique sans fin, qui est encastrée dans un canal encastré dans le sol.

Exploitation de l'installation

Substrat

Comme substrat, on a utilisé du fumier solide provenant de deux box sur plan incliné, logeant chacun sept bœufs à l'engrais (250–500 kg de poids vif). Ces box font partie de l'étable expérimentale à jeune bétail de la FAT, située près de l'installation pilote (Minonzio, 1992). La litière consistait de paille de blé longue pressée d'une longueur de 40 à 50 cm. La quantité de litière utilisée par animal et par jour s'élevait à environ 2,5–3 kg de paille longue. Chaque jour, l'installation a été chargée du fumier produit dans les box et des fèces et de l'urine provenant de l'aire d'affouragement. Selon l'âge et le nombre d'animaux, la production journalière de fumier était comprise entre 200 et 300 kg.

Mise en marche du digesteur

Au cours de l'exploitation expérimentale, l'installation a dû être vidangée et remise en service plusieurs fois. Il s'est alors montré que la mise en marche du digesteur à fumier solide ne pose aucun problème, ni en exploitation thermophile (50 °C), ni en exploitation mésophile (32 °C). La courbe représentée dans la fig. 6 montre comment se déroule la production de gaz à 50 °C, lors de la remise en marche de l'installation après une interruption de l'exploitation. Le digesteur a été chargé de 2 m³ de fumier solide, auquel on a ajouté environ 200 litres de lisier d'ensemencement provenant de l'installa-

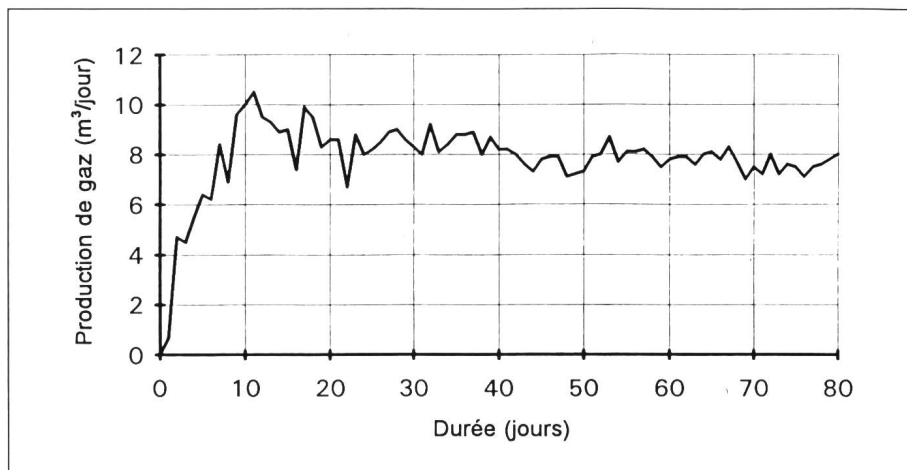


Fig. 6. Evolution de la production de gaz lors de la mise en marche du digesteur à fumier solide: la mise en marche du digesteur ne pose pas de problème. La production de gaz commence immédiatement après l'addition d'environ 10 % de substrat d'ensemencement (lisier ou boues d'épuration).

tion de biogaz à système d'accumulation de la FAT, opérée en conditions psychrophiles (20 °C) (Sutter, 1984). Par la suite, du fumier frais est venu s'ajouter chaque jour. Comme le montre la fig. 6, la production de gaz commence immédiatement après la mise en marche de l'installation pour atteindre un taux stable après environ dix jours. Dans un autre essai de mise en marche, cette fois-ci en conditions mésophiles, on a répété la même procédure utilisant de la boue d'épuration d'une STEP communale. Le comportement lors de la mise en marche était identique à celui observé lors de l'ensemencement avec du lisier.

Répartition de la température et du temps de rétention dans le digesteur

Des mesures de température ont montré que la répartition à l'intérieur du digesteur sans dispositif de brassage est suffisamment homogène. Les écarts entre la température mesurée et la température exigée qui se situaient entre 1 et 2 °C n'ont pas posé de problème au niveau du processus de biodégradation.

Pour savoir plus des conditions d'écoulement à l'intérieur du digesteur, on détermine le temps de rétention du substrat de fermentation. A cet effet, une quantité déterminée d'une substance de marquage est incorporée à la charge journalière de substrat frais. En mesurant la concentration de la

substance contenue dans la matière évacuée, qui dépend du temps de rétention à l'intérieur du digesteur, on obtient des indications sur le véritable spectre du temps de rétention. De plus, des courts-circuits du substrat et la présence de zones inactives (volumes morts) peuvent être reconnus. En chargeant l'installation, nous avons donc incorporé à une portion journalière de fumier une quantité déterminée de pailles en plastique (200 à 300 pièces). Tout au long des semaines suivantes, après être séparées des charges journalières évacuées, les pailles ont été comptées. A titre d'exemple, les répartitions mesurées à un temps de rétention exigé de respectivement 16 et 22 jours sont représentées dans la fig. 7. Le graphique montre que, partant des conditions pratiques, l'écoulement à l'intérieur du digesteur Anacom est plutôt bon. Le taux de pailles retrouvées se situait dans l'ensemble des essais entre 80 et 90 %. Supposant qu'une grande partie des pailles non retrouvées soient manquées lors du tri du fumier, et qu'une autre partie reste accrochée au cadre du fond mouvant (observation faite lors de la vidange du digesteur), on peut exclure avec quelque certitude que des volumes morts liés au système se sont formés à l'intérieur du digesteur.

Fiabilité

Les plus grands problèmes entravant la fiabilité de l'installation se situaient au niveau du système d'évacuation.

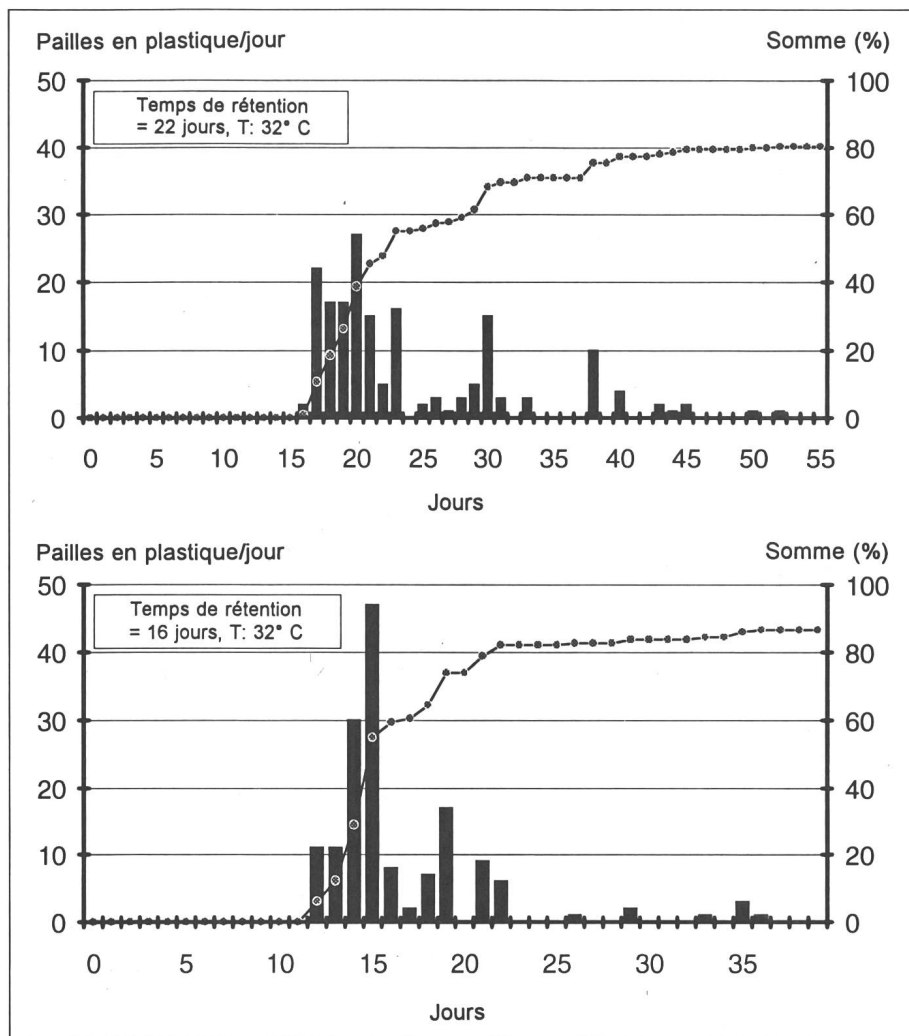


Fig. 7. Répartition du temps de rétention à l'intérieur du digesteur à fumier solide sans brasseur: partant des conditions pratiques, le digesteur présente un bon écoulement.



Fig. 8. Chargement d'un épandeur de fumier avec du fumier fermenté: l'épandage de la matière fermentée sur les champs peut se faire sans problème à l'aide d'épandeurs de fumier conventionnels.

Après une courte durée de service déjà, la construction initiale a causé un blocage du système, imposant des modifications au niveau du fond mouvant. Le système modifié (fig. 5) a fonctionné sans problème pour le reste de la durée d'exploitation d'environ un an et demi. De même, le système de chargement par piston hydraulique s'est avéré fiable et capable de fonctionner. Pendant toute la durée d'exploitation expérimentale, il n'y a eu aucun problème de chargement du fumier frais. Le concept de préchauffage externe du fumier a également fait ses preuves.

Epandage du fumier fermenté

Dans la fig. 8, sur la plate-forme à fumier située près de l'installation à fumier solide, on reconnaît bien le fumier fermenté à sa teinte foncée. Malgré une diminution de la teneur en MS d'environ 20 à 25 % durant le processus de décomposition, le fumier fermenté peut sans problème être évacué et épandu sur les champs à l'aide d'épandeurs de fumier traditionnels.

Valeurs caractéristiques de l'installation

Production de gaz

Pour les temps de rétention examinés, allant de 16 à 30 jours, les rendements réalisés à une température de 50 °C ne dépassaient pas celles obtenus en conditions mésophiles, à 32 °C. Selon le temps de rétention, le rendement en biogaz se situait entre 190 et 320 litres par kg de matière organique en exploitation mésophile, et entre 230 et 345 litres en exploitation thermophile (tableau 1). La production spécifique de biogaz s'élevait à 1,5 à 2 m³ par jour et par m³ du volume du digesteur en exploitation thermophile, et à 1,7 à 2,4 m³ par jour et par m³ en exploitation mésophile. La composition du gaz était très constante. Pour les différents temps de rétention examinés, la teneur en méthane se situait entre 51 et 54 % en exploitation thermophile, et entre 56 et 58 % en exploitation mésophile, ce qui signifie qu'à une température de fermentation mésophile, la teneur en énergie du biogaz est d'environ 8 à

Tableau 1. Données de production de gaz de l'installation opérée en conditions thermophiles et mésophiles.

Température de fermentation	°C	32 (mésophile)				50 (thermophile)			
Temps de rétention	Jours	12	16	22	28	16	26	30	34
Substrat	Litière sur plan incliné (engraissement de boeufs, 250 - 500 kg, 2,5 - 3 kg de paille de blé longue par animal et par jour)								
	frais	MS: 16,5 - 19 % / MO: 80 - 83 %							
	fermenté	MS: 13,5 - 15 % / MO: 75 - 78 %							
Dégradation de la MO	25 - 30 %								
Charge volumique	kg MO/m ³ · d	12,3	8,7	6,8	5,4	8,7	5,7	4,4	4,25
Gaz									
Production de Gaz	m ³ /d	8,5	11,0	8,6	9,6	9,5	8,7	8,0	8,8
Teneur en méthane	%	56	58	58	57	51	51	52	54
Production spécifique de gaz	m ³ /m ³ · d	2,4	2,3	1,8	1,7	2,0	1,5	1,4	1,5
Rendement en gaz	l/kg MO	192	266	265	317	230	265	320	345
	l/kg fumier	28,3	39,3	39,0	48,0	33,9	39,5	42,1	51,8
	m ³ /UGB · d	1,8	2,4	2,4	2,9	2,1	2,5	2,6	3,2

10 % plus élevée. Ceci tient au fait qu'à une température inférieure, la dissolution de CO₂ est plus élevée.

Stabilité du processus

Pour contrôler le processus de fermentation, on a déterminé le pH ainsi que les acides gras volatils. En raison des charges volumiques élevées, l'acidité est plus élevée en fermentation de fumier solide qu'en fermentation de lisier. Pour les temps de rétention examinés, la concentration totale d'acide du liquide de fumier était comprise entre 1000 et 5300 mg par litre. Il s'agit de valeurs d'acidité non critiques du point de vue de la stabilité du processus (Kugelman, 1971). Les mesures du pH ont donné des valeurs stables entre 7,5 et 7,7. Cette plage étroite du pH est liée à la capacité de tampon élevée des substrats de lisier et de fumier. Les mesures montrent que, malgré la charge

plus importante, la stabilité du processus de fermentation reste assurée.

Rendements en gaz d'autres types de fumier solide

Les rendements en gaz d'autres types de fumier solide n'ont pas été déterminés dans le cadre de cet essai. Cependant, en comparant les rendements en gaz déterminés de manière expérimentale avec ceux calculés théoriquement (addition de la quantité de gaz produit à partir de chacun des deux composants du substrat, lisier et paille), il a été démontré qu'il était possible d'estimer grossièrement le rendement en gaz pouvant être obtenu à partir d'autres sortes de fumier. Ainsi, le rendement en gaz déterminé dans des conditions expérimentales à une température de 32 °C et à un temps de rétention de 28 jour est 2,9 m³ de biogaz par UGB et par jour (tabl. 1). En cal-

culant le rendement en gaz, on obtient environ 3,3 m³ par UGB et par jour (paille: 250 litre/kg MO, soit environ 1,4 m³/jour et par UGB, lisier de bovins: 400 kg/litre MO, soit environ 1,9 m³/jour et par UGB). La différence peut s'expliquer par le fait que dans le calcul théorique, les influences inhibitrices pouvant entrer en jeu dans la fermentation du fumier solide à teneurs élevées en MS n'ont pas été prises en compte (Basergera, 1994). Pour une analyse plus approfondie, notamment en ce qui concerne la fermentation de fumier stocké ou plus vieux (stabulation sur litière profonde), il vaut la peine de déterminer le potentiel de gaz à l'aide d'un test de fermentation. Des données plus détaillées relatives aux rendements en gaz des déjections d'animaux et des déchets végétaux sont compilées dans le «Biogashandbuch» (Wellinger et al., 1991).

Installations de la pratique

Dimensionnement

Température de fermentation

Les essais ont montré que pour des temps de rétention compris entre 16 et 34 jours, les rendements en biogaz obtenus en fermentation mésophile et thermophile du fumier solide ne dif-

féraient que de manière insignifiante. Par conséquent, le rendement énergétique net est beaucoup plus élevé en exploitation mésophile, le besoin en énergie de chaleur étant plus faible. De plus, la teneur plus élevée en méthane (58 % par rapport à 51 % en fermentation thermophile) a un effet positif sur le bilan énergétique. La température optimale de fermentation devrait se situer entre 30 et 36 °C. Elle doit cependant être déterminée pour chaque installation individuellement, car elle dépend entre autres des conditions particulières de l'exploitation.

Temps de rétention

Contrairement à la fermentation de lisier, où la production de gaz commence à diminuer nettement après 15 à 20 jours de temps de rétention (Baserga, 1984), ce phénomène est moins marqué en fermentation de fumier. Dans l'installation pilote, le rendement obtenu pour le plus long temps de rétention examiné (28 jours) s'élevait à environ 320 litres de biogaz par kg de matière organique. Des études portant sur le système discontinu ont montré qu'en prolongeant la durée de fermentation,

Tableau 2. Production de biogaz et rendement d'une installation à fumier solide de 30 UGB en comparaison d'une installation à lisier (utilisation de l'énergie 100%).

Substrat	Lisier de bovins		Fumier de bovins	
Temps de rétention (jours)	18 jours	28 jours	18 jours	28 jours
Température de fermentation (°C)	30 °C	30 °C	32 °C	32 °C
Volume du digesteur	35 m ³	52 m ³	37 m ³	56 m ³
Production de gaz (m ³ /jour)	51	58	70	86
Production de gaz (m ³ /UGB)	1,7	1,9	2,4	2,9
Rendement en biogaz (l/kg MO)	350	400	260	320
Gaz brut (m ³ gaz/an)	18 549	21 200	25 680	31 310
Energie de procédé (m ³ gaz/an)	4 582	5 014	5 560	6 167
en % du gaz brut	25	23	22	20
Production de courant électrique (kWh/an)	25 600	29 100	33 500	41 000
Production nette de chaleur (MJ/an)	173 400	201 800	240 000	302 000
Rendement (frs./an)	6 770.-	7 760.-	9 030.-	11 150.-

Bases de calcul relatives au tableau 2

Espèce animale:	bovins à l'engrais
Poids des animaux:	320 - 500 kg
Nombre d'animaux:	66
Quantité de lisier:	25 litres par animal et par jour (installation à lisier)
Litière utilisée dans l'étable sur plan incliné:	2,5 kg de paille longue de blé par animal et par jour
Litière sur plan incliné:	27,5 kg par animal et par jour (installation à fumier solide)
Teneur en méthane:	installation à lisier 60 % / installation à fumier solide 57 %
Utilisation du gaz:	couplage chaleur-force (électricité: 23 % / chaleur: 62 %)
Prix de l'énergie:	18 ct. par kWh d'électricité / 4,5 ct. par kWh de chaleur
Valeur k de l'installation de biogaz:	installation à lisier: 0,5 W/m ² K / installation à fumier solide: 0,6 W/m ² K
Densité du fumier:	900 - 1000 kg/m ³

les rendements n'augmenteraient que de manière insignifiante. Pour le dimensionnement d'une installation de la pratique, un temps maximal de rétention de 28 à 30 jours est recommandé.

Frais et rendement d'une installation à fumier solide de 30 UGB

Pour pouvoir évaluer les aspects économiques, les frais et le rendement d'une installation de biogaz à fumier solide conçue pour 30 UGB et ceux d'une installation correspondante à lisier ont été comparés. Les frais d'investissement et d'exploitation du digesteur à fumier solide, y compris les systèmes de chargement et d'évacuation, sont comparables à ceux d'une installation à lisier opérée en système continu (Baserga, 1994). Compte tenu des frais supplémentaires (planification, travaux électriques, utilisation du gaz par couplage chaleur-force), les frais d'aménagement d'une installation à fumier solide se situent dans le même ordre de grandeur que pour une installation à lisier, soit entre frs 4500.- et frs 5800.- par unité gros bétail.

Le tableau 2 offre une comparaison entre les rendements énergétiques d'une installation à fumier solide et d'une installation à lisier. Les calculs ont été effectués pour du lisier complet de bovins et de la litière sur plan incliné de bovins. En ce qui concerne la fermentation de lisier de bovins, le temps de rétention permettant d'obtenir un rendement brut optimal en gaz a été déterminé dans la pratique comme se situant à 18 jours, à une température de 30 °C (Egger, 1991). Quant à la fermentation de fumier solide, il faut compter avec un temps de rétention de 28 jours.

La comparaison montre que la production de biogaz et le rendement énergétique de l'installation à fumier solide sont nettement supérieurs par rapport à l'installation à lisier. A un temps de rétention de 18 jours, le rendement énergétique net de l'installation à fumier solide est d'environ 36 % et à un temps de rétention de 28 jours de 46 % supérieur à celui de l'installation à lisier. Si l'on compare les rendements nets obtenus aux temps de rétention recommandés pour le lisier et le fumier solide (respectivement 18 et

28 jours), la production supplémentaire atteint même quelque 70 %. Ce rendement supplémentaire apportera entre autres des économies au niveau des coûts de l'énergie d'une exploitation agricole. En utilisant une installation TOTEM (couplage chaleur-force) pour la mise en valeur du biogaz, le rendement supplémentaire annuel se chiffre à quelque frs 4400.- pour la fermentation du fumier solide.

Le rendement supérieur obtenu en système à fumier solide s'explique principalement par la production supplémentaire de biogaz liée à la fermentation de la paille. Le pourcentage de rendement supplémentaire par rapport à la fermentation du lisier dépend de l'espèce animale et de la quantité de litière utilisée. En l'occurrence, environ 2,2 kg de la matière organique proviennent des déjections des animaux et environ 2 kg de la paille. Plus le rendement du lisier en biogaz est faible et plus la quantité de litière utilisée est élevée, plus la production supplémentaire liée à l'addition de paille compte. En ce qui concerne l'élevage laitier, l'installation à fumier solide l'emportera encore plus nettement, le rendement en gaz du lisier de bovins laitiers ne s'élevant qu'à environ 200 à 250 litres par kg de matière organique, par rapport à l'engraissement de bovins, où le rendement se situe entre 350 et 400 litres.

Conclusions

L'installation pilote pour la production de biogaz à partir de fumier solide a fait ses preuves. En ce qui concerne la fiabilité (technique de procédé et stabilité du processus de fermentation méthanique), le concept de l'installation réalisée peut être recommandé pour l'utilisation dans la pratique. Les frais d'investissement et d'exploitation d'une installation correspondante de la pratique sont plus ou moins les mêmes que pour une installation à lisier. En fermentant également la paille, le rendement énergétique d'une installation à fumier solide augmente de manière considérable. Le rapport entre le coût et la production nette d'énergie est donc nettement meilleur que dans une installation de biogaz à lisier.

Bibliographie

Baserga, U., Egger, K., Wellinger, A.: Entwicklung einer Pilotanlage (Anacom) zur Vergärung von Festmist. Bundesamt für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm Biomasse, Juli 1994, 42 Seiten.

Baserga, U.: Biogaserzeugung aus Rinderflüssigmist, SWISS BIOTECH, Nr. 2, 19-24, 1984.

Egger, K. et al.: Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft – Planungsgrundlagen. PACER-Dokumentation, Bundesamt für Konjunkturfüragen, Best.-Nr. 724.221.d, Bern 1991.

INFOENERGIE: Biogasanlagen in der Schweiz. Adressliste mit Verzeichnis der Hersteller und Planungsbüros. 8. Auflage, Juli 1992.

Kaufmann, R.: Forschung und Praxis der Festmistwirtschaft in der Schweiz (Teil 1: Verfahrenstechnische und praktische Erfahrungen). KTBL Arbeitspapier 182: Umweltverträgliche Verwertung von Festmist, 1993, KTBL, Darmstadt, 153 Seiten.

Kugelman I.J. and Chin, K. K.: Toxicity, Synergism and Antagonism in Anaerobic Waste Treatment Processes. Adv. in Chemistry Series, 105, pp 55-90, 1971.

Membrez, Y.: Systeme modulaire de methanisation en discontinu: Rapport final. Office Fédéral de l'Energie (OFEN), 1994.

Minonzio, G. et al.: Stabulation libre sur plan incliné. Comptes-rendus de la FAT, 8356 Tänikon, No 35, 1992, 104 pages.

Sutter, K., Wellinger, A.: Fosse à lisier en tant qu'installation de biogaz. Rapport FAT No 304, 1987, 8 pages.

Wellinger, A., Baserga, U., Edelmann W., Egger K., Seiler, B.: Biogas-Handbuch, 2. Auflage, Verlag Wirz AG Aarau, 1991, 178 Seiten.