

Production de biogaz par les exploitations agricoles en Allemagne

L'Allemagne est un leader mondial dans le domaine de la méthanisation. Cela est dû au fait que le pays, dans sa volonté d'abandonner l'énergie nucléaire, a énormément valorisé la recherche en nouvelles technologies pour les énergies renouvelables. Quelles sont ces découvertes ? Un système de rémunération visant à encourager le développement de la méthanisation a également été installé. Quels en sont les effets ?



La mise en valeur de nouvelles sources d'énergie et la migration des structures d'approvisionnement existantes, de matières premières d'origine fossile vers des vecteurs d'énergies renouvelables, représentent une mission d'avenir essentielle pour une nation industrialisée comme l'Allemagne. Par conséquent, parmi les objectifs politiques, il a déjà été établi en 2008 la nécessité d'augmenter la part des énergies renouvelables à au moins 35 % de l'approvisionnement en électricité, 14 % de la production de chaleur et 10 % de la consommation de carburant d'ici 2020, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre de 40 % par rapport à 1990. Dans le contexte de l'accident de réacteur au Japon en 2011, il fut convenu d'abandonner la production d'énergie nucléaire, ce qui entraîne le besoin d'accélérer le renforcement de la production d'énergies renouvelables et de développer de nouvelles techniques innovantes. La méthanisation à partir de cultures et de déchets d'origine agricole prend une place centrale, puisque le biogaz peut être utilisé, à lui seul, pour produire de l'électricité ou de la chaleur, ainsi qu'en tant que carburant et substitut du gaz naturel. Contrairement à d'autres énergies renouvelables, telles que le courant éolien ou solaire, le biogaz peut être produit et stocké en fonction des besoins, indépendamment des conditions météorologiques. Par conséquent, il peut être utilisé non seulement pour alimenter une charge de base, mais aussi, dans le cadre des besoins électriques, pour compenser les pointes de charge journalières ainsi que les fluctuations dues aux intempéries dans la production d'énergie éolienne et solaire. Dans la majorité des cas, le biogaz en Allemagne est produit dans des installations

agricoles employant des déchets venant de l'exploitation elle-même, ainsi que des plantes énergétiques cultivées spécialement pour la méthanisation. Grâce à des conditions économiques et politiques généralement favorables, la méthanisation a continuellement augmenté depuis le début des années 1990, sachant en particulier que la rémunération légalement garantie, introduite en 2000 avec la loi sur les énergies renouvelables (EEG, *Erneuerbare-Energien-Gesetz*), de l'électricité produite sur vingt ans a constitué une incitation considérable pour le renforcement de la méthanisation (EEG, 2012). Pour des raisons économiques et écologiques, des procédés et des techniques sont développés continuellement depuis, si bien que l'Allemagne occupe aujourd'hui une place de leader mondial dans les technologies du biogaz, tout en étant le premier producteur de biogaz en Europe, avec une part de marché de 50 %. Dans ce contexte, les développements en cours à ce jour sont expliqués ci-après ainsi que l'état de la production et de la consommation de biogaz en Allemagne.

La méthanisation

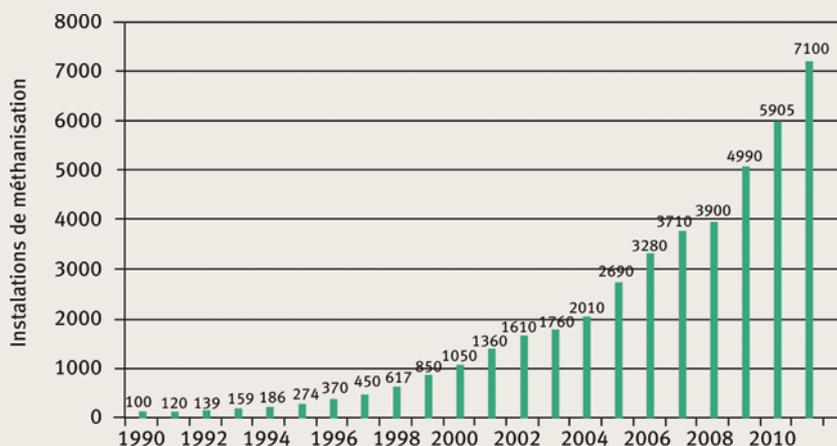
Fin 2011, l'Allemagne comptait environ 7 100 installations de méthanisation, avec une puissance électrique globale installée de 2 780 MW (Association allemande du biogaz, 2011). La production annuelle nette d'électricité s'élevait à 18 milliards kWh, couvrant environ 3,1 % de la consommation électrique en Allemagne. La figure 1 représente l'évolution du nombre d'installations de méthanisation, qui a augmenté brusquement depuis 2008, suite à l'introduction d'une hausse de rémunération pour l'emploi de plantes énergétiques.

Depuis 2000, la puissance des installations individuelles n'a cessé d'augmenter et s'élève actuellement à environ 400 kW_{el}. Après 2004, de plus en plus d'installations avec une puissance d'environ 500 kW_{el} ont été mises en place, en raison de la structure de rémunération de l'EEG. À partir de 2008, des installations plus petites avec des puissances de 150 à 300 kW_{el} ont également été développées, en raison de la promotion accrue des installations de méthanisation dans la plage de puissance inférieure et de l'utilisation croissante de déjections animales. Depuis l'amendement de l'EEG du 1^{er} janvier 2012, une rémunération spéciale à hauteur de 0,25 €/kWh est versée pour les nouvelles installations d'une taille inférieure à 75 kW_{el}, dans la mesure où le substrat utilisé se compose d'au moins 80 % en poids de lisier ou de déchets. Le nombre de petites installations de ce type devrait nettement augmenter dans les années à venir. Un aperçu de la structure de rémunération de l'EEG, applicable depuis le 1^{er} janvier 2012, est fourni dans le tableau 1.

La rémunération de base dépendante de la puissance est complétée par différentes primes, en fonction du type de matières premières employées, ainsi que par une prime de traitement du gaz pour la transformation du biogaz en biométhane. La classe de rémunération des matières premières I comprend les matières premières d'origine végétale (plantes énergétiques), tandis que la classe II comprend les matières premières particulièrement avantageuses du point de vue écologique, telles que le lisier et les matières provenant de l'entretien des paysages. Les installations agricoles emploient majoritairement des plantes énergétiques cultivées de manière ciblée (matières premières végétales = NawaRo), ainsi que des effluents d'élevage (lisier et déchets solides). Selon une enquête de 2010 effectuée par le centre de recherche allemand pour la biomasse auprès des exploitants, les plantes énergétiques représentent 46 % et les effluents d'élevage 45 % (DBFZ – *Deutsches Biomasseforschungszentrum*, 2010). Comme le montre la figure 2, les résidus de récolte et de fourrage, les résidus industriels et les biodéchets municipaux ne jouent qu'un rôle relativement faible. L'intrant NawaRo est composé essentiellement d'ensilage de maïs, tandis que l'ensilage d'herbe, l'ensilage de blé en plantes entières, le blé (grain) et diverses autres plantes énergétiques n'ont qu'une signification mineure. La préférence pour le maïs repose principalement sur un rendement élevé en biogaz par tonne de matière fraîche et par hectare, sur l'utilisation réduite de produits phytosanitaires en comparaison avec le blé, ainsi que sur la technique bien établie pour la récolte et le stockage à faibles pertes dans un silo.

L'utilisation d'herbe nécessite plus d'efforts pour la récolte et le transport, ainsi que des techniques spéciales pour le mélange du réacteur. Le figure 3 montre la fréquence d'utilisation des différentes cultures énergétiques. Actuellement, 800 000 ha sont consacrés à la culture de plantes énergétiques pour la production de biogaz. Cela correspond à environ 4 % de la surface agricole exploitée (FNR – *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe*, 2011). À l'avenir, les cultures telles que la betterave sucrière, le sorgho doux et le sorgho du Soudan seront de plus en plus importantes, sachant qu'un élargissement de la

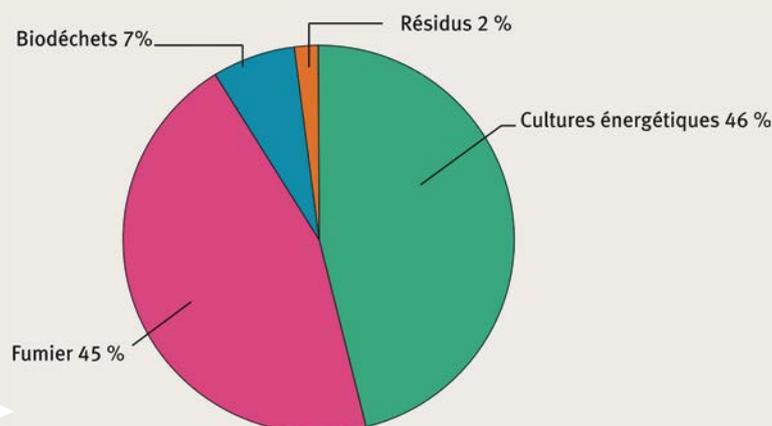
1 Évaluation des installations de méthanisation en Allemagne.



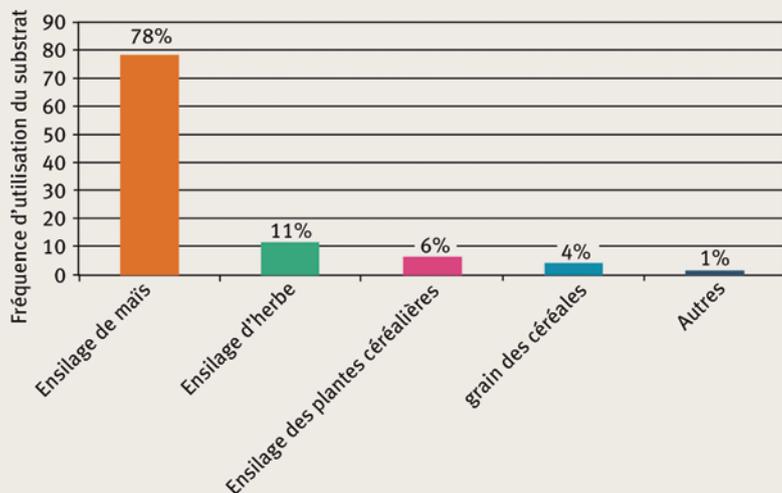
1 Rémunération selon l'EEG (EEG, 2012).

Rémunération de base	Classe de puissance	Rémunération (c€/kWh)
	Jusqu'à 150 kW _{el}	14,3
	Jusqu'à 500 kW _{el}	12,3
	Jusqu'à 5 MW _{el}	11,0
Rémunération spéciale	Jusqu'à 75 kW _{el}	25,0
Rémunération de la matière première		
Classe de rémunération matières premières I	Jusqu'à 500 kW _{el}	6,0
	Jusqu'à 750 kW _{el}	5,0
	Jusqu'à 5 MW _{el}	4,0
Classe de rémunération matières premières II	Jusqu'à 500 kW _{el}	8,0
	Jusqu'à 5 MW _{el}	6,0
Traitement du gaz		
	Jusqu'à 700 Nm ³ /h	3,0
	Jusqu'à 1 000 Nm ³ /h	2,0
	Jusqu'à 1 400 Nm ³ /h	1,0

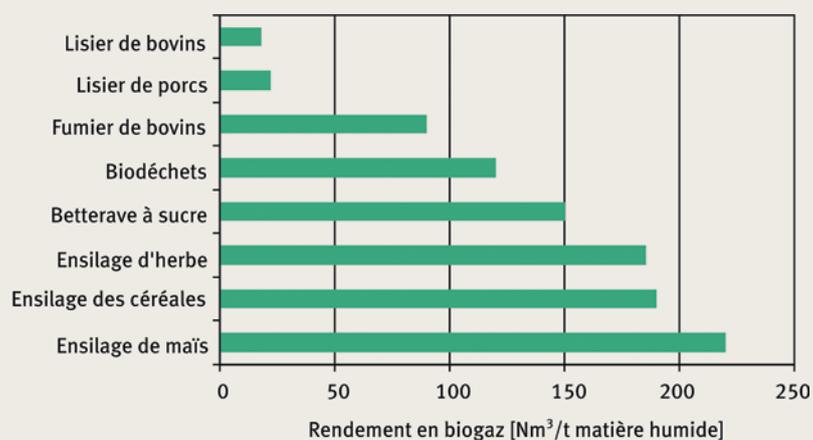
2 Emploi de substrats dans les installations de méthanisation (DBFZ, 2010).



③ Fréquence d'utilisation des matières premières végétales (Gemmeke et al., 2009).



④ Rendement en méthane de différents substrats de biogaz (selon le KTBL, 2009).



② Classement des technologies des procédés selon différents critères.

Critères	Caractéristiques distinctives
Teneur en matières sèches dans le fermenteur	<ul style="list-style-type: none"> Fermentation par voie humide Digestion par voie sèche
Type de chargement	<ul style="list-style-type: none"> Discontinu Continu
Nombre d'étapes du procédé	<ul style="list-style-type: none"> Une étape Deux étapes (plusieurs étapes)
Nombre de phases du procédé	<ul style="list-style-type: none"> Une phase Deux phases
Température du procédé	<ul style="list-style-type: none"> Mésophile Thermophile

culture de maïs atteint déjà quasiment les limites écologiques, l'EEG réduisant par conséquent depuis 2012 l'utilisation de maïs à 60 % maximum des intrants de substrats. Étant donné que la betterave sucrière offre un potentiel de rendement énergétique par hectare similaire à celui du maïs, l'utilisation de cette culture énergétique prend actuellement de l'ampleur, tout comme le développement de la technique de stockage et de transformation adéquate. L'utilisation prometteuse de plantes sauvages et exotiques, telles que le silphe, est actuellement étudiée de près dans le cadre de divers projets de recherche et de démonstration.

À ce jour, au moins 80 % du biogaz produit provient de la fermentation de l'ensilage de maïs. La figure ④ montre les rendements en méthane des principaux substrats.

L'agriculture fait appel à une multitude de dispositifs et de procédés pour la méthanisation. En règle générale, l'installation de méthanisation est constituée des quatre principaux groupes suivants :

- un système de stockage des substrats et un système de chargement,
- un digesteur pour la méthanisation,
- une cuve de stockage du digestat pour le substrat digéré, éventuellement couplé à une installation de traitement du digestat,
- un réservoir à biogaz, avec un dispositif de nettoyage du gaz et d'utilisation du gaz.

Les technologies des procédés se distinguent par la teneur en matières sèches dans le fermenteur, le type de chargement, le nombre de phases de procédé et d'étapes de procédé ainsi que par la température de procédé. (tableau ②). Dans la majorité des cas, des procédés de fermentation par voie humide fonctionnant en continu sont utilisés, dans lesquels la teneur en matières sèches (TM) dans le fermenteur est limitée à $\leq 13\%$, afin de mélanger au mieux le substrat dans le fermenteur. Des procédés à une ou deux étapes sont mis en œuvre pour la digestion. Dans les procédés à deux étapes utilisés de préférence, la méthanisation est réalisée dans deux fermenteurs connectés en série, la première étape étant le fermenteur principal, sachant que la plus grande quantité de biogaz y est produite, tandis que la deuxième étape appelée fermenteur secondaire permet de digérer de préférence les parties de substrat plus difficiles à dégrader, pour former le biogaz. La digestion est généralement réalisée dans la plage de températures mésophile, entre 38 et 42 °C, puisque ces conditions permettent d'obtenir une digestion anaérobie efficace et stable, tout en bénéficiant d'un besoin énergétique réduit. Les fermenteurs, généralement conçus comme des réservoirs cylindriques placés verticalement, sont constitués majoritairement de béton, plus rarement d'acier inoxydable ou d'acier émaillé. Une construction en béton permet d'obtenir des volumes de fermenteur allant jusqu'à 5 000 m³, tandis que les réservoirs en acier ne vont que jusqu'à 3 500 m³. Les fermenteurs horizontaux peuvent être des cuves en acier cylindriques ou des réservoirs conçus en béton, avec une section transversale carrée ou rectangulaire. Les tailles habituelles vont de 250 à 1 000 m³. En raison des dimensions de construction limitées, les fermenteurs horizontaux ne peuvent être employés que dans des installations avec une capacité de traitement réduite ou en

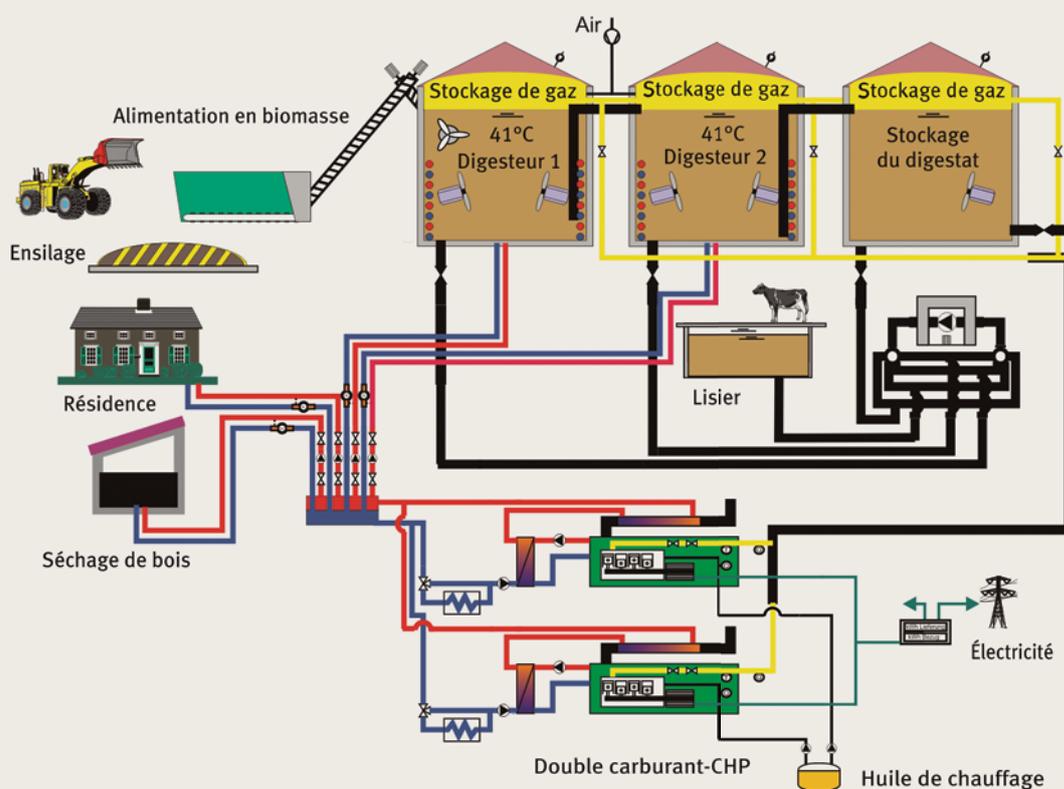
tant que première étape d'une installation à plusieurs étapes. Le schéma d'une installation de méthanisation agricole typique à deux étapes, avec fermentation par voie humide, est représenté sur la figure 5.

Les substrats aptes à être pompés, en principe du lisier, sont stockés dans une pré-fosse fermée et alimentés vers le fermenteur par une station de pompage. Les substrats solides, en principe des cultures énergétiques, sont stockés dans une station de dosage suite à leur sortie hors du silo. Il s'agit ici généralement de cuves mélangeuses modifiées ou de réservoirs de stockage à fond mouvant.

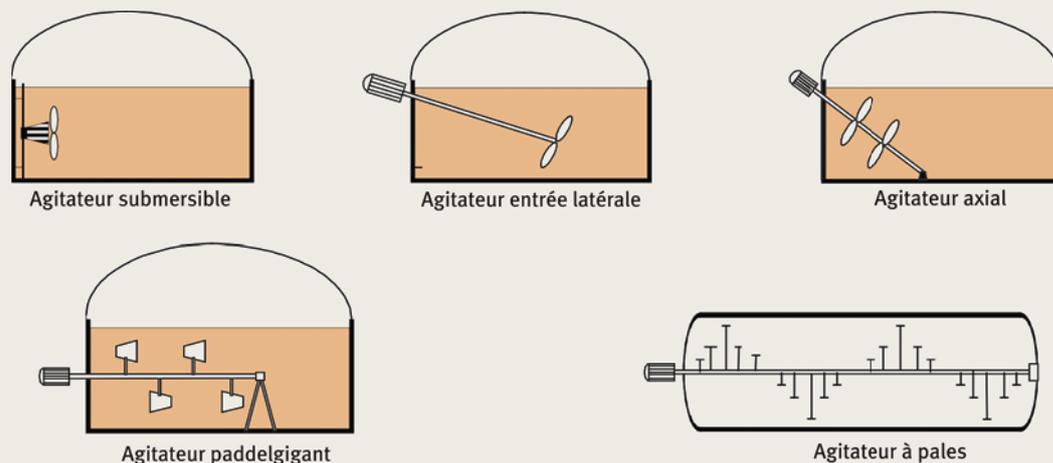
Pour commencer, les matières solides sont généralement introduites directement dans le fermenteur par des transporteurs à vis ou des vis d'introduction, ou, plus rarement, indirectement par ajout des matières solides dans une cuve de mélange ou directement dans le flux de substrat liquide.

Pour le mélange dans le fermenteur, différents systèmes de mélangeur sont utilisés, en fonction du type de substrat, de la teneur en matières solides du mélange de substrat et de la taille du fermenteur (figure 6).

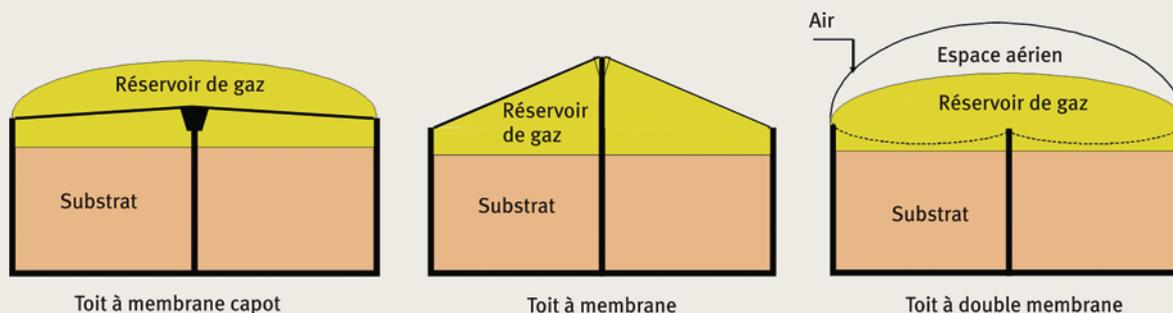
5 Exemple type d'une installation de méthanisation à deux étapes.



6 Mélangeurs courants dans les procédés de fermentation par voie humide.



7 Réservoir de gaz intégré sous la forme de différentes membranes.



Les mélanges de substrat présentant une forte teneur en cultures énergétiques seront de préférence traités lentement, avec des mélangeurs à grandes pales (mélangeur axial, mélangeur à palettes), effectuant un mélange efficace et résistants à l'usure, grâce à un faible nombre de tours. Les installations traitant une grande part de lisier emploient généralement des mélangeurs rapides à moteur submersible, tels que le mixeur à tige, empêchant la formation de couches flottantes et de dépôts en créant un flux turbulent (Rostalsky, 2009).

Les temps de séjour du substrat varient entre 30 et 150 jours, selon le type de composition du substrat (Gemmeke *et al.*, 2009). Bien que le lisier permet d'atteindre une bonne exploitation du potentiel méthanogène, même avec des temps de séjour de 30 à 40 jours, la plupart des plantes énergétiques requièrent des temps de séjour de 100 à 150 jours, en raison de la forte teneur en fibres. La betterave sucrière constitue une exception, puisqu'elle est presque entièrement dégradée en milieu anaérobie après 30 jours, en raison de la faible teneur en lignocellulose et de la fermentation rapide du saccharose (Hassan, 2003).

Dans les fermenteurs verticaux, le gaz est stocké principalement dans l'espace supérieur du fermenteur et dans l'espace supérieur de la cuve de stockage du digestat, dans la mesure où celui-ci est fermé et étanche aux gaz et raccordé au système de valorisation du gaz. Des membranes de différentes formes, opérant quasiment sans pression (< 5 mbar), sont utilisées pour couvrir les fermenteurs et la cuve de stockage du digestat et pour stocker le gaz et assurer une protection contre les intempéries (figure 7).

Le plus souvent, dans les toits à double membrane, de l'air est soufflé dans l'espace de collecte de gaz, entre la membrane de stockage et la membrane externe du toit, à l'aide d'une soufflerie, afin de gonfler et tendre la membrane du toit et d'établir une pression de gaz constante. La membrane interne se déplace entre le bord supérieur du fermenteur et le toit supporté par l'air soufflée, en fonction de la production de gaz ou de la consommation de gaz. Un gabarit disposé sous la membrane de stockage de gaz empêche l'affaissement sur le contenu du fermenteur.

Les procédés dits de digestion des solides traitent exclusivement des matières solides pelletables, présentant généralement une teneur en matières sèches de 25 à 35 %.

La méthanisation repose sur des procédés de percolation réalisés généralement en discontinu, permettant de s'affranchir d'un mélangeur mécanique. Les fermenteurs utilisés sont des box ou conteneurs en forme de garages étanches au gaz, dans lesquels est introduit le substrat solide au moyen d'une chargeuse à roues ou télescopique. Pour l'inoculation, le substrat frais est mélangé avec 40 à 60 % de digestat d'un cycle de fermentation précédent, et aspergé pendant l'ensemble de la durée du procédé, c'est-à-dire pendant quatre à six semaines, avec un liquide de percolation afin de garantir une répartition homogène des bactéries et de maintenir une température et une humidité constantes dans les matières en fermentation (Weiland, 2006). Ainsi, la figure 8 illustre un fermenteur à box avec fermentation de matières solides. Pour mettre en œuvre le principe de percolation, il faut une structure grossière du substrat pelletable, qui doit être maintenue pendant le procédé de dégradation.

Pour obtenir une production de gaz et une composition de gaz homogènes, nécessaires à l'usage énergétique du gaz, on emploie généralement trois à quatre fermenteurs en décalage dans le temps. Parmi les 7 100 installations de méthanisation actuellement actives, seulement 1 % appliquent la digestion de solides en discontinu.

Dans certains cas, la digestion des solides peut être réalisée avec des fermenteurs à écoulement à pistons, connus dans le domaine du recyclage des déchets biodégradables. Les fermenteurs présentent généralement une section transversale rectangulaire et sont pourvus d'un mélangeur axial à rotation lente ou de plusieurs mélangeurs à palettes, agencés transversalement au sens d'écoulement (figure 9). L'utilisation de ces systèmes exigeants du point de vue technique n'a généralement lieu que pour des installations de grande taille, dans la plage de puissance supérieure à 1 000 kWel.

Récupération du gaz

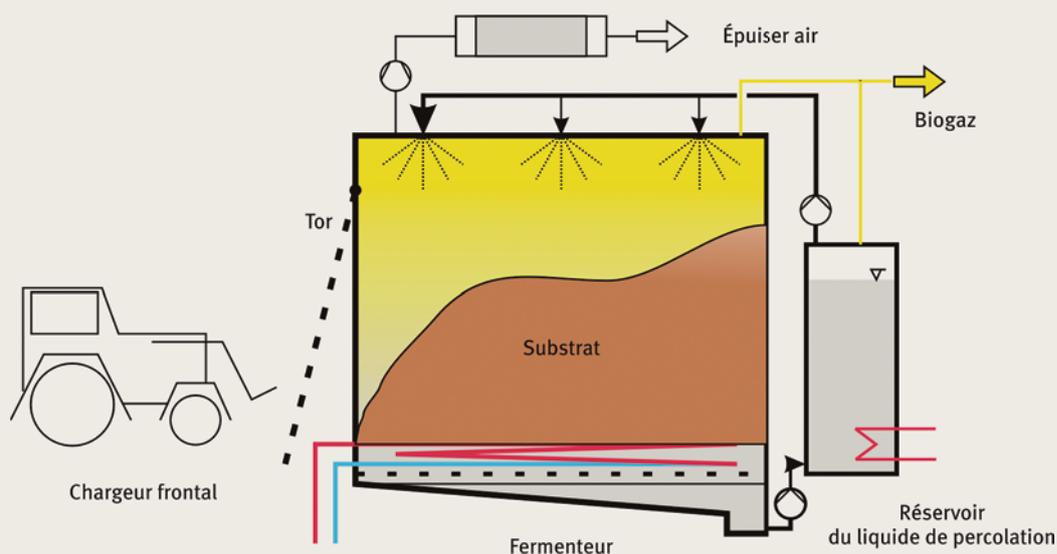
Du fait de la rémunération fixée par la loi pour une durée de vingt ans en contrepartie de la transformation du biogaz en électricité, la récupération du gaz en Allemagne est effectuée presque exclusivement dans des moteurs de cogénération, permettant de produire simultanément du courant et de la chaleur. L'utilisation du gaz a principalement lieu directement sur les lieux de l'installation de méthanisation ou dans une centrale satellite installée

à proximité, reliée à l'installation de méthanisation par un micro-réseau de biogaz. Dans ce cas, la longueur des conduits entre l'installation de méthanisation et la centrale de chauffage à distance s'élève généralement à moins de 30 km. Pour l'alimentation du micro-réseau de biogaz, une désulfuration et un séchage du gaz suffisent. Le lieu d'implantation de la centrale de chauffage à distance est sélectionné de manière à pouvoir utiliser la plus grande quantité possible de la chaleur produite (Stroot, 2011).

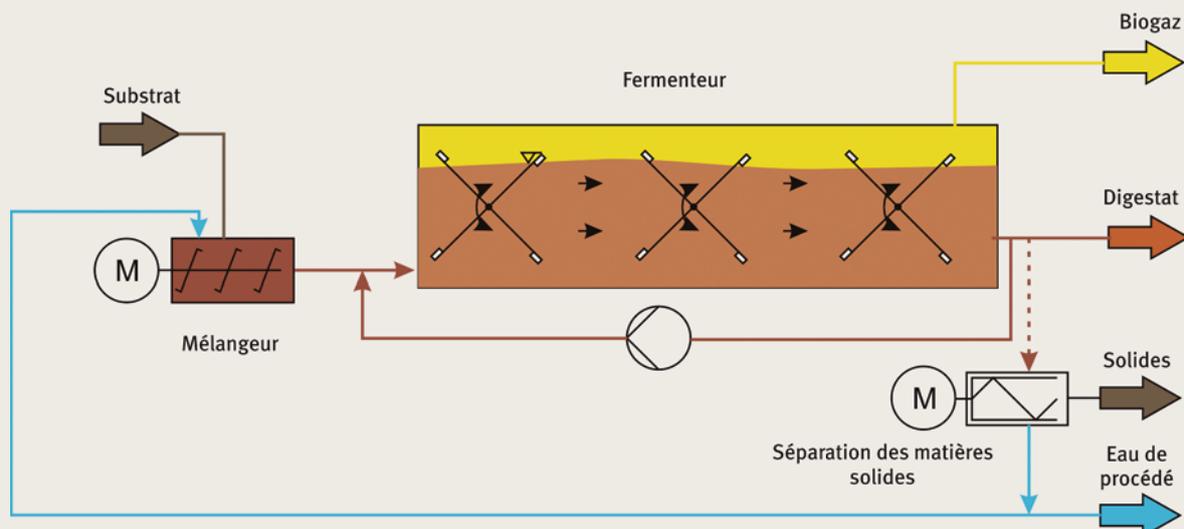
Pour la désulfuration, on utilise presque exclusivement des procédés de désulfuration biologiques, dans lesquels des bactéries utilisant le soufre (par exemple, *Sulfobacter oxydans*) oxydent le sulfure d'hydrogène (H_2S) en soufre, sulfites et sulfates élémentaires. Pour cela, 3-5 % de l'air est soufflé dans la chambre à gaz du fermenteur et mélangé avec le biogaz. Ces bactéries et les nutriments

nécessaires au renouvellement des matières sont présentes dans le digestat et n'ont pas besoin d'être ajoutées séparément. Pour atteindre une concentration élevée de bactéries, des filets où s'accumulent ces bactéries du soufre sont souvent déployés dans l'espace gazeux supérieur. Dans les fermenteurs dont l'espace gazeux au-dessus du digestat est insuffisant, la désulfuration biologique sera effectuée dans des colonnes externes (lit à percolation), remplies d'un média porteur sur lequel s'accumulent les bactéries du soufre sous forme de biofilm biologique (Schneider *et al.*, 2002). Ces systèmes sont également utilisés de préférence dans des installations de méthanisation avec de plus grandes fluctuations de concentration de H_2S , en raison du changement fréquent du substrat. Lors de l'utilisation de procédés de désulfuration internes, ces conditions impliquent un risque accru de rupture de H_2S . Pour l'alimentation du

⑧ Fermenteur à box pour la digestion des solides en discontinu.



⑨ Fermenteur à écoulement pistons pour la digestion continue des solides.



► biométhane dans le réseau de gaz naturel, les procédés de désulfuration biologique sont moins adaptés, en raison de l'enrichissement en azote et en oxygène. Pour le séchage, le gaz est refroidi en-dessous du point de rosée, et le condensat ainsi produit est prélevé. À cette fin, les installations plus récentes emploient essentiellement des groupes frigorifiques électriques permettant d'obtenir un séchage fiable, indépendamment des conditions environnantes. En revanche, dans les installations récentes, le refroidissement du gaz dans un conduit posé sous terre est rare, étant donné qu'un séchage insuffisant du gaz peut entraîner des défaillances dans le fonctionnement du système de valorisation du biogaz.

Pour la récupération du gaz, environ deux tiers de toutes les installations récentes emploient des moteurs à gaz de type « Otto », tandis qu'un tiers des installations emploie des moteurs à injection pilote (Gemmeke *et al.*, 2009). Les moteurs à injection pilote offrent des rendements électriques élevés, allant jusqu'à 46 %, mais en comparaison avec les moteurs à gaz Otto, les caractéristiques des gaz d'échappement obtenues sont moins bonnes. Les installations récentes sont de plus en plus souvent assorties de procédés de post-traitement des gaz d'échappement, pour respecter la limite d'émissions de formaldéhyde, fixée à $\leq 40 \text{ mg/m}^3$. À cette fin, on utilise des catalyseurs d'oxydation ou des procédés de post-traitement thermiques. Afin de protéger le catalyseur d'oxydation contre l'endommagement par le H_2S , la désulfuration totale du biogaz est généralement effectuée à l'aide d'un filtre à charbon actif.

Jusqu'à-là, les micro-turbines à gaz ne sont utilisées que dans certains cas isolés avec un grand besoin de chaleur ou lorsque le gaz d'échappement peut être utilisé comme source de chaleur pour des cultures sous serre (Krautkremer, 2006). L'utilisation de cellules à combustible se limite actuellement à une poignée de projets de démonstration et de développement.

Alors que le courant produit est généralement injecté dans le réseau public dans sa quasi-totalité, seulement 45 % en moyenne de la quantité de chaleur générée par le moteur de cogénération sont actuellement utilisés en-dehors des installations de méthanisation. Depuis 2012, les nouvelles installations de méthanisation doivent utiliser au moins 60 % de la chaleur produite, afin de maintenir la rémunération selon l'EEG. Le degré d'utilisation de la chaleur devrait donc augmenter considérablement ces prochaines années.

Le conditionnement du biogaz pour la production de biométhane, avec injection consécutive dans le réseau public de distribution de gaz naturel, a eu lieu pour la première fois en 2006. Début 2012, on comptait déjà 77 installations de conditionnement actives, avec une capacité de production de $49\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$, et on s'attend à ce que le nombre d'installations double d'ici 2013 (Dena, 2011). Selon la volonté du gouvernement fédéral allemand, environ 6 % de la consommation de gaz naturel devraient être remplacés par du biométhane d'ici 2020 (photo 10). À cette fin, plus de 1 000 installations de conditionnement de gaz de taille moyenne sont nécessaires.

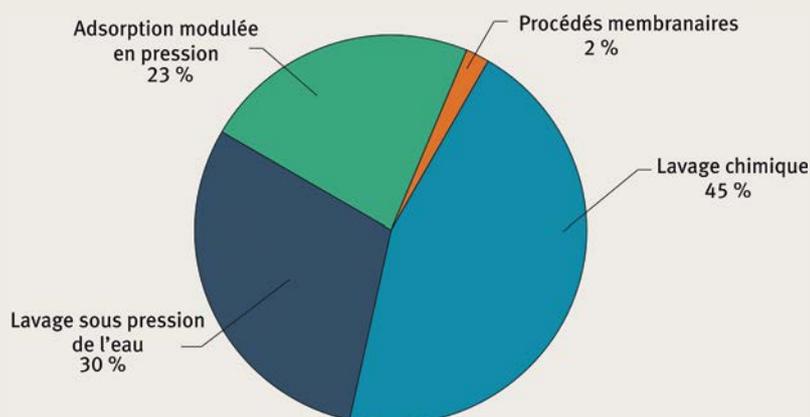
Différentes techniques sont envisageables pour le conditionnement du biogaz. Comme le montre la figure 10, le traitement chimique aux amines actuellement utilisé

dans 45 % des cas est le plus répandu, suivi du traitement à l'eau pressurisée (DWW) et de l'absorption à pression alternée (PSA – *Pressure Swing Absorption*).

Seules deux installations ont recours à un conditionnement de gaz au moyen d'un procédé à membrane.

Au départ, le conditionnement du gaz était effectué majoritairement à l'aide de procédés PSA, sachant que cette technique repose sur une longue expérience. Depuis la première utilisation de procédés aux amines en 2009, ces procédés ont cependant gagné rapidement du terrain, puisque cette technique permet de réduire fortement les pertes de méthane, sans nécessiter de post-traitement supplémentaire des émissions de CO_2 . Pour maintenir le bonus de l'EEG pour le conditionnement du gaz, les pertes de méthane ne doivent pas dépasser la valeur seuil de 0,5 % par m^3 de gaz brut. La capacité d'injection des installations de conditionnement existantes s'élève en moyenne à environ $600 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Actuellement, la plus grande installation de méthanisation en Allemagne offre une capacité d'environ $5\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ et emploie le nettoyage à l'eau pressurisée pour le conditionnement du gaz. L'alimentation du réseau de distribution de gaz en biométhane est prioritaire et fait l'objet d'une loi sur l'accès au réseau de gaz (Gas NZV, 2010). Ainsi, les exploitants du réseau, quelque soient les niveaux de pression, sont tenus de raccorder des installations de méthanisation au réseau de distribution de gaz et d'assurer l'injection durable du biogaz. Les frais de raccordement au réseau sont divisés entre l'exploitant du réseau et le producteur de biométhane : l'exploitant du réseau assume 75 % des frais et le producteur 25 %. Le raccordement au réseau nécessite des conduits de liaison, (jusqu'à 10 km), un compresseur, un système de régulation de la pression du gaz, ainsi que des installations techniques destinées à mesurer la qualité et la quantité du biométhane injecté. L'exploitant du réseau est propriétaire du raccordement au réseau et assure les frais d'entretien et de fonctionnement. À ce jour, seules trois installations produisent du biométhane pour une utilisation directe en tant que carburant. De plus, une petite partie du gaz injecté est commercialisée en tant que carburant, sous la forme d'un mélange de gaz naturel et de biométhane, à des stations de gaz naturel.

10 Fréquence d'utilisation de procédés de conditionnement du gaz en Allemagne.





❶ Le gouvernement fédéral allemand souhaite remplacer, d'ici 2020, environ 6 % de la consommation de gaz naturel par du biométhane.

Avec l'amendement de l'EEG le 1^{er} janvier 2012, la loi autorise l'injection du courant produit à partir de biogaz selon les besoins, pour compenser les fluctuations de charge dans le réseau, causées en particulier par les installations photovoltaïques et éoliennes. Pour cela, le fermenteur doit fonctionner de manière flexible, la capacité de la centrale de chauffage à distance doit être augmentée et le biogaz doit pouvoir être stocké pendant huit à douze heures, sachant que dans le cadre du conditionnement de biogaz, il est également possible d'utiliser le réseau de gaz naturel pour le stockage. Les frais supplémentaires ainsi engendrés sont compensés par les revenus supplémentaires des quantités d'électricité commercialisées directement et par le versement d'une prime. Cette forme de valorisation du gaz est actuellement testée dans le cadre de deux projets de démonstration et va gagner en importance ces prochaines années.

En principe, les digestats sont utilisés directement sans traitement supplémentaire comme fumier sur des surfaces agricoles. Les digestats provenant des installations de méthanisation traitant des cultures énergétiques en mono-fermentation ou en fermentation couverte, ensemble avec du lisier, sont comparables aux fumiers purs quant à leur teneur en nutriments, puisque le processus de dégradation dans le fermenteur ressemble au processus digestif des animaux. Le tableau ❸ fournit à titre d'exemple les caractéristiques physiques de différents digestats, en comparaison avec le lisier de bovin.

L'épandage des digestats est effectué majoritairement avec un épandeur à pendillard, suivie d'un enfouissement, afin d'obtenir une répartition homogène des nutriments avec de faibles pertes d'émissions. Dans les régions dans lesquelles une production à proximité du site n'est pas ou quasiment pas envisageable en raison

Stockage et valorisation du digestat

Le stockage du digestat requiert l'utilisation de cuves étanches à l'eau, permettant un stockage d'au moins six mois. Alors qu'auparavant, on utilisait principalement des cuves de stockage non couvertes, une couverture étanche au gaz de la cuve de stockage de digestat est imposée par la loi depuis 2012, avec un temps de séjour de 150 jours et un raccordement à une installation de valorisation de gaz, pour éviter les émissions de gaz nuisibles à l'atmosphère, et d'ammoniac. Les installations de méthanisation traitant exclusivement du lisier n'ont pas besoin de répondre à ces exigences. L'usage énergétique du biogaz formé pendant le stockage accroît la récupération d'énergie jusqu'à 9 %, en fonction du type de substrat et du mode de fonctionnement, si bien que les frais relatifs à la couverture peuvent être amortis en quelques années seulement (Weiland, 2010).

❸ Caractéristiques physiques de digestats en comparaison avec le lisier de bovin.

Paramètres	Digestats			Lisier brut
	NawaRo et lisier de bovin	NawaRo et lisier porcin	NawaRo	Lisier de bovin
Matières sèches % FM	7,3	5,6	7,0	9,1
N-Ges. kg/t FM	4,6	4,6	4,7	4,1
NH ₄ -N kg/t FM	2,6	3,1	2,7	1,8
P ₂ O ₅ kg/t FM	2,5	3,5	1,8	1,9
K ₂ O kg/t FM	5,3	4,2	5,0	4,1
MgO kg/t FM	0,9	0,8	0,8	1,0
CaO kg/t FM	2,2	1,6	2,1	2,3

► des excédents de nutriments, des techniques de conditionnement permettant d'améliorer l'aptitude des digestats au transport sont appliquées individuellement.

Il s'agit ici majoritairement d'une séparation des matières solides et d'un séchage, ou encore d'une vaporisation des digestats (Döhler, 2008). Les digestats sont soumis aux lois sur les engrais et ne doivent répondre aux exigences légales en matière de déchets que si l'installation de méthanisation concernée traite également des biodéchets, en plus du lisier et des cultures énergétiques.

Perspectives

Le développement continu dans la production et l'utilisation de biogaz a en particulier pour but de trouver de nouveaux substrats pour la méthanisation, d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés et de réduire encore davantage les émissions de gaz à effet de serre apparaissant lors de la mise à disposition et de l'utilisation de biogaz. La production énergétique à partir de biogaz, adaptée aux besoins, va encore gagner de l'importance, puisque le développement continu des éoliennes et des installations photovoltaïques nécessite l'utilisation d'une énergie de réglage pour compenser les fluctuations de charge dues aux conditions météorologiques dans le réseau.

Pour améliorer l'efficacité et le respect de l'environnement, des efforts importants sont actuellement déployés pour cultiver de nouvelles plantes énergétiques plus performantes, optimiser le procédé de fermentation par un procédé innovant de réglage et de surveillance, et collecter plus d'informations au sujet du procédé de digestion et des microorganismes mis en jeu. Par ailleurs, de nouvelles pistes technologiques pour l'utilisation du gaz et de la chaleur sont explorées, pour augmenter l'efficacité énergétique et réduire les frais de la distribution énergétique. Par conséquent, l'Allemagne va prochainement connaître une nouvelle évolution dynamique de la technologie du biogaz, alors même que cette expansion est susceptible d'être limitée par la disponibilité des ressources de substrat, et que la puissance des installations ne devrait pas augmenter davantage, à l'exception des installations avec conditionnement du gaz. ■

L'auteur

Peter WEILAND

Thünen Institut für Agrartechnologie
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
✉ peter.weiland@ti.bund.de

EN SAVOIR PLUS...

- **DBFZ**, 2010, Betreiberbefragung 2010, Deutsches BiomasseForschungsZentrum, Leipzig.
- **DENA**, 2011, Biogaseinspeisung in Deutschland und Europa – Markt, Technik und Akteure. Deutsche Energie Agentur, Berlin.
- **DÖHLER, H.**, 2008, Verfahren und Kosten der Gärrestaufbereitung, *in: Tagungsband zur 17. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas*, Nürnberg.
- **EEG**, 2012, Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien, BGBl. I S. 3044, 2011.
- **FACHVERBAND BIOGAS**, 2011, Biogas Branchenzahlen 2011, Freising.
- **FNR**, 2011, Entwicklung des Anbaus von nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow.
- **GasNZV**, 2010, Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen, Gasnetz-Zugangsverordnung (GasNZV), BGBl. I, S 1261.
- **GEMMEKE, B., RIEGER, C., WEILAND, P.**, 2009, Biogas-Messprogramm II, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Gülzow.
- **HASSAN, E.A.**, 2003, Biogas production from forage and sugar beets. Dissertation Kassel/Witzenhausen.
- **KRAUTKREMER, B., MÜLLER, J.**, 2006, Mikrogasturbine – eine Alternative zur Nutzung von Biogas, *in: Tagungsband zur 15. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas*, Nürnberg.
- **KTBL**, 2009, Faustzahlen Biogas, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- **ROSTALSKY, K.**, 2009, Rührwerke in Biogasanlagen – Technik mit zentraler Bedeutung, *Gülzower Fachgespräche*, n° 32, p. 26-36, Gülzow.
- **SCHNEIDER, R., QUICKER, P., ANZER, T., PRECHTL, S., FAULSTICH, M.**, 2002, Grundlegende Untersuchungen zur effektiven, kostengünstigen Entfernung von Schwefelwasserstoff aus Biogas, *in: Biogasanlagen – Anforderungen zur Luftreinhaltung*, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), S. 29-45, Augsburg.
- **STROOT, V.**, 2011, Mikrobiogasnetz Braunschweig – Ein innovatives Projekt mit Modellcharakter, VDI-Berichte 1221, S. 207-214, Düsseldorf.
- **WEILAND, P.**, 2006, Stand der Technik bei der Trockenfermentation, *Gülzower Fachgespräche*, n° 24, p. 22-38, Gülzow.
- **WEILAND, P.**, 2010, Ergebnisse des Biogasmessprogramms, *in: Tagungsband zur 19. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas*, S. 11-18, Leipzig.