

# Vade mecum technique de la biométhanisation de biomasse humide pour les installations de puissance inférieure à 10 MWth.

*Bureau d'études IRCO Sprl, adapté par DEECC Consulting Sprl, Belgique*

<b>I. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA BIOMÉTHANISATION</b>	<b>2</b>
<b>I.2. PRINCIPES DE LA FERMENTATION ANAÉROBIE</b>	<b>2</b>
I.2.1. Les phases de la digestion anaérobie	2
I.2.2. Conditions optimales pour la digestion anaérobie	3
<b>I.3. TYPES DE DIGESTEURS</b>	<b>4</b>
I.3.1. Paramètres techniques des digesteurs, encore appelés fermenteurs	4
I.3.2. Classification sur base des charges acceptées	5
La fermentation à faible charge ou à l'état liquide	5
La fermentation à forte charge ou à l'état solide	5
I.3.3. Classification sur base du principe de fonctionnement	6
<b>I.4. DIMENSIONNEMENT DES DIGESTEURS</b>	<b>7</b>
<b>I.5. CAS SPÉCIFIQUE DES UNITÉS DE BIOMÉTHANISATION DE PETITE TAILLE EN AGRICULTURE</b>	<b>7</b>
<b>I.6. PRODUCTION DE BIOGAZ ET BILAN ÉNERGÉTIQUE</b>	<b>9</b>
I.7. Pourquoi construire une installation de production de biogaz ?	14
I.8. Conditions nécessaires pour envisager la mise en œuvre d'une installation de biométhanisation	15

## I. Principes généraux de la biométhanisation

### I.1. Définition

La biométhanisation consiste en la dégradation de matière organique en absence d'oxygène (digestion anaérobie) et à l'abri de la lumière par l'action combinée de plusieurs communautés de micro-organismes. C'est une technique qui conduit à la production d'un mélange gazeux appelé biogaz (dont le gaz principal est le méthane CH<sub>4</sub>) pouvant être utilisé comme combustible et d'un digestat recyclé comme amendement agricole.

Ce document décrit les aspects techniques de la biométhanisation qui est de plus en plus fréquemment mise en œuvre pour la valorisation des déchets domestiques et dont l'application dans les exploitations agroindustrielles pourrait contribuer au développement durable du secteur électrique dans beaucoup de pays africains.

### I.2. Principes de la fermentation anaérobie

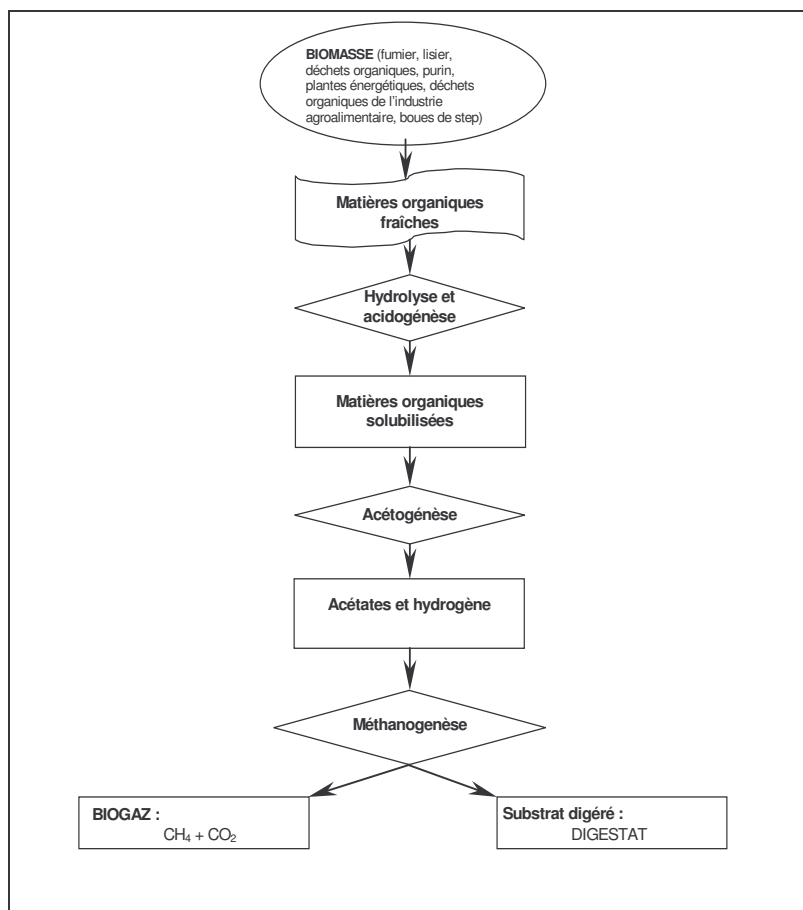
#### I.2.1. Les phases de la digestion anaérobie

La digestion anaérobie est catalysée par des régimes de températures plus ou moins élevées, mésophile (30-40°C) ou thermophile (40-55°C), favorables aux cinétiques biochimiques. Sous l'action de populations microbiennes, la matière organique subit des transformations successives jusqu'à la production finale de CH<sub>4</sub>.

D'une manière générale, la dégradation de la matière organique se fait en trois phases principales.

La première phase dite d'hydrolyse et d'acidogénèse est assurée par des bactéries hydrolytiques. Ces bactéries transforment la matière organique complexe (lipides, cellulose, amidon, protéines...) en composés plus simples, à savoir des acides gras volatils (AGV) (acide acétique, acide propionique, acide butyrique...) et des alcools (méthanol, éthanol...). On observe également la production d'une certaine quantité d'hydrogène (H<sub>2</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) résultant de la conversion des lipides et des protéines. Les bactéries responsables de l'acidogénèse sont extrêmement diverses, anaérobies stricts ou facultatifs. Parmi ces bactéries, on retrouve *Clostridium*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Streptococcus*.

Les produits de l'acidogénèse sont convertis en acétates (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) et en hydrogène (H<sub>2</sub>) au cours de la seconde phase dite acétogénèse. Cette phase est réalisée par des bactéries dont *Pelobacter carbinolicus*, *Synthrophobacter wolinii*, *Synthrophomonas wolfei*. Le métabolisme de ces bactéries n'est cependant possible que si l'H<sub>2</sub> produit (y compris celui de l'acidogénèse) est éliminé au fur et à mesure. La pression partielle du milieu en H<sub>2</sub> doit toujours être inférieure à 10,1 Pa ([H<sub>2</sub>] < 10 Pa). En revanche cette pression partielle ne doit pas être inférieure à 0,1013 Pa car il faut un minimum de H<sub>2</sub> pour réaliser la réduction du CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>. En définitive, on doit avoir 0,101 Pa < [H<sub>2</sub>] < 10,1 Pa.

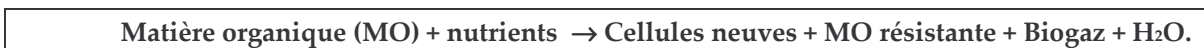


**Figure 1** : description des diverses phases de la biométhanisation.

L'H<sub>2</sub> est normalement utilisé par la troisième communauté microbienne que sont les méthanogènes hydrogénophiles (*Methanobrevibacter* et *Methanobacterium*) pour réduire le CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> tandis que l'acétate est transformé par les méthanogènes acétoclastes (*Methanosarcina*, *Methanococcus* et *Methanoseta*) en CH<sub>4</sub>.

La présence de sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dans le milieu peut modifier le flux du substrat disponible pour les méthanogènes. En effet, les bactéries sulfato-réducteurs peuvent oxyder une partie du substrat (via principalement le H<sub>2</sub>) en utilisant le SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> comme accepteur d'électrons. Dans une telle situation, le substrat est converti en sulfure (S<sup>2-</sup>) surtout si le pH du milieu est acide.

Équation 1 : Dégradation anaérobie de matières organiques :



### I.2.2. Conditions optimales pour la digestion anaérobie

La production de biogaz suppose des conditions particulières de température, de potentiel d'oxydo-réduction, de pH, d'absence d'inhibiteurs, de concentration en ammoniac (NH<sub>3</sub>) et de rapport C/N.

L'anaérobiose est une condition impérative au développement de la flore méthanogène. Le potentiel d'oxydo-réduction du milieu doit être de l'ordre de -300 mV.

Le pH optimal se situe autour de 7. Si le pouvoir tampon du milieu en fermentation est insuffisant, il peut résulter une acidification du milieu par accumulation d'acides gras volatils. Cette acidification bloque la production de méthane.

L'absence d'inhibiteurs de fermentation est bien entendu de rigueur. L'utilisation massive d'antibiotique ou de certains oligo-éléments dans l'alimentation animale inhibe la synthèse du biogaz. L'excès de sels conduisant à une conductivité élevée ou la présence de certains métaux lourds toxiques (cadmium, mercure, ...) causent également des dysfonctionnements dans le processus de biométhanisation.

Facteur de stimulation biochimique à faible concentration, l'azote ammoniacal devient inhibiteur de méthanogénèse au-delà de 3 g/l. Toutefois, il semble que se soit la forme non ionisée qui soit toxique. Certaines expériences mettent en évidence une adaptation des micro-organismes jusqu'à 5 g/l d'azote ammoniacal.

Le rapport C/N ne doit jamais être supérieur à 35 avec un optimum à 30. En dessous, la production de gaz sera plus lente.

### I.3. Types de digesteurs

#### I.3.1. Paramètres techniques des digesteurs, encore appelés fermenteurs

Les digesteurs sont caractérisés par des paramètres techniques présentés dans le tableau 1.

Paramètres	Définition	Unité
V	Volume utile du fermenteur	m <sup>3</sup> <sub>f</sub>
G	Biogaz produit par jour	m <sup>3</sup> <sub>g</sub> /j
Q	Débit volumique de l'influent	m <sup>3</sup> <sub>i</sub> /j
M	Charge initiale : concentration en kg de MS, MO ou DCO dans l'effluent	kg/m <sup>3</sup> <sub>i</sub>
TRH	Temps de rétention hydraulique moyen de l'effluent dans le réacteur = V/Q	j
CV	Taux de charge : quantité d'effluent par m <sup>3</sup> de fermenteur et par jour = Q*(M/V)	kg/m <sup>3</sup> <sub>f</sub> .j
PV	Production volumique : production de biogaz par m <sup>3</sup> de fermenteur / jour = G/V	m <sup>3</sup> <sub>g</sub> /m <sup>3</sup> <sub>f</sub> .j
B	Production spécifique : production de biogaz par kg d'effluent = G/(Q*M)	m <sup>3</sup> <sub>g</sub> /kg
E	Taux d'épuration ou rendement : quantité dégradée par quantité d'effluent = (M <sub>out</sub> /M <sub>in</sub> ) * 100	%

**Tableau 1** : Paramètres techniques des digesteurs

Les productions volumique et spécifique sont des paramètres complémentaires.

La *production volumique* est un critère technico-économique mettant en relation la production et le volume du fermenteur tel que défini pour calculer l'investissement. C'est une notion à la fois simple à calculer et fiable, mais insuffisante pour décrire le

fonctionnement d'une installation. *La production spécifique* d'un substrat connu suffit quant à elle à définir l'état d'avancement de la réaction et à juger la méthanisation en fonction des conditions de la fermentation. Elle est moins sûre que la production volumique, car elle fait intervenir des paramètres dont la mesure n'est pas toujours précise, mais est indispensable pour comprendre les résultats du digesteur.

### **I.3.2. Classification sur base des charges acceptées**

#### **La fermentation à faible charge ou à l'état liquide**

En fermentation à faible charge, le substrat au sein du digesteur est dilué de manière à ramener la concentration en matière sèche entre 5 et 20%.

Il faut un petit débit d'alimentation et un grand volume de réacteur pour éviter le lessivage des méthanogènes dont la croissance est très lente. Les charges volumiques maximales applicables sont de l'ordre de 2 à 5 kg de DCO/m<sup>3</sup>/j. La fermentation à faible charge a pour inconvénients principaux, une forte demande en eau et une production importante de digestat.

La plupart des petites unités de biométhanisation traitant les effluents agricoles sont à faible charge.

#### **La fermentation à forte charge ou à l'état solide**

En fermentation à l'état solide, l'apport d'eau est limité de sorte que la concentration en matière sèche soit maintenue au-dessus de 20%. Les charges volumiques à appliquer peuvent atteindre 40 kg DCO/m<sup>3</sup>/j. Les temps de séjour hydraulique varient entre 2 et 3 semaines.

Au cours de la digestion à forte charge, 15 à 20% de la matière organique initiale est transformée en biogaz. 40 à 50% de cette matière se retrouve sous forme de compost après un post-traitement, les 30 à 45% restant étant principalement présents dans la liqueur d'extraction dont une partie est recirculée en amont du digesteur. Les microorganismes n'utilisent qu'une toute petite fraction pour leur croissance. Ceci pourrait cependant varier en fonction du type de substrat à traiter.

Les principaux avantages du système sont la rapide stabilisation de l'effluent et le volume réduit du digesteur. Cependant, en raison de la forte concentration, les effets de certains paramètres tels la présence importante de sels ou l'accumulation des AGV sont plus sévères. La quasi totalité des réacteurs fonctionnant suivant le principe de digestion à forte charge et actuellement commercialisés ont été conçus pour le traitement des déchets municipaux.

### **I.3.3. Classification sur base du principe de fonctionnement**

#### **A. Digesteurs à phase unique**

##### *Les systèmes de digestion en continu*

L'alimentation du digesteur se fait par le sommet ou latéralement. Une partie du résidu au bas du réacteur est recirculé de manière à favoriser une homogénéisation de la matière au sein du réacteur.

Les petites installations de biométhanisation fonctionnent généralement suivant ce principe.

##### *Les systèmes de digestion en batch*

Les systèmes de digestion en batch fonctionnent par alimentation discontinue. Le réacteur est inoculé, chargé, fermé et gardé le temps de la digestion. Le percolat de digestion est recirculé au sommet dans le but de maintenir un contenu en humidité homogène. Une fois la digestion terminée, le réacteur est ouvert, vidé et rempli à nouveau avec du substrat. Le système a l'avantage d'être simple mais il nécessite un post-traitement poussé des effluents.

Ces systèmes sont actuellement abandonnés. Seules quelques très petites installations fonctionnent encore selon ce principe, notamment en Chine, au Bangladesh et en Afrique.

#### **B. Digesteurs à phases séparées**

La fermentation à phases séparées n'est à présent appliquée que pour des cas de fermentation à forte charge. Elle est généralement conçue de façon à réaliser en continu les phases d'acidogénèse (hydrolyse et acidification) et de méthanogénèse dans deux réacteurs différents montés en série. On parle de fermentation à deux phases. Chacune des phases est optimisée séparément. La phase de méthanogénèse est usuellement réalisée par un filtre anaérobie ou un réacteur à lit de boue.

Les avantages de la fermentation à phases séparées par rapport à la fermentation à phase unique sont surtout liés à la possibilité d'optimiser les cinétiques des réactions biochimiques et au volume réduit de digesteur pour une même quantité de substrat à traiter. Elle permet aussi d'augmenter la proportion de méthane dans le biogaz produit.

L'inconvénient du système pourrait résider au niveau de l'élimination, par les méthanigènes hydrogénophiles, de l'hydrogène produit au cours de la phase d'acidification. Le principe est malgré tout séduisant puisqu'il permet une meilleure maîtrise de la méthanogénèse. C'est à juste titre qu'il est pressenti comme solution de l'heure aux problèmes d'accumulation des AGV en réacteur unique à forte charge.

Les digesteurs à phases séparées concernent principalement les installations de traitement des déchets solides comme la fraction organique des déchets ménagers ou certains résidus d'industries agroalimentaires.

#### **C. Digestions mixtes ou intégrées**

Il est bon de signaler qu'un système mettant en oeuvre une fermentation anaérobie à forte charge suivie d'un compostage aérobie a été développé au début des années 80 aux USA .

Le principe du traitement consiste d'abord à faire subir au substrat organique une digestion anaérobie. Le sous-produit de digestion est ensuite stabilisé par l'étape de compostage. Cette seconde étape permet également la dégradation de la fraction de substrat peu digestible par voie anaérobie.

On retient des systèmes de traitements mixtes, deux avantages principaux :

- réduction de moyens à mettre en oeuvre pour le traitement du liquide issue du digesteur anaérobie, celui-ci étant en grande partie utilisé pour l'humidification du compost,
- stabilisation quasi complète du substrat organique en raison de la complémentarité des deux systèmes, en principe difficilement réalisée par l'une et l'autre méthode prise séparément.

On peut retenir des systèmes mixtes qu'ils ont l'avantage de récupérer de l'énergie par rapport au compostage seul et qu'ils permettent une bonne stabilisation aérée des résidus des digesteurs anaérobies.

#### I.4. Dimensionnement des digesteurs

Le dimensionnement des réacteurs est fonction du procédé de fermentation employé. Les éléments de base du dimensionnement sont la charge volumique (Cv), le temps de séjour hydraulique (TSH) et le temps de séjour de la biomasse (TSB). Les valeurs usuellement employées pour ces paramètres sont résumées au tableau 2.

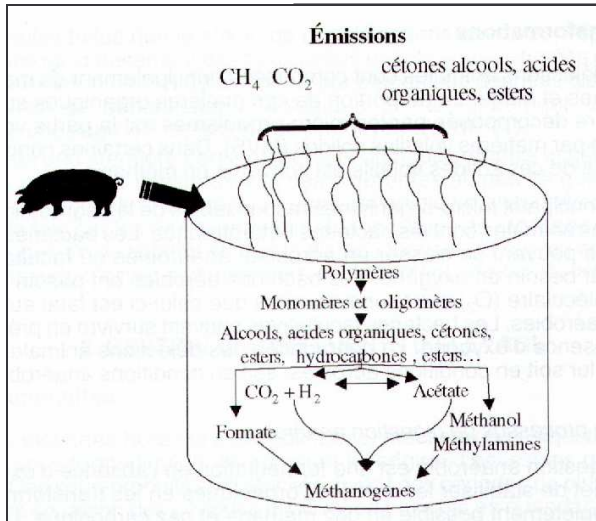
Technologies	% MS	Cv (kg DCO/m <sup>3</sup> /j)	TSH (j)	TSB (j)
Fermentation à l'état liquide	5-20	2-5	20-30	20-50
Fermentation à l'état solide	> 20	20-40	10-20	10-20

**Tableau 2** : Paramètres usuels de dimensionnement des principales techniques de fermentation anaérobie des déchets solides (Baeten et Verstraete, 1993)

#### I.5. Cas spécifique des unités de biométhanisation de petite taille en agriculture

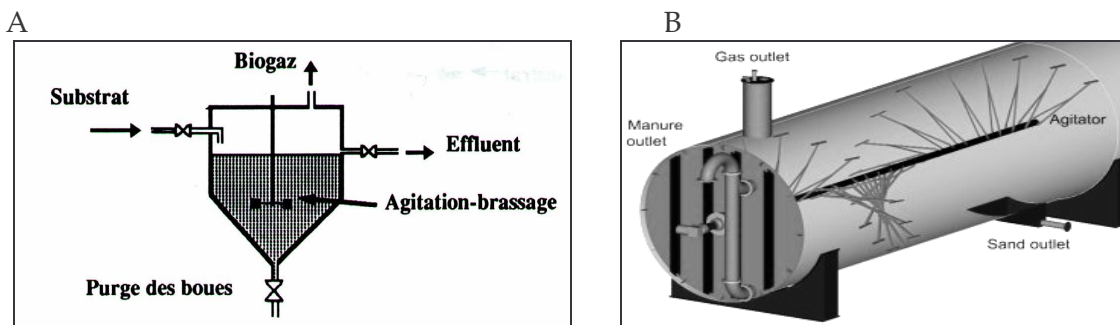
L'avantage de cette digestion pour le traitement des effluents d'élevage est de réduire l'odeur de ceux-ci et de produire du biogaz pouvant servir de sources d'énergie. Ce procédé de traitement permet, en effet, de diminuer fortement la teneur en acides gras volatils, principaux responsables des odeurs désagréables des effluents d'élevage. Il permet également de modifier de manière plus ou moins importante les propriétés physiques (liquéfaction) de l'effluent et d'augmenter aussi la valeur fertilisante par minéralisation partielle de celui-ci. Toutefois, cette technique n'entraîne pas, ou très peu, un abattement des teneurs en azote et ne joue donc pas de rôle dans la réduction de la charge azotée. Elle augmente cependant la proportion d'azote minéral dans l'effluent ainsi traité.

Par rapport à l'effluent de départ, le digestat présente un rapport carbone/azote plus faible, principalement dû à l'émission de carbone sous forme de biogaz. Le digestat est plus pauvre en matières organiques.



**Figure 2** : processus de dégradation anaérobie de la matière organique se produisant lors du stockage des effluents d'élevage.

Il en existe de différents types et dimensions selon la nature - solide ou liquide - et la quantité de l'effluent. Le principe de base reste le même. Pour un digesteur de type conventionnel, outre la cuve de fermentation l'installation comprend une régulation de la température, une sortie et une entrée du substrat, une sortie de gaz et éventuellement un système de mélange et de brassage (Figures 3, a et b).



**Figures 3** : digesteurs

- A) Caractéristiques : continu, biomasse libre, mélangé, mésophile.  
Paramètres : temps de rétention hydraulique de 10 à 20 jours, production de biogaz : 0,8 à 1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de réacteur/jour, rendement de DCO ± 40 %. (de La Farge 1995).
- B) Caractéristiques : continu, biomasse libre, mélangé, mésophile.  
Paramètres : volume 300 m<sup>3</sup>, production de biogaz : 400 à 1200 m<sup>3</sup>/j (Folkecenter 2000)



Les digesteurs sont classés selon leurs propres caractéristiques technologiques qui sont :

- L'approvisionnement : l'apport d'effluents dans le digesteur se fait de manière discontinue ou continue.
- La biomasse : La flore microbienne présente dans le digesteur est soit libre soit fixée :
  - la flore libre se développe principalement aux substrats à teneur élevée en matière solide. La biomasse est apportée soit par recirculation des boues, soit par ajout de nouvelles boues. Les digesteurs utilisant cette technique sont dits de "première génération".
  - la flore microbienne fixée se développe sur un garnissage (support immobile) ou à un lit fluidisé (support en suspension). Il s'agit des réacteurs de « seconde génération ». Cette technique est plus productive.
- Le mélange : Il n'est pas nécessaire pour que la fermentation s'instaure mais il permet d'homogénéiser les conditions du milieu. Le mélange permet de maîtriser le transfert des matières et d'éviter la formation non contrôlée des volumes morts et des courts-circuits à l'intérieur du réacteur. Il permet d'une part d'optimiser l'instauration et le réensemencement de la flore anaérobie et d'autre part une multiplication des contacts entre le substrat à digérer et la flore fixée. Il évite enfin les sédimentations incontrôlées responsables de la diminution du volume utile du réacteur.
- La température : Les fermenteurs sont chauffés et isolés thermiquement. Le chauffage des fermenteurs s'effectue généralement par circulation d'eau chaude dans une jaquette périphérique, par une paroi chauffante ou par un serpentin immergé dans le fermenteur. En ce qui concerne l'isolation, les matériaux utilisés sont d'origine synthétique (polyuréthane expansé, polystyrène expansé ou extrudé) ou naturelle (laine de verre, laine de roche, terre, argile granulaire expansée, vermiculite).

Une annexe importante au digesteur est le système de stockage du biogaz émis. Il peut être :

- à volume constant et à pression variable, dans ce cas, le lieu de stockage est une cuve en acier indéformable.
- Ou à volume variable et à pression constante : il s'agit de gazomètres à cloches, de ballons qui détermineront la pression du gaz, d'un ballon souple gonflé par le gaz soit directement dans le digesteur.

## I.6. Production de biogaz et bilan énergétique

Le biogaz est essentiellement composé de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> mais contient également d'autres gaz en quantité beaucoup plus faible comme le montre le tableau 3.

Gaz	Concentration en %
CH <sub>4</sub>	50-90
CO <sub>2</sub>	10-40

H <sub>2</sub>	1-3
N <sub>2</sub>	0,5-2
H <sub>2</sub> S	0,1-0,5
CO	0,0-0,1

**Tableau 3** : Composition chimique moyenne du biogaz

La valeur énergétique du biogaz est essentiellement fournie par le CH<sub>4</sub>. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de quantité de combustible. En effet, le PCI du CH<sub>4</sub> est de 36,5 MJ/m<sup>3</sup> ou 9,94 kWh/m<sup>3</sup>. Le PCI du biogaz est proportionnel à sa teneur en CH<sub>4</sub> :

$$\text{PCI biogaz} = Q \cdot 35,5 \text{ MJ/m}^3 = Q \cdot 9,94 \text{ kWh/m}^3$$

où Q est la teneur, en pourcent, de CH<sub>4</sub> dans le biogaz. On peut donc estimer le pouvoir calorifique moyen du biogaz, en sachant que sa teneur moyenne en CH<sub>4</sub> est de l'ordre de 60 %, à 21, 9 MJ/m<sup>3</sup> ou 5,96 kWh/m<sup>3</sup>.

Le biogaz peut subir une épuration à la sortie du digesteur pour améliorer son efficacité énergétique. Celle-ci tend à éliminer principalement le CO<sub>2</sub> et le H<sub>2</sub>S. Le CO<sub>2</sub> étant non combustible, le biogaz non épuré est moins calorifique (18 à 25 MJ/m<sup>3</sup> selon la proportion de CO<sub>2</sub>) que le CH<sub>4</sub> épuré (35,5 MJ/m<sup>3</sup>). La séparation du CO<sub>2</sub> permet également de diminuer le volume de stockage du gaz. Cette élimination se fait, par exemple, par passage sur une colonne de chlorure de calcium ou par lavage à l'eau puisque le CO<sub>2</sub> est très soluble (878 cm<sup>3</sup>/l à 20°C) au contraire du CH<sub>4</sub> (34 cm<sup>3</sup>/l à 20°C). Quant au H<sub>2</sub>S, il est piégé par passage du gaz sur de la limaille de fer (formation de FeS).

On obtient des quantités de biogaz très différentes selon le type de déchet organique introduit dans le digesteur. En effet, les déchets riches en matières grasses et riches en matières sèches donnent des productions de biogaz plus importantes. Jusqu'à présent, la plupart des installations agricoles produisent le biogaz par la fermentation du lisier produit sur l'exploitation. De plus en plus de procédés permettent maintenant d'associer d'autres déchets organiques au lisier. Le rapport coût/rendement de ces installations, dites de co-digestion, est nettement meilleur que celui d'une simple installation de fermentation du lisier. Les principaux substrats pouvant subir une fermentation anaérobie sont repris à la figure 4.

Les productions de biogaz sont extraites des publications de Weiland (1997), Kuhn (1995), Boudali et Debouche (2000), Gerin (2000), CEFÉ (1993), Luxen (2002).

Catégorie de matières/lisiers	Production de gaz	CH <sub>4</sub>
	Litre/kg Matière Organique	%
Hydrate de carbone	790	50
Graisses	1250	68
Protéines	700	71

<b>Lisier de bovins</b>	350	62
<b>Lisier de porcs</b>	400	62

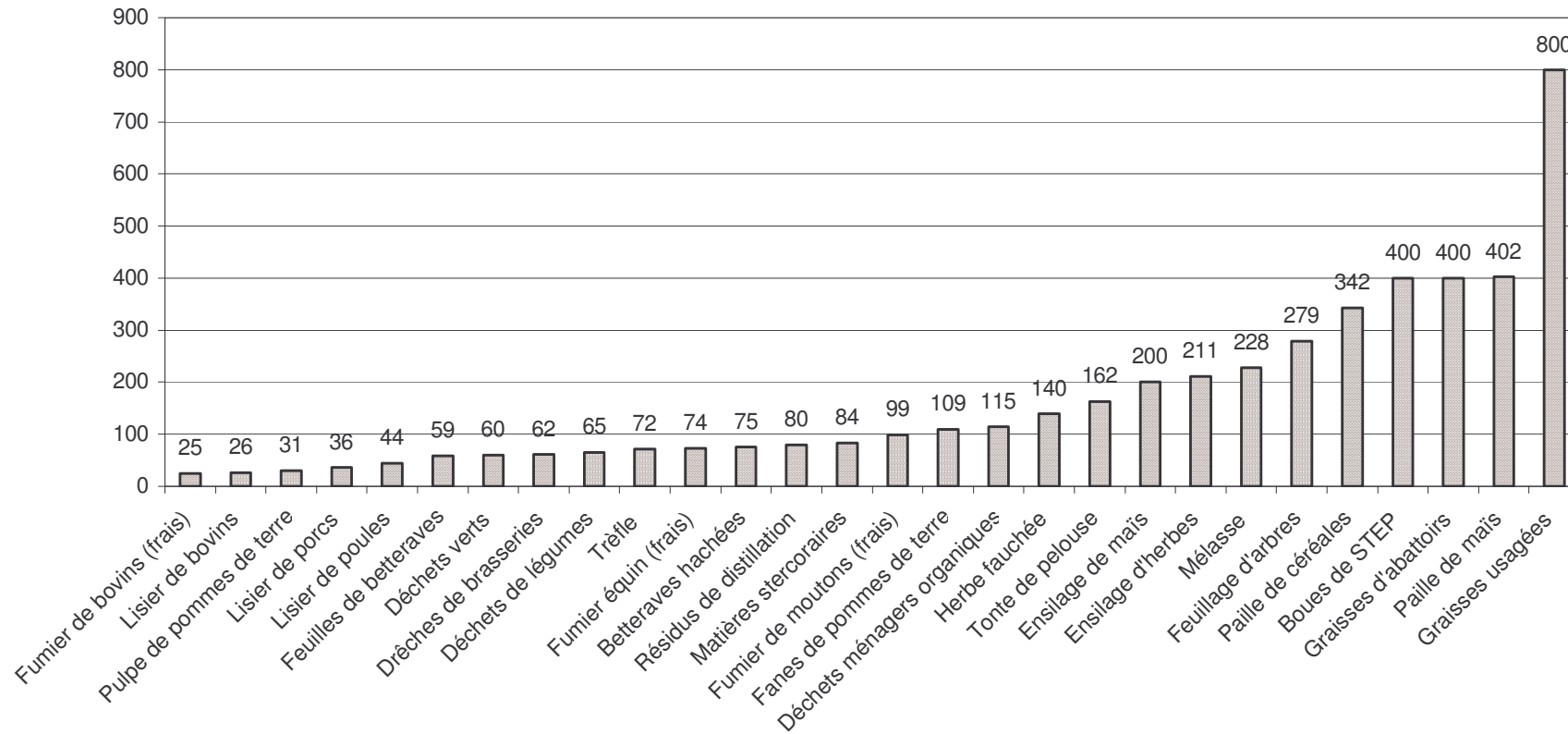
**Tableau 4 :** Production de gaz de différents substrats

On constate une grande variabilité dans la production de biogaz par tonne de matière entrante.

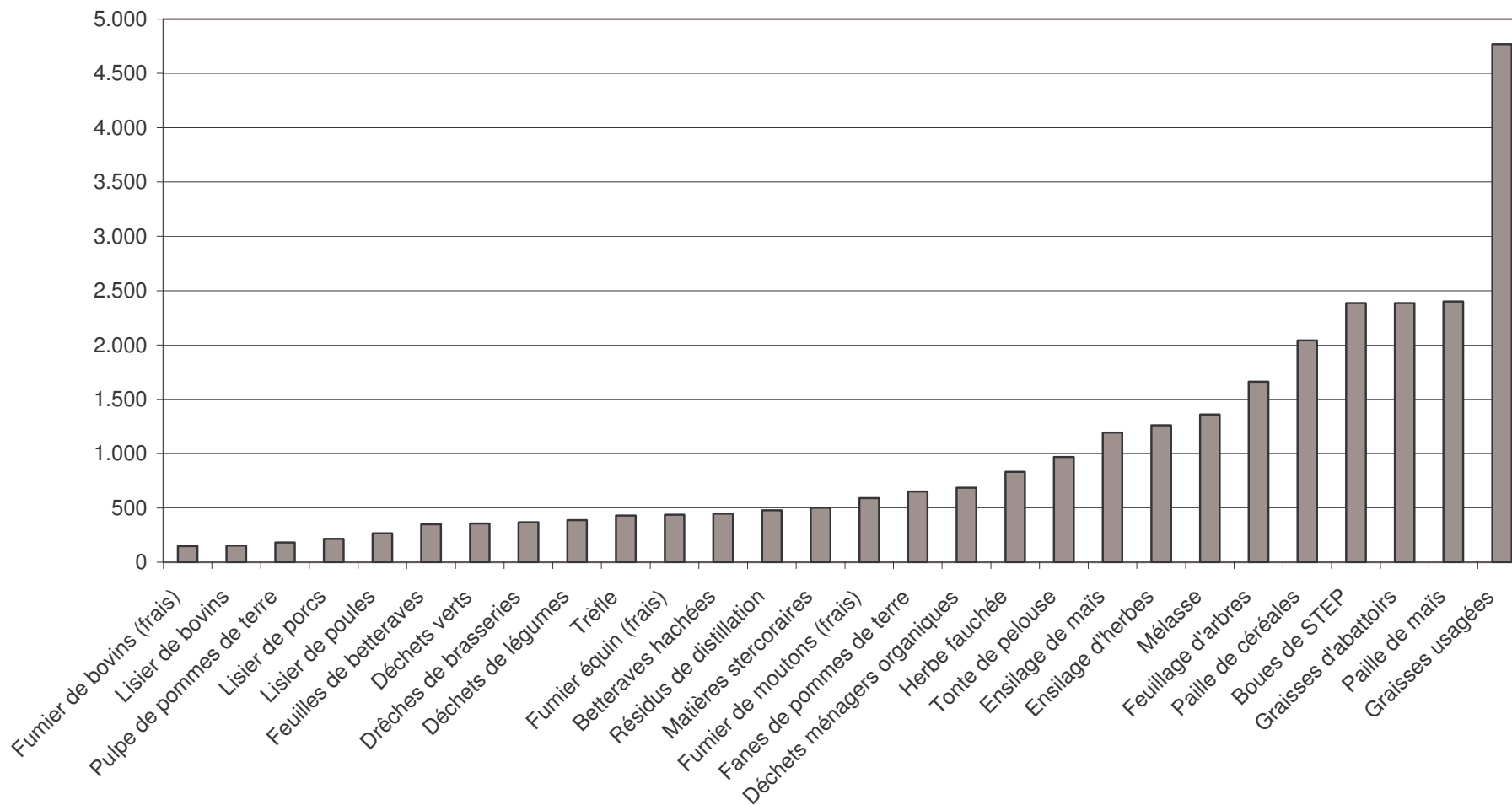
Ceci s'explique par la composition de ces différents produits. En effet, les déchets riches en matières grasses sont ceux qui donnent les valeurs de production les plus élevées (800 m<sup>3</sup>/tonne de graisses). La composition des produits à décomposer se répercute également sur la teneur en méthane (teneur en énergie) du biogaz. Mais de toutes les caractéristiques des substances digérées, c'est la teneur en matières sèches qui constitue le facteur déterminant, une teneur élevée en matières sèches donnant des productions de biogaz plus importantes.

Sur base d'un PCI de méthane de 9,94 kWh/m<sup>3</sup> et d'une teneur en méthane de 60%, il est estimé la quantité d'énergie brute produite par matière entrante (figure 5).

Figure 4 : Quantités de biogaz produit en m<sup>3</sup> par tonne de matière fraîche entrante



**Figure 5 : Quantités d'énergie brute produite en kWh par tonne de matière fraîche entrante  
(60 % de méthane dans le biogaz)**



## I.7. Pourquoi construire une installation de production de biogaz ?

### I.7.1. Intérêts de la biométhanisation

- Production d'énergie thermique et électrique.  
L'énergie thermique peut être utilisée pour couvrir les besoins énergétiques en cuisson dans les ménages et les structures sociales (école, hôpitaux, prisons, ...)  
L'électricité produite dite « électricité verte » peut être autoconsommée ou revendue. Elle est rémunérée via d'une part le prix de vente si revendue et d'autre part la vente des certificats de réduction d'émissions.
- Diminution des émissions « effet de serre ».  
Lors de la biométhanisation, le méthane, qui est 21 fois plus nocif que le CO<sub>2</sub>, n'est plus libéré de façon incontrôlée dans l'atmosphère.  
Une double économie est réalisée d'une part en récupérant le méthane et d'autre part en évitant les émissions en CO<sub>2</sub> résultant de la combustion d'énergie fossile.
- Technologie respectueuse de l'environnement.  
Le développement de la biométhanisation contribue à remplir les objectifs fixés lors de la conférence de Kyoto pour la protection du climat, à savoir réduire les émissions de gaz à effet de serre.
- Amélioration de la valeur agronomique.  
Le traitement par digestion anaérobie des effluents (d'élevage, d'abattoirs, d'industries agroalimentaires, de déchets organiques, etc.) permet de réduire sensiblement leur charge polluante et donc aussi les risques de pollution lors de son rejet en milieu naturel. De plus, la biométhanisation « stabilise » les effluents en éliminant les nuisances sanitaires (germes pathogènes) et olfactives (odeurs nauséabondes) ce qui constitue un avantage indéniable, surtout lors de l'épandage sur culture ou sur prairie.

La biométhanisation produit un résidu qui peut être valorisé comme amendement organique. La valeur fertilisante des effluents d'élevage méthanisés n'est pas affectée, et est même parfois améliorée : l'azote s'y retrouve en concentration relative (rapport C/N) souvent plus élevée et sous forme plus assimilable par les plantes, tandis que les éléments minéraux nutritifs persistent. En outre, la viscosité moindre de ce résidu facilite son épandage.

- Economie d'engrais minéraux et de produits phytosanitaires.  
Le lisier digéré peut effectivement remplacer en totalité ou partie de l'engrais minéral.

### ***I.7.2. Inconvénients de la biométhanisation***

Le principal inconvénient de la biométhanisation réside dans la lourdeur des investissements à consentir qui, malgré des frais de fonctionnement très faibles ( $\pm 2\%$  de l'investissement), sont économiquement assez dissuasifs.

Le biogaz est un gaz hautement inflammable et nécessite, de ce fait, un certain nombre de mesures de sécurité.

La biométhanisation ne constitue pas une solution définitive aux problèmes de la charge polluante des élevages. En effet, les excédents en azote et phosphate provenant des élevages ne sont pas éliminés et le volume des effluents n'est diminué que de 10 à 20%.

### **I.8. Conditions nécessaires pour envisager la mise en œuvre d'une installation de biométhanisation**

- Disposer continuellement de matières organiques (lisier, fumier, purin, plantes énergétiques, déchets verts, ...) de manière suffisante et constante.  
Il y a lieu de disposer de systèmes de stockage suffisants et autorisés.
- Disposer d'un produit entrant dont la matière sèche doit avoir au moins 10% et ce via l'apport de matières organiques exogènes à l'exploitation qui favorisent la production de méthane et réduisent la teneur en soufre (graisses végétales, tontes de pelouses, déchets végétaux, ...).
- Disposer de stockage permettant un temps de séjour de 20 à 40 jours de la matière organique au sein du digesteur.
- Etre technicien – mécanicien et disposer chaque jour d'un minimum de temps (2 à 4 h) pour alimenter, contrôler et suivre l'installation.
- Réaliser une installation compacte et bien isolée en veillant à obtenir un maximum de sécurité et être situé à proximité du site de valorisation de chaleur.
- Etudier la conformité au plan de secteur relative à la mise en place de ce type d'installation en fonction du type et de l'origine des matières organiques utilisées.
- Disposer de filière de valorisation du digestat soit en propre via les terres agricoles soit via une commercialisation.
- Avoir des possibilités de valoriser l'électricité soit en autoconsommation soit via la vente au réseau. Dans ce cas, la proximité d'un réseau de distribution est nécessaire.
- Avoir des possibilités de valoriser la chaleur soit par chauffage d'habitation, d'exploitation porcine ou avicole, ... ou la transformation d'électricité.
- Etre dans les conditions pour bénéficier des aides.

### **I.9. Démarches à suivre en vue de mettre en œuvre une installation de biométhanisation.**

#### ***I.9.1. Présentation du projet***

Il y a lieu au préalable :

- a. d'estimer le gisement en matières organiques qui pourrait faire l'objet d'une biométhanisation, la conformité, la qualité et la compatibilité de la biomasse humide mise en œuvre ;
- b. d'établir l'origine des matières (en propre ou en apport exogène), d'évaluer la régularité de l'approvisionnement ;
- c. d'évaluer les besoins en électricité et en chaleur ;
- d. de préciser la situation géographique et juridique du lieu d'implantation de l'unité de biométhanisation ;
- e. d'évaluer le niveau d'éloignement du réseau de distribution d'électricité.

### ***1.9.2. Etude de préfaisabilité***

Sur base des renseignements repris ci-avant, le porteur du projet :

- étudiera la conformité du projet au niveau de l'urbanisme et du plan de secteur ;
- calculera la production en biogaz, estimera la production en électricité et en chaleur et évaluera la manière la plus optimale de valoriser ces énergies ;
- analysera les investissements nécessaires pour la mise en œuvre de l'unité de biométhanisation, et étudiera les aides applicables au projet ;
- évaluera la rentabilité de l'installation sur base des prix de revente de l'électricité, de l'économie énergétique engendrée, d'autres facilités en vigueur dans le pays (Certificat de réduction d'émissions, etc)

## **Dispositifs et éléments de sécurité**

### **Principes**

Les réacteurs pour biogaz (cuves de fermentation, digesteurs) et les installations de stockage du gaz (gazomètres, réservoirs sous pression) doivent être équipés de dispositifs de sécurité qui empêchent d'avoir une variation trop importantes de la pression.

Les obturateurs liquides à titre de dispositif de sécurité doivent être placés de telle manière qu'en cas de sous – ou de surpression, le liquide obturant ne déborde pas et que lorsque la sous – ou la surpression disparaît, il reflue automatiquement.

La conduite d'arrivée vers le dispositif de sécurité en cas de sous – ou de surpression ne doit présenter aucune possibilité d'obturation.

Ces dispositifs de sécurité doivent être conçus et placés de telle manière que si du gaz venait à s'échapper, il s'échappe à l'extérieur et non dans les bâtiments et dans les puits.

Les conduites d'évacuation des dispositifs de sécurité pour sous – et surpression doivent déboucher à l'extérieur au-dessus du niveau du toit.

### **Dispositifs de sécurité spéciaux en cas de sous-pression et de manque de gaz**

Le système doit être protégé efficacement contre la dépression (arrivée d'oxygène). Dans les installations qui travaillent en accumulation (fonctionnement discontinu), il faut prévoir des réservoirs de gaz de compensation.

Les pompes et les souffleries à gaz, ou les compresseurs, doivent par exemple être équipés de pressostats de pression minimale. Des dispositifs de sécurité permettent de garantir les



pressions de fonctionnement nécessaires au récepteur. Le déclencheur de sécurité doit être conçu de telle manière qu'il stoppe la centrale thermique (source d'ignition) avant que le dispositif de sécurité anti-sous-pression du réservoir de gaz ne se déclenche et ferme la vanne magnétique d'arrivée du gaz.

Les dispositifs de sécurité en cas de sous – et de surpression doivent être protégés des intempéries et tropicalisés.

### **Dispositif anti-retour de flammes**

Des dispositifs anti-retour de flammes doivent être placés entre la cuve de fermentation et le réservoir de gaz, ainsi qu'avant chaque récepteur. Seules les armatures testées par des organismes reconnus devront être autorisées.

Elles doivent être installées selon les indications du constructeur en fonction des dimensions et de la distance les séparant de la source d'inflammation potentielle.

Elles devraient pouvoir être nettoyées et entretenues facilement.

### **Dispositifs d'arrêt**

Des dispositifs d'arrêt doivent être placés dans les conduites de gaz avant toutes les pièces de l'installation qui servent à produire, stocker, traiter ou valoriser du biogaz.

Les principaux dispositifs d'arrêt doivent être placés dans des endroits faciles d'accès.

### **Désulfuration par apport d'air dans les réservoirs de gaz des cuves de fermentation**

La pompe de dosage d'air doit être réglée de telle manière que le système de gaz ne présente aucun danger. Le débit ne doit pas dépasser 4 à 6 % de volume de biogaz produit durant la même période. Il faut choisir un type de pompe qui ne refoule pas de grosses quantités d'air. Le responsable de l'installation adapte régulièrement la quantité d'air à la quantité de gaz.

La conduite d'arrivée dans le réservoir à gaz doit être équipée d'un clapet anti-retour qui empêche le gaz de refluer.

### **Conduites de gaz**

Les conduites et les armatures doivent être fabriquées dans les matériaux appropriés. Elles doivent être faciles d'accès, et placées de préférence en surface.

En général, il convient d'utiliser des conduites en acier. Les zones équipées de conduites de gaz inoxydables, soudées sur toute la longueur n'ont pas besoin de mesures spéciales en matière d'aération ou de protection contre les explosions.

Les pièces en plastique doivent être protégées contre l'usure mécanique et conviennent seulement pour les parties souterraines de l'installation. Le passage à la conduite en acier non inflammable doit se faire en surface et à l'extérieur des bâtiments. A l'intérieur des bâtiments, les armatures et les conduites de l'installation de gaz ne doivent pas être en plastique.

Les conduites de gaz souterraines, enterrées ou placées dans des canaux requièrent l'application des mesures de sécurité suivantes :

- utilisation de conduites de gaz sans raccords amovibles (conduites soudées sur toute la longueur) ;

- aération suffisante du local ou du canal et suppression des sources inflammables en cas d'utilisation de conduites de gaz avec raccords amovibles ;
- protection contre la corrosion ;
- les conduites de gaz doivent présenter une pente par rapport au séparateur.

## **Séparateur**

La vidange de vapeur doit se faire sans que le biogaz ne s'échappe dans l'espace. Il existe un dispositif qui garantit qu'aucun biogaz ne s'échappe du séparateur lors de la vidange, ce sont les sas ou les conduites d'évacuation qui conduisent à l'extérieur sous forme de circuit fermé. Sur les purgeurs de compresseur à fermeture hydraulique, la colonne d'eau doit pouvoir atteindre au moins le double de la pression de fonctionnement.

## **Installations électriques / Protection contre la foudre**

Les installations électriques doivent être réalisées selon les directives de l'ASE. Les cuves de fermentation et les réservoirs de gaz construits en surface doivent être équipés d'un dispositif de protection contre la foudre conformément aux directives de l'ASE. Les équipements électriques (moteurs électriques) et le mode d'installation doivent satisfaire les exigences de l'Association suisse des électriciens (ASE) ou toute autre norme en vigueur.

Lors de la mise en place des installations électriques et du dispositif de protection contre la foudre, il faut veiller à la protection contre la corrosion.

## **Risques d'incendie et d'explosion, interdiction de fumer**

Le risque d'incendie et d'explosion ainsi que l'interdiction de fumer doivent être signalés par des panneaux bien visibles. A proximité immédiate des cuves de fermentation et des réservoirs de gaz, il est interdit de fumer ou d'approcher tout type de flamme.

## **Inspection de l'installation**

Avant la mise en service, l'installation de biogaz doit être inspectée par les autorités responsables.

Un procès-verbal d'inspection doit être établi et comprendre toutes les informations significatives.

## **Mise en valeur du biogaz**

### **Locaux équipés de moteurs à gaz et de chaudières**

Seuls les appareils testés par la SSIGE et reconnus par l'AECA peuvent être utilisés comme consommateurs (chaudière, brûleur, moteur à gaz, etc.). Les appareils de chauffage jusqu'à 70 kW exigent un local dont la résistance aux incendies est classée F30/T30 ; ceux qui dépassent les 70 kW exigent un local de catégorie F60/T30.

La mise en place doit se faire selon les principes liés au gaz (G1), ou les directives pour la construction et le fonctionnement de chauffages au gaz (G3) de la SSIGE.

Il convient d'installer le moins possible d'armatures dans les locaux où sont placés les consommateurs.

La conduite de gaz doit être pourvue d'un dispositif d'arrêt commandé par le consommateur, permettant d'interrompre l'arrivée de gaz en phases de veille.

### **Torchères à gaz ou équipement de transformation supplémentaire**

Il existe certaines règles régissant l'évacuation de biogaz en cas de pannes des dispositifs de valorisation du gaz.

Ci-après quelques précautions à prendre :

- pour tenir compte de la protection contre les incendies et les explosions, le biogaz doit être évacué au-dessus du niveau du toit, de manière appropriée ;
- si l'interruption de la valorisation du gaz dure plus de deux jours, il est recommandé de régler ou de réduire l'alimentation du réacteur dans la mesure où l'installation le permet.
- Si, après que les mesures appropriées aient été prises pour réduire la production de gaz, les quantités de gaz dépassent un débit de 20 m<sup>3</sup>/h, soit 480 m<sup>3</sup>/j, il faut prévoir un autre consommateur de gaz (p. ex. brûleur, torche).

### **Fonctionnement et entretien**

- Le fonctionnement et l'entretien des installations de biogaz ne doivent être confiés qu'à des personnes fiables et compétentes.
- Le constructeur doit fournir un mode d'emploi et un guide de maintenance précis.
- Les dispositifs de sécurité doivent être contrôlés périodiquement. Avec les systèmes qui fonctionnent avec de l'eau, il faut éviter la formation de glace en plaçant les installations en conséquence ou en abaissant le point de congélation de l'eau.
- Lorsque la cuve de fermentation est ouverte pour évacuer les boues ou pour des réparations, elle doit être ventilée à fond avant que quiconque y pénètre.
- Pour tous travaux de soudure, il convient de prendre les mesures de sécurité nécessaires.
- En période de fonctionnement, la cuve de fermentation ne doit être vidangée que dans la mesure où dans le stockage, il y a toujours assez de gaz pour remplir le volume qui se libère dans la cuve.