

La méthanisation connaît depuis trois décennies un développement constant en Europe et en France. En Chine, en Inde, en Amérique Latine, la pénétration de la technologie est plus récente, mais son développement est exponentiel.

Cet accroissement fait clairement écho à des évolutions contextuelles majeures : normes de rejets de plus en plus sévères, contraintes de plus en plus fortes sur l'évacuation des boues, tensions sur le foncier...

Pendant des décennies, la méthanisation a été l'apanage des industries productrices de gros volumes d'effluents riches en matière organique. Au terme de plusieurs années d'innovation technique, son champ d'application s'est élargi. Les facteurs limitants - volumes et surtout charge organique des effluents - se sont abaissés.

Premier panorama de la filière, cette brochure dresse un état des lieux de la technologie sur le bassin Adour-Garonne, éclairé par des données collectées hors bassin.

Elle donne des repères chiffrés sur les excellentes performances de la technologie en terme de dépollution. Elle prend également acte de la nouvelle donne énergétique. Celle-ci pourrait donner un regain d'intérêt à la méthanisation dans certaines configurations. Dans le contexte actuel, les investissements dans une chaîne de traitement dotée de l'option méthanisation sont encore supérieurs aux investissements réalisés sur les chaînes de traitement aérobies. Ce surcoût est généralement récupéré en quelques années par les économies d'exploitation. Raison de plus pour s'y intéresser d'un peu plus près...



**Agence de l'Eau Adour-Garonne**

90, rue du Férétra  
31078 Toulouse Cedex 4  
Tél.: 05 61 36 37 38  
Fax: 05 61 36 37 28  
www.eau-adour-garonne.fr

**Délégation de Bordeaux**

Quartier du Lac  
Rue du Professeur André Lavignolle  
33049 Bordeaux Cedex  
Tél.: 05 56 11 19 99  
Fax: 05 56 11 19 98  
Départements: 16-17-33-47-79-86

**Délégation de Brive**

94, rue de Grand Prat  
19600 St-Pantaléon de Larche  
Tél.: 05 55 88 02 00  
Fax: 05 55 88 02 01  
Départements: 15-19-24-63-87

**Délégation de Pau**

7, passage de l'Europe  
64000 Pau  
Tél.: 05 59 80 77 90  
Fax: 05 59 80 77 99  
Départements: 40-64-65

**Délégation de Rodez**

Rue de Bruxelles - Bourran  
BP 3510  
12035 Rodez Cedex 9  
Tél.: 05 65 75 56 00  
Fax: 05 65 75 56 09  
Départements: 12-30-46-48

**Délégation de Toulouse**

46, av. du Général Decrouste  
Basso Cambo  
31100 Toulouse  
Tél.: 05 61 43 26 80  
Fax: 05 61 43 26 99  
Départements: 09-11-31-32-34-81-82

# LA MÉTHANISATION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS

Février 2006

Retours  
d'expériences  
sur le bassin  
Adour-Garonne



Afin d’avoir une vision précise des problèmes posés et des solutions adaptées, l’Agence de l’Eau conduit ou s’associe à des programmes d’études ou de recherche.  
L’Agence de l’Eau, établissement public du ministère de l’Écologie et du Développement durable, participe au financement de travaux pour l’aménagement des ressources en eau et la réduction des pollutions.

# Sommaire

<b>1 Panorama sur la méthanisation des effluents industriels</b>	4
Le principe	4
Trois décennies de développement	4
L’avance européenne	5
<b>2 La méthanisation : très efficace, mais pas à 100 %</b>	8
Des performances avérées	8
Mais une technologie plus exigeante	9
Une large gamme d’effluents concernés	10
<b>3 La chaîne de traitement</b>	11
Les pré-traitements	11
La méthanisation	11
Le traitement de finition	16
La chaîne de traitement des boues	16
La gestion et la valorisation du biogaz	17
<b>4 Économie de la méthanisation</b>	18
Les investissements	18
Les coûts et recettes d’exploitation	19
Les économies générées par le process	19
Comparaison en coût global des filières « anaérobie » et « aérobie »	20
<b>5 L’avis des industriels</b>	21
<b>6 L’offre commerciale et industrielle</b>	22
Les concepteurs/constructeurs ayant des références en méthanisation industrielle en France	22
Autres sociétés opérant en méthanisation industrielle	25
<b>7 En savoir plus</b>	26

Une co-édition  
Agence de l’Eau Adour-Garonne/SOLAGRO 2006

**SOLAGRO**  
75, voie du TOEC  
31076 TOULOUSE CEDEX 3  
Tél. : 05 67 69 69 69  
email : solagro@solagro.asso.fr  
www.solagro.org  
www.lebiogaz.info

**Agence de l’Eau Adour-Garonne**  
90, rue du Férétra  
31078 TOULOUSE CEDEX 04  
Tel : 05 61 36 37 38  
Contact : Eric Gouzenes  
email : contact@eau-adour-garonne.fr  
www.eau-adour-garonne.fr

**Rédaction**  
Christian COUTURIER, Sylvaine BERGER,  
Isabelle MEIFFREN (SOLAGRO)  
SOLAGRO est une association dont l’objectif  
est de promouvoir des techniques et pratiques  
participant « d’une gestion économe, solidaire et  
de long terme des ressources naturelles ».  
Elle agit dans les domaines de l’énergie, de  
l’environnement et de l’agriculture. L’étude des  
technologies et des potentialités offertes par la  
digestion anaérobie en termes de dépollution,  
de production d’énergie renouvelable et de  
retour au sol des matières organiques est au  
cœur de son action depuis plus de 20 ans.

Pré-presse : Agence Contours  
Impression : Les Parchemins du Midi  
ISBN : 2-916376-01-1  
Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trimestre 2006

**Remerciements**  
Que soient vivement remerciés ici les industriels  
qui ont mis à notre disposition les données  
nécessaires à la réalisation de ce travail.

**Crédit photos**  
SOLAGRO - REVICO (Marcel MÉNIER) - LINDE  
PROPERTOL - BIOTIM - VEOLIA

Cette brochure synthétise les données collectées en 2003 dans le cadre d’une étude intitulée  
« Etat de l’art du traitement anaérobie des déchets et effluents industriels et retours  
d’expérience sur le bassin Adour-Garonne » (Agence de l’Eau Adour-Garonne, ADEME,  
SOLAGRO).  
Elle s’appuie sur les monographies de 11 unités de traitement installées en Adour-Garonne,  
représentatives de la plupart des industries concernées. Elle est abondée par divers travaux et  
données collectées par les auteurs sur ces questions.

# Avant propos

## Les deux dimensions de la méthanisation

L'Agence de l'Eau et l'ADEME ont confié à SOLAGRO une étude afin d’inventorier les sites industriels du bassin Adour-Garonne ayant une étape de méthanisation dans leurs filières de dépollution. Les informations recueillies sur le terrain ont été complétées par des données collectées dans toute la France et bien au delà.

Principal enseignement : la méthanisation des effluents industriels est sortie de son pré-carré historique que représentaient les industries agroalimentaires. Elle a investi, le plus souvent avec succès, de nouveaux secteurs.

La première raison, mise en avant par les industriels eux-mêmes : de très bonnes performances en terme de dépollution, une faible production de boues excédentaires et une consommation d'énergie moindre. Autres points mis fréquemment en exergue : à rendement égal, des besoins fonciers plus réduits et une mise en route très rapide, bien adaptée aux activités saisonnières.

La deuxième dimension de la méthanisation tourne autour de la production d'énergie. Elle interpelle désormais certains maîtres d'ouvrages, actuels ou potentiels. Il a donc paru opportun d'ajouter à cette étude des éléments technico-économiques afin de situer la méthanisation par rapport aux modes de traitements strictement aérobies, à la fois du point de vue des performances épuratoires, mais aussi énergétiques.

Bien que le parallèle entre traitement aérobie et anaérobie soit difficile compte tenu de la diversité des situations rencontrées, ces comparaisons donnent une vision globale des atouts et des contraintes de la méthanisation, depuis l'entrée des effluents dans la chaîne de traitement jusqu’à leur rejet dans le milieu naturel.



# Panorama sur la méthanisation des effluents industriels

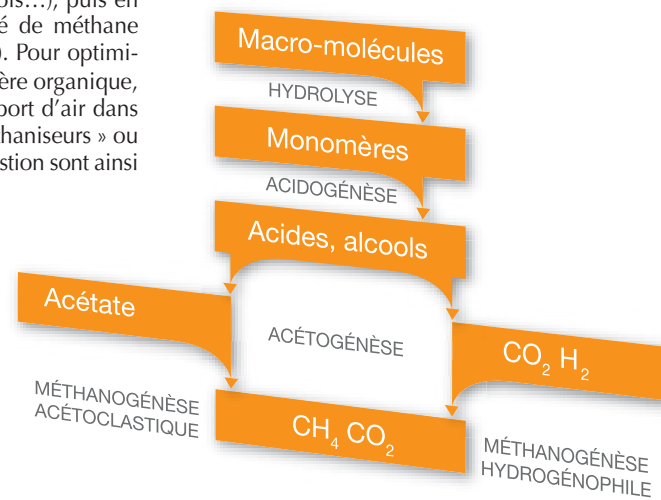
## 1 Le principe

Le biogaz contient de 65 % à 85 % de méthane ( $\text{CH}_4$ ) en fonction du type d'effluent.

Naturelle et spontanée, la méthanisation est un processus biologique de dégradation de la matière organique par une flore microbienne qui se déclenche en condition anaérobie.

Différents consortiums de micro-organismes transforment les substrats organiques complexes en molécules simples (monomères : acides, alcools...), puis en biogaz, gaz majoritairement composé de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Pour optimiser la vitesse de dégradation de la matière organique, la méthanisation est conduite sans apport d'air dans des enceintes confinées appelées « méthaniseurs » ou « digesteurs ». Les paramètres de la digestion sont ainsi maîtrisés.

### Les étapes de la méthanisation



### LES ÉTAPES DE LA MÉTHANISATION

Étape	Réactifs ► produits	Commentaires	Vitesse de croissance des bactéries mises en jeu
Hydrolyse	Polymères ► monomères	Anaérobie facultatif	Lente
Acidogénèse	Monomères ► acides, alcools, ammoniacque...	Anaérobie facultatif	Très rapide
Acétogénèse	Acides, alcools ► acide acétique, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$	Anaérobie strict	Très lente
Méthanogénèse acétoclastique	Acide acétique ► Biogaz	Anaérobie strict Environ 70 % de la production de méthane	Lente. Sensible aux variations des conditions d'environnement (pH, température, agents toxiques, variation de concentration d'effluents...).
Méthanogénèse hydrogénophile	$\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ ► Biogaz	Anaérobie strict Environ 30 % de la production de méthane	

## Méthanisation ou digestion anaérobie

Nous utilisons ici de manière indifférente les termes de « méthanisation » et de « digestion anaérobie » ou encore de « traitement anaérobie » des effluents même si certains auteurs tiennent à différencier la méthanisation de la digestion. Le terme de méthanisation s'applique préférentiellement aux effluents liquides peu chargés en matières en suspension (MES) tandis que le terme de digestion anaérobie fait davantage référence à des effluents fortement chargés (plusieurs dizaines de grammes de MES/litre). Les temps de séjours sont de quelques heures à quelques jours dans les méthaniseurs et de plusieurs jours voire plusieurs semaines dans les digesteurs.

## 2 Trois décennies de développement

### Des premiers pas des années 1970 aux grandes unités des années 80

La méthanisation est un procédé connu depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Il fut d'abord appliqué aux boues urbaines

- il l'est encore très largement<sup>1</sup> - puis aux déjections d'élevage. Au cours des années 1960, les premiers essais sont effectués sur des effluents industriels, moins riches en matières en suspension et en charge organique.

L'invention par une société hollandaise de la technologie à lit de boues à courant ascendant ou UASB (Upflow Anaerobic Sludge Banket) donne une impulsion décisive à la méthanisation dans les pays développés. Des granules de 0,5 à 2 mm de diamètre servent de structure de fixation et de croissance pour les populations bactériennes. Elles se multiplient beaucoup plus facilement, d'où une augmentation des performances épuratoires et de la vitesse de sédimentation des boues résiduelles.

Les chocs pétroliers de 1973 puis 1979 popularisent cette technologie. On découvre qu'elle est non seulement très économe en énergie mais qu'elle produit fort opportunément tout ou partie de l'énergie nécessaire à son propre fonctionnement.

1985 : le contre-choc pétrolier n'a qu'une faible incidence sur le développement. En Europe, le nombre d'installations de tailles industrielles passe entre 1987 – 1994 de 200 à 400, soit un doublement en 7 ans (Nyns, 1994). Autrement dit, la méthanisation reste compétitive vis-à-vis des traitements aérobies dans de nombreuses configurations, indépendamment de son intérêt énergétique. Dans le même temps, chercheurs et constructeurs améliorent les procédés. La gamme d'application se diversifie, même si l'agroalimentaire reste, antérieurement oblige,

le principal secteur. Quelques réalisations voient le jour dans la chimie, l'industrie pharmaceutique, la pétrochimie. Elles seront rapidement suivies par d'autres. C'est à cette époque que sont mises en service les plus grandes unités de méthanisation d'effluents industriels de France. Deux sont situées dans le bassin Adour-Garonne : la distillerie de l'Union des caves vinicoles d'Aquitaine (UCVA) à Coutras, en Gironde et l'unité de traitement des vinasses REVICO, en Charente.

La méthanisation est compétitive dans de nombreuses configurations, indépendamment de son intérêt énergétique.

### Années 1990 : nouveaux secteurs, nouvelles gammes, nouveaux continents

L'innovation fiabilise et améliore les procédés. Capable de traiter des plus petits volumes, ou des effluents peu chargés (à partir de 1 à 1,5 gramme de DCO/l), la méthanisation devient accessible à des petites et moyennes entreprises comme les caves coopératives. Cette période est également marquée par la pénétration de la technologie en Chine, Inde, Japon, Amérique Latine, le développement y étant depuis, en croissance très rapide.

## 3 L'avance européenne

### Le parc en Europe

En nombre d'installations, l'Allemagne, la France et surtout les Pays-Bas (en tête toutes catégories eu égard à sa population) occupent la première place. L'Union Européenne reste la première région du monde, loin devant les USA, du fait peut être de son avance technologique, liée à la mise au point des procédés UASB et de leurs dérivés, aux Pays-Bas.

### En France

Deux sites industriels équipés en méthanisation dans les années 80, 99 sites en 2002, 103 sites en 2003 ; une dépollution abattue qui dans le même temps passe de 10 tonnes de DCO /jour à un peu moins de 900 : la progression est spectaculaire et surtout continue. Plus près de nous, sur la période 2001-2003, l'installation d'unités industrielles augmente de 25 %. Elle concerne autant des unités de petite capacité (caves vinicoles, laiteries) que des installations de grande capacité (brasseries, papeteries).

Le bassin Adour-Garonne compte une trentaine de méthaniseurs ventilés au sein de 21 établissements industriels (5 papeteries, 2 unités de traitement de vinasses, 1 distillerie, 3 conserveries et 10 caves vinicoles). Certains sites possèdent 4 méthaniseurs.

### Nombre de sites industriels équipés en méthanisation dans quelques pays

PAYS	NOMBRE
Grèce	2
Finlande	3
Portugal	3
Danemark	5
Suède	8
Canada	13
Suisse	20
Autriche	25
Belgique*	25
Royaume-Uni	26
Espagne	27
Italie	38
Pays-Bas	84
Allemagne	91
France*	103
TOTAL UE 15*	473
États-Unis d'Amérique	92

(Source : IEA, 2001, et estimation SOLAGRO dans le cadre des statistiques nationales biogaz réalisées en 2001, 2002, 2003 pour OBSERV'ER et l'Observatoire de l'Énergie)

#### ▲ Matières sèches (MS)

Pour évaluer le degré de dépollution des boues urbaines, l'une des unités utilisées est la teneur en matières sèches (MS) des boues.

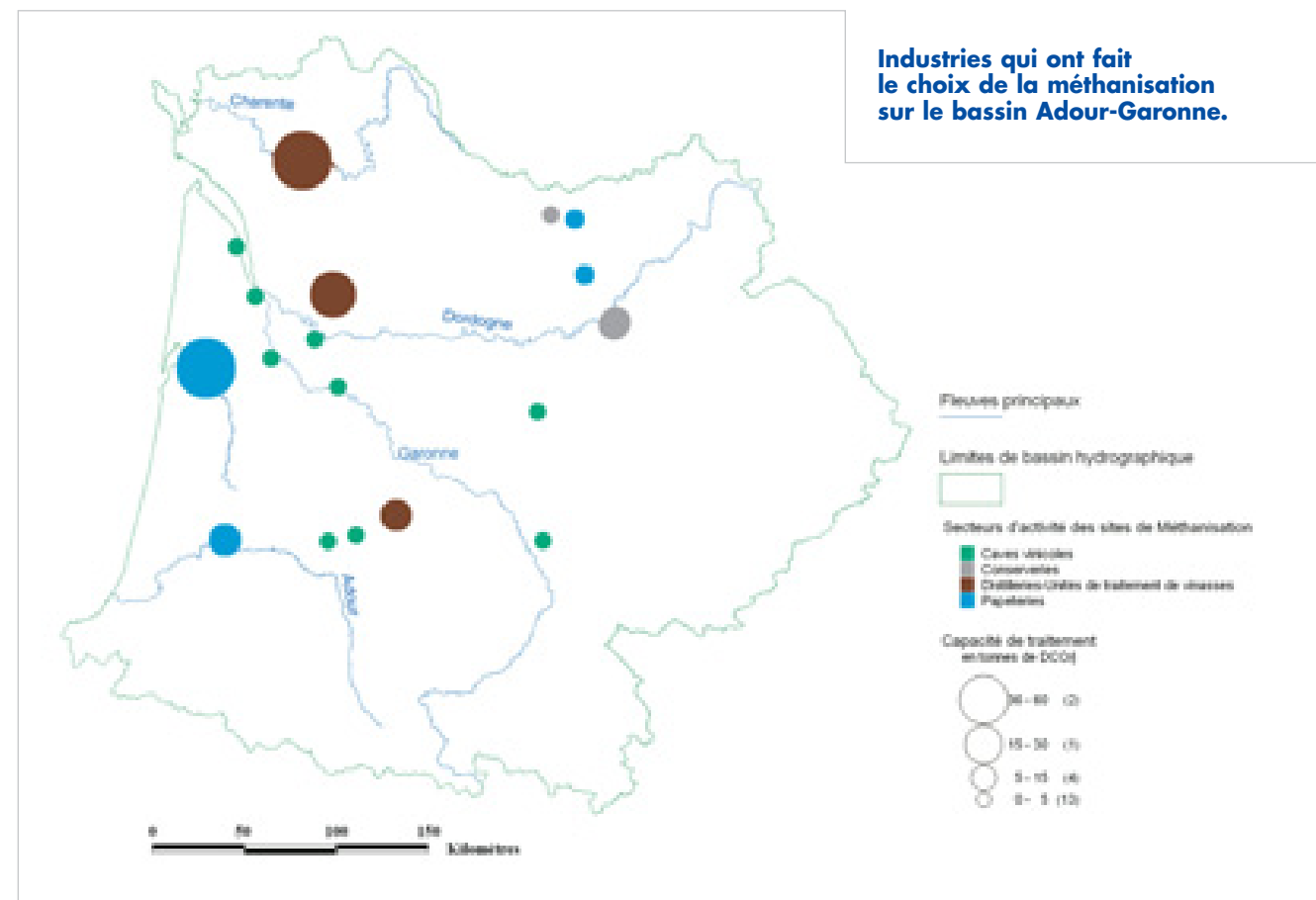
#### ▲ Les matières en suspension (MES)

Elles englobent les matières grossières (décantables ou flottables) ainsi que les matières en suspension organiques ou minérales, fines et insolubles.

#### ▲ Demande chimique en oxygène (DCO)

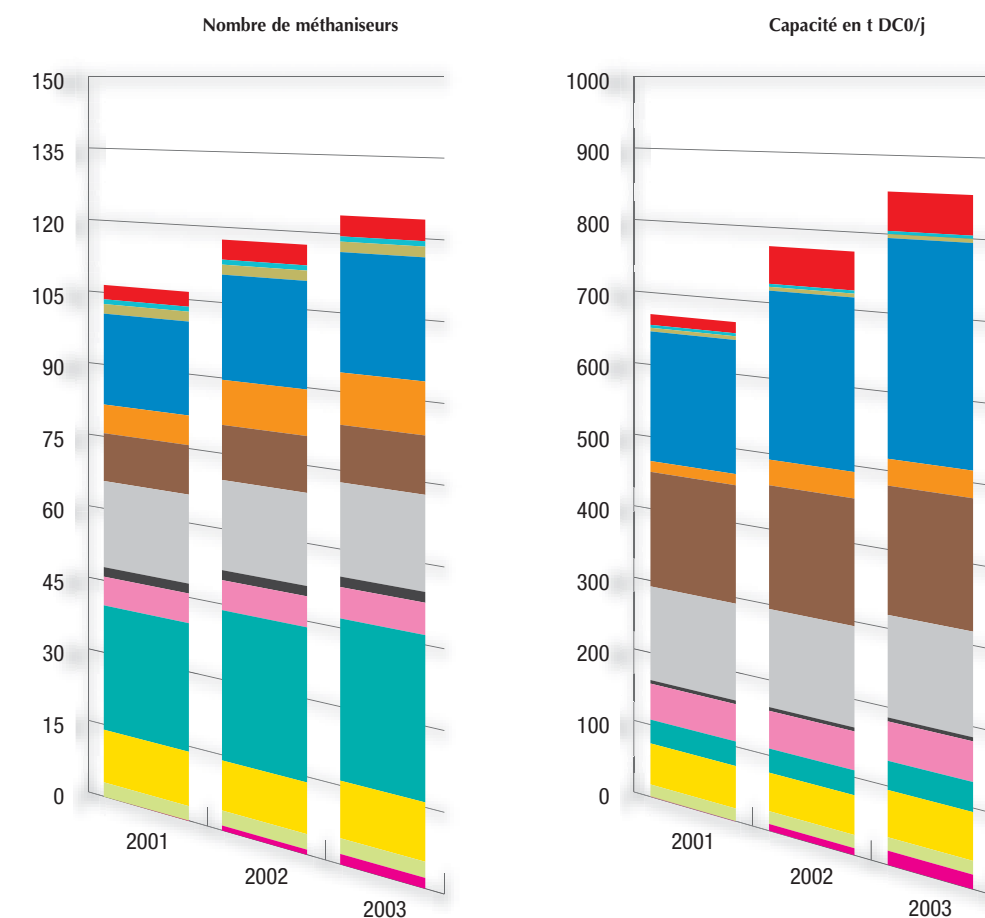
Pour les effluents industriels, la DCO est l'unité de mesure de dépollution classiquement utilisée. La DCO donne une évaluation grossière de la quantité de matières oxydables (organiques ou chimiques) présentes dans un substrat.

<sup>1</sup> La digestion anaérobie des boues : état de l'art, état des lieux en France, Agence de l'Eau Adour-Garonne/SOLAGRO 2001 - En libre téléchargement sur [www.solagro.org](http://www.solagro.org)



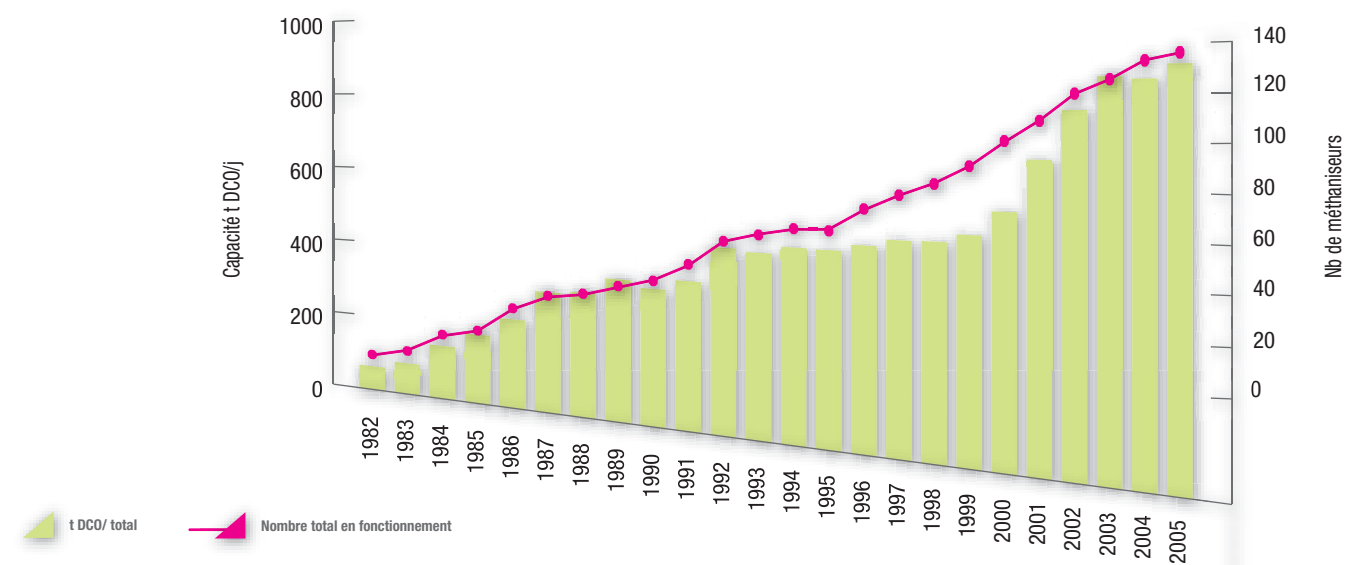
### Nombre de méthaniseurs et capacité de traitement en t DCO/j sur 2001-2003 par branche

La progression de la quantité de DCO traitée dans l'industrie papetière est significative, tandis que le secteur vinicole se distingue par un plus grand nombre de méthaniseurs mais de petites capacités.



### Évolution de la méthanisation dans l'Industrie entre 1982 et 2004 en France

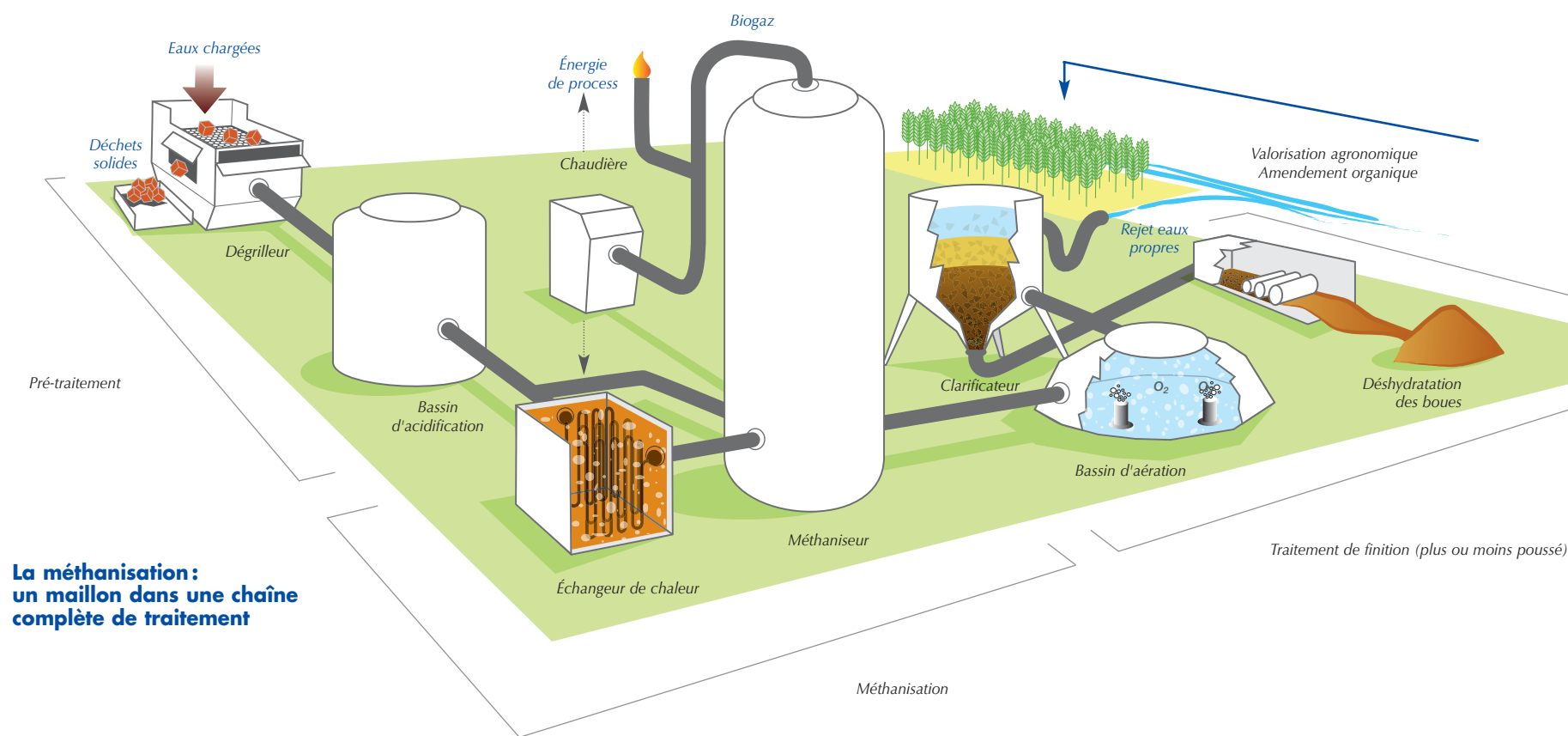
Une progression constante du nombre de digesteurs et de la capacité de traitement (source SOLAGRO 2005)



## 2 La méthanisation : très efficace, mais pas à 100 %

Si la méthanisation élimine jusqu'à 90 % de la DCO, sa plage de rendement varie de 50 à 90 % en fonction des effluents et des installations. Pour atteindre les objectifs réglementaires autorisant leur rejet dans le milieu naturel, les effluents subissent des traitements

complémentaires : clarification ou flottation avec dans certains cas, un traitement de finition aérobie. Ce traitement aérobie complémentaire assure en général un abattement de 90 % de la pollution résiduelle (soit environ 10 % de la charge initiale en DCO).



**La méthanisation : un maillon dans une chaîne complète de traitement**

### 1 Des performances avérées

Au-delà de la seule DCO abattue, les chaînes de traitement avec méthanisation se distinguent des chaînes strictement aérobies par :

- ▲ une plus faible production de boues,
- ▲ de faibles consommations d'électricité et de nutriments,
- ▲ une capacité à répondre aux variations de charge,
- ▲ une production de biogaz, une énergie valorisable et généralement valorisée sur site,
- ▲ une moindre emprise foncière.

#### La production de boues

30 à 50 tonnes de matières sèches/tonne de DCO sont produites en anaérobie, contre 200 à 270 tonnes de matières sèches/tonne de DCO éliminée en aérobie. Les boues issues d'un traitement anaérobie se décantent plus facilement. Leur concentration en MS est en moyenne supérieure d'un facteur 3.

#### La consommation d'électricité

Elle est en moyenne 5 à 7 fois plus faible sur les chaînes dotées d'une étape anaérobie qu'en aérobie strict. L'apport d'oxygène en aérobie est un poste très gourmand en énergie, l'oxygène étant peu soluble dans

l'eau. En anaérobie, la consommation d'énergie électrique intervient uniquement pour le pompage et éventuellement la re-circulation des effluents. Les économies par rapport au traitement aérobie sont de l'ordre de 0,6 kWh électrique par kg de DCO éliminée.

#### La consommation de nutriments (urée et acide phosphorique)

Elle est 4 à 5 fois moindre. Les bactéries anaérobies sont beaucoup moins exigeantes de ce point de vue que les bactéries aérobies<sup>2</sup>.

#### La production de biogaz

Le potentiel d'énergie récupérable est de l'ordre de 3,6 kWh/kg de DCO éliminée, ou encore de 3,1 kWh par kg de DCO entrante. Autrement dit, chaque tonne de DCO éliminée produit jusqu'à 350 m<sup>3</sup> de méthane (composant majeur du gaz naturel, valorisable en électricité, comme en chaleur ou co-génération).

#### La réponse aux variations de charge saisonnières

Il est possible d'arrêter et redémarrer un digesteur sans difficulté majeure, en 1 à 3 semaines selon le procédé. Pour moduler les fluctuations journalières, un stockage amont suffit à lisser les apports. Ce stockage est d'autant plus pertinent que l'on souhaite valoriser le biogaz.

#### L'emprise foncière

La méthanisation traite généralement des charges volumiques plus élevées - d'un facteur 10 à 12 - que l'aérobie, d'où un encombrement réduit en proportion. C'est un net avantage pour les sites où l'emprise au sol disponible est limitée.

1 tonne de DCO éliminée = 0,26 tonne équivalent pétrole (tep) ou un peu moins de 3 600 kWh

Principaux atouts : une réduction significative des quantités de boues à éliminer, une faible consommation d'électricité, une production d'énergie en plus.

#### Comparaison des performances moyennes d'un procédé anaérobie type UASB avec un procédé aérobie (Source VOR 2001)

	MÉTHANISATION (UASB)	AÉROBIE
<b>CHARGE</b>		
Charge volumique	7 à 10 kg DCO/m <sup>3</sup> .j	0,7 à 1 kg DCO/m <sup>3</sup> .j
Volume réacteur	100 à 150 l par kg DCO/j	1 000 à 1 500 l par kg DCO/j
<b>BOUES</b>		
Boues en excès en matières sèches	30 à 50 g MS/kg de DCO éliminée	200 à 250 g MS/kg de DCO éliminée
Concentration normale de boues en excès	90 à 100 g/l (après décantation de 10 minutes)	30 g/l (après décantation > 1 jour)
Boues en excès liquides correspondantes	0,3 à 0,5 l/kg de DCO éliminée	8 l/kg de DCO éliminée
<b>ÉNERGIE</b>		
Énergie d'aération, de circulation, pompes	0,04 à 0,2 kWh/kg de DCO/éliminée	0,5 à 0,7 kWh élec/kg de DCO éliminée
Énergie récupérable	450 l biogaz à 80 % de méthane par kg DCO soit 3,6 kWh/kg DCO éliminée	Aucune
<b>FONCTIONNEMENT</b>		
Démarrage	Rapide	Long et progressif
Amendement (N, P)	Oui	Peu nécessaire

#### Pourquoi de telles variations de performances ?

- ▲ En traitement anaérobie : une fraction dite fraction volatile de biomasse est transformée en gaz, grâce à la capacité qu'ont les bactéries anaérobies d'utiliser le carbone de la matière organique pour se nourrir. Ainsi neutralisé, l'hydrogène forme du méthane.
- ▲ En traitement aérobie : les bactéries ont besoin d'oxygène pour leur métabolisme qu'il faut insuffler dans l'effluent. Une plus grande quantité de carbone est donc disponible pour les bactéries épuratrices, d'où une plus forte production de boues excédentaires.

### 2 Mais une technologie plus exigeante

La gestion d'une chaîne de traitement anaérobie a des exigences techniques particulières. Le personnel doit disposer de compétences en électromécanique : la maintenance des pompes et des échangeurs thermiques est un point capital. Formé aux analyses biologiques et chimiques, il doit également bien maîtriser

les paramètres de la méthanisation proprement dite. Durant certaines étapes, notamment durant la méthanogénèse, la flore bactérienne est très sensible aux variations de pH, de température, de concentration des substrats, à la présence éventuelle d'agents toxiques.

<sup>2</sup> Denis J.-M., « Le traitement des effluents par voie anaérobie », in Actes de la journée technique du 11 octobre 1994, Compiègne.



### 3 Une large gamme d'effluents concernés

La méthanisation s'envisage à partir d'une concentration en DCO de 1 g/l à 1,5 g/l d'où un champ d'application étendu.

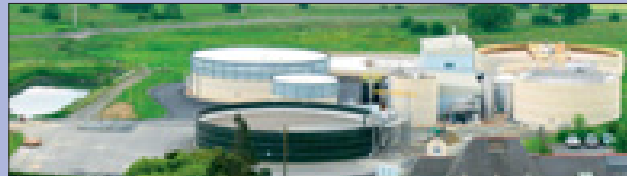
#### Industries agroalimentaires

Elles consomment d'importantes quantités d'eau dont la grande majorité se retrouve dans les rejets : eaux de lavage et/ou de cuisson, vinasses de distillation... Ces effluents sont chargés en matières organiques facilement biodégradables. Les volumes à traiter ainsi que la charge des effluents sont susceptibles de varier non seulement pendant la journée mais aussi tout au long de l'année. Le traitement doit être capable d'intégrer ces variations.

#### Méthanisation en laiteries fermières : prudence !

Autant la méthanisation est mise en œuvre avec succès sur les laiteries industrielles - production d'au moins 5 à 10 m<sup>3</sup> par jour d'effluents - autant son application aux laiteries fermières doit encore faire ses preuves. Sur les 3 installations répertoriées à ce jour en France, une seule fonctionne correctement. Les difficultés rencontrées permettent d'avancer quelques recommandations minimales :

- une appréciation fine des volumes à traiter, pour dimensionner correctement le digesteur,
- une bonne connaissance de la composition des mélanges « eaux de lavage, lactosérum », afin de maîtriser la méthanisation proprement dite,
- un suivi rigoureux des installations, avec notamment un nettoyage régulier des dégraisseurs et des filtres pour éviter le bouchage des équipements. Ce temps de maintenance ne doit pas être sous-estimé.



Méthanisation sur la laiterie industrielle LACTALIS (fabrication de beurre et fromage), à Retiers, Ille et Vilaine

#### Méthanisation et agents pathogènes

Attention : si la méthanisation est une réaction thermophile qui détruit nombre de germes pathogènes, les températures ne sont pas suffisantes pour éliminer le prion (agent de l'encéphalopathie spongiforme bovine ou de la « vache folle »). Ainsi, selon le règlement européen n° 1774/2002 établissant « des règles applicables aux sous-produits non destinés à la consommation humaine », elle intervient en tant que pré-traitement. Elle doit être suivie par des traitements par autoclaves pour les déchets dits à risque ou par une pasteurisation pour les autres sous-produits.

#### Papeteries

Toutes les industries papetières sont concernées : production de pâte (pâte mécanique blanchie au peroxyde, pâte bisulfite, kraft...), recyclage de papiers, fabrication de produits intermédiaires (papier pour ondulés...) ou de produits finis (papier d'imprimerie, papier d'emballage, papier sanitaire...).

Tous les rejets y compris les boues, les liqueurs blanches et des condensats peuvent être traités par méthanisation. Techniquement, la méthanisation des liqueurs noires est également possible. Mais comme celles-ci sont d'excellents combustibles, elles sont généralement brûlées dans les chaudières.

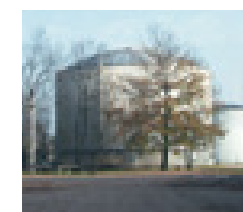
#### Chimie et parachimie

De nombreuses molécules organiques, y compris synthétiques, sont dégradables par méthanisation. Les effluents chargés en polyéthylène, glycolate de sodium, acide acétique ou autres acides organiques sont bien dégradés par méthanisation. Les références sont à rechercher dans la pétrochimie, l'industrie du caoutchouc, l'industrie textile et pharmaceutique.

#### Co-digestion ou méthanisation combinée : une voie possible pour certains effluents industriels

La co-digestion ou méthanisation combinée consiste à digérer dans un même ouvrage des boues d'épuration avec d'autres sous-produits fermentescibles : déchets organiques municipaux, fumiers, lisiers mais aussi effluents industriels (boues d'abattoirs par exemple). Ces systèmes traitent des effluents généralement caractérisés à la fois par une

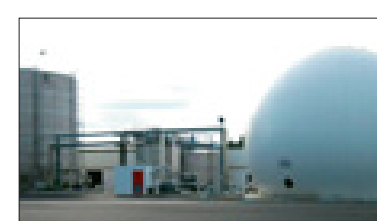
charge forte en matières organiques et en suspension. L'offre commerciale et industrielle relève des technologies appliquées aux boues urbaines ou aux déjections d'élevage. Plusieurs réalisations sont opérationnelles depuis plusieurs années en Europe. En France, des projets sont à l'étude.



Distillerie de l'Union de caves vinicoles d'Aquitaine (UCVA), à Coutras (Gironde) : vue générale. Au premier plan, torche de brûlage des excédents de biogaz



Cave Vinicole Château Bonnet, à Grézillac (Gironde). Le méthaniseur au fond, les bassins d'aération et de clarification. Au premier plan, le local chaudière



Digestion anaérobie des boues, graisses et refus de tamisage - Finistère



Unité de méthanisation dans le secteur de la Chimie

3

## La chaîne de traitement

Si l'on intègre les traitements réalisés en amont des digesteurs et à l'aval, ceux relatifs aux boues, une chaîne de traitement « type » est structurée autour des étapes suivantes :

- ▲ les pré-traitements,
- ▲ la méthanisation,
- ▲ les traitements de finition,
- ▲ le traitement des boues,
- ▲ la gestion/valorisation du biogaz produit au cours de la méthanisation.



Les deux digesteurs à lit fixé de la confiture MATERNE, à Blars sur Cère (Lot). En second plan, le bassin d'acidification.



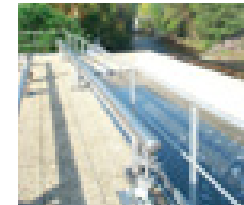
Décantation des boues MATERNE



Déshydratation des boues MATERNE



Boues déshydratées MATERNE



Bassin de clarification, papeterie SMURFIT SOCAR



Compost d'effluents de distillerie après déshydratation par filtre bande, en mélange avec des rafles de raisins.

### 1 Les pré-traitements

#### Séparation

Pour éliminer les déchets grossiers, les effluents passent par une phase soit de dégrillage, de tamisage, de décantation, ou de flottation. Ils sont triés par une grille dont le maillage dépend de l'efficacité recherchée. Cette technique convient pour les effluents chargés d'éléments solides susceptibles de colmater le digesteur : grappes et peaux de raisin en caves vinicoles, pelures de fruits ou légumes, déchets d'abattoirs.

#### Acidification

Sur certains effluents (riches en sulfates, en glucose...), la méthanisation est amorcée par une hydrolyse-acidogénèse. L'hydrolyse se déroule dans un bassin couvert, en amont du digesteur, en culture libre ou fixée. Le temps de séjour est de quelques heures à 48 heures.

#### Régulation de pH – neutralisation

Le pH de certains effluents acides est corrigé jusqu'à la neutralité. Cette correction se fait par apport de

soude ou de chaux (lait de chaux), en fonction de la nature de l'affluent et de son acidité. L'apport de chaux favorise également la floculation et la décantation de la boue. En cas de signe d'entartrage, on remplacera la chaux par de la soude.

#### Régulation en nutriments

Le rapport optimal DCO/N/P est de 350/5/1. Les besoins en nutriments sont plus faibles qu'en aérobie, mais un apport d'urée ou d'acide phosphorique peut être nécessaire. Les oligo-éléments sont généralement présents en quantités suffisantes.

#### Précipitation

Un apport de chlorure ferrique et/ou de polymères est en général effectué, soit avant, soit après la méthanisation. Ces ajouts améliorent la décantation des boues dans les ouvrages de décantation ou favorisent la séparation de phase dans les ouvrages de flottation. On les utilise parfois pour augmenter la siccité en sortie des unités de déshydratation des boues.

### 2 La méthanisation

#### Cultures libres ou cultures fixées : quelle famille de technologie choisir ?

La quasi-totalité des digesteurs d'effluents et boues dans le monde sont à alimentation continue. Ils fonctionnent selon 2 grandes familles de technologies :

- ▲ les technologies dites à cultures libres,
- ▲ les technologies dites à cultures fixées.

Parfois, les effluents sont traités successivement par un ou plusieurs procédés.

Les cultures libres sont appliquées aux effluents fortement chargés en MES, avec des teneurs dépassant 75 à 100 g/l. Les effluents sont brassés et mélangés en continu dans le digesteur.

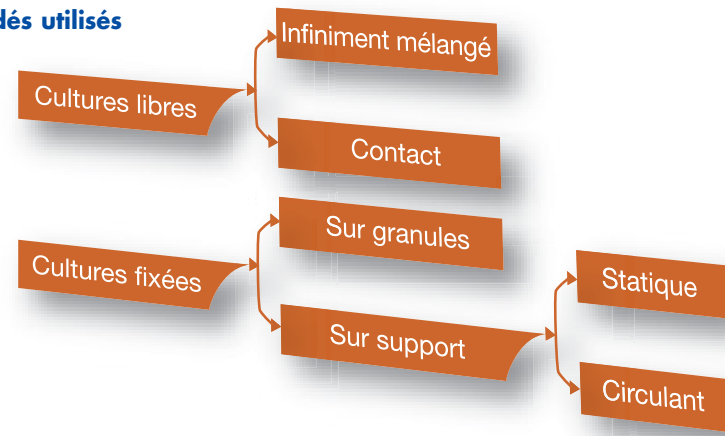
Dans les cultures fixées, des granules ou des supports sont placés à l'intérieur des méthaniseurs. Les surfaces de contact entre les populations bactériennes et les matières organiques à digérer sont ainsi considérablement augmentées.

De plus, les bactéries ne sont pas évacuées prématurément en même temps que les effluents « dépollués ». Ces supports sont soit composés de matériaux inertes, soit de granules constituées par la biomasse bactérienne elle-même, celle-ci faisant office en fin de vie, de support. Les supports sont fixes (statiques) ou mobiles (circulants) à l'intérieur du méthaniseur. Les temps de séjours sont courts, de l'ordre de l'heure ou de la journée.

En raison des risques de colmatage des équipements, cette technologie est réservée aux effluents peu chargés en MES et riches en matières organiques solubles.

Le rapport DCO / DBO5 évalue le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique. Si ce rapport est inférieur à 3, l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique devant être capable d'éliminer l'essentiel de la pollution.

#### Principaux procédés utilisés dans l'industrie



#### Cultures libres

Les substrats riches en MES (distillerie...) sont directement méthanisables selon une procédure similaire à celle appliquée usuellement pour les boues urbaines ou les lisiers. Les technologies en cultures libres dites « infiniment mélangées » sont les plus fréquemment utilisées. Les matières en suspension offrent des sites de fixation aux populations bactériennes. Les temps de séjours sont élevés, de l'ordre de la semaine ou du mois, les matières organiques à digérer n'étant pas très accessibles aux bactéries.

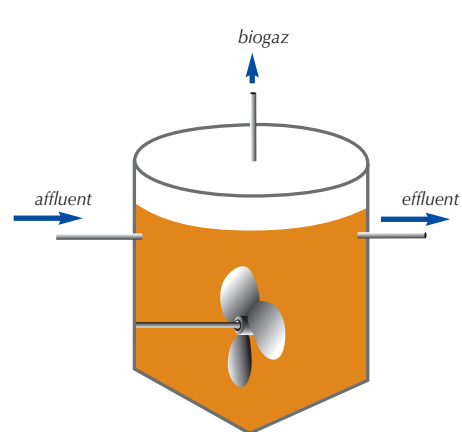
Ces effluents ou substrats riches en MES sont soit :

- ▲ des boues primaires de décantation,
- ▲ des boues biologiques issues d'un pré-traitement aérobie,
- ▲ des effluents de process chargés.

Ils sont parfois préalablement filtrés ou tamisés, pour extraire les matières en suspension : seul l'effluent, chargé en pollution organique soluble, sera alors envoyé en méthanisation.

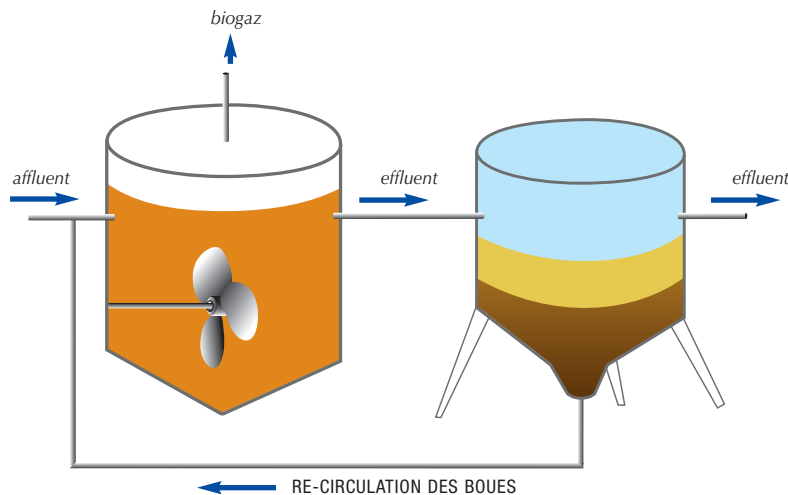
#### « Digesteur Infiniment mélangé »

Dans les digesteurs « infiniment mélangés » ou CSTR (Continuously Stirred Reactor), le substrat est homogénéisé par un brassage mécanique ou au gaz.



#### Digesteur « contact »

Variante du procédé infiniment mélangé, le procédé « contact » prolonge le temps de séjour des micro-organismes dans les digesteurs. La biomasse digérée est décantée ou filtrée par membrane. Ce concentrat est réintroduit en tête de digesteur, de façon à augmenter la concentration en micro-organismes et à recycler la biomasse non dégradée.



#### Cultures fixées

Lits fixés à lit de boues granulaires (UASB et dérivés) Aujourd'hui, les procédés à lit de boues granulaires

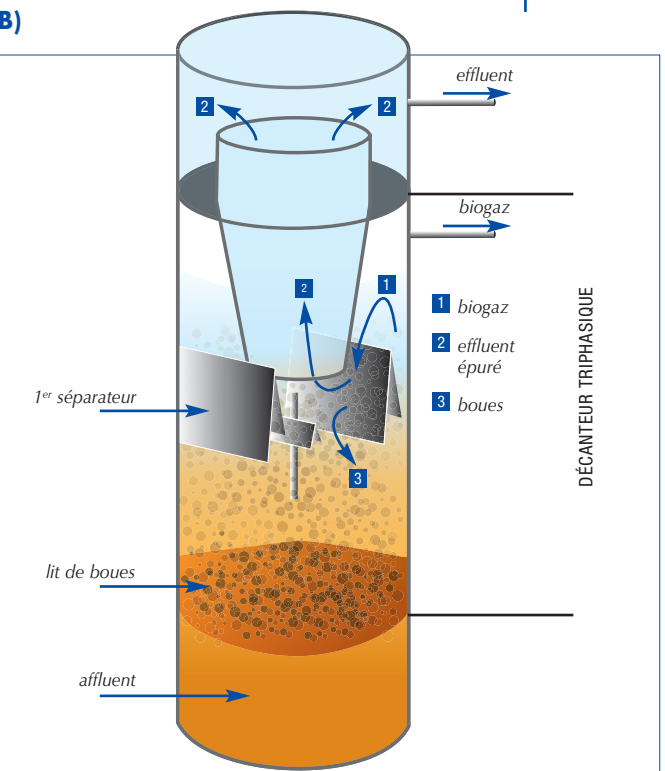
(UASB et dérivés) sont utilisés dans 80 % des unités de traitement des effluents industriels dans le monde.

Dans l'industrie, les procédés à lit de boues granulaires (UASB et dérivés) sont les plus développés.

#### Méthaniseur à lit de boues granulaires (UASB)

La biomasse active forme spontanément des flocs ou granules, eux-mêmes utilisés comme supports bactériens : c'est le procédé « UASB » (Upflow Anaerobic Sludge Banket) ou digesteur anaérobie à lit de boues à courant ascendant, avec décantation interne.

Le lit de boues est formé par le floc bactérien. En sommet de digesteur, le système de décantation triphasique sépare le biogaz (1), l'effluent épuré (2), et les boues sont recirculées (3) vers le lit granulaire.



#### Méthaniseur à lit de boues granulaires avec re-circulation interne (IC)

##### Le procédé « IC » (Internal recirculation) est un dérivé de l'UASB.

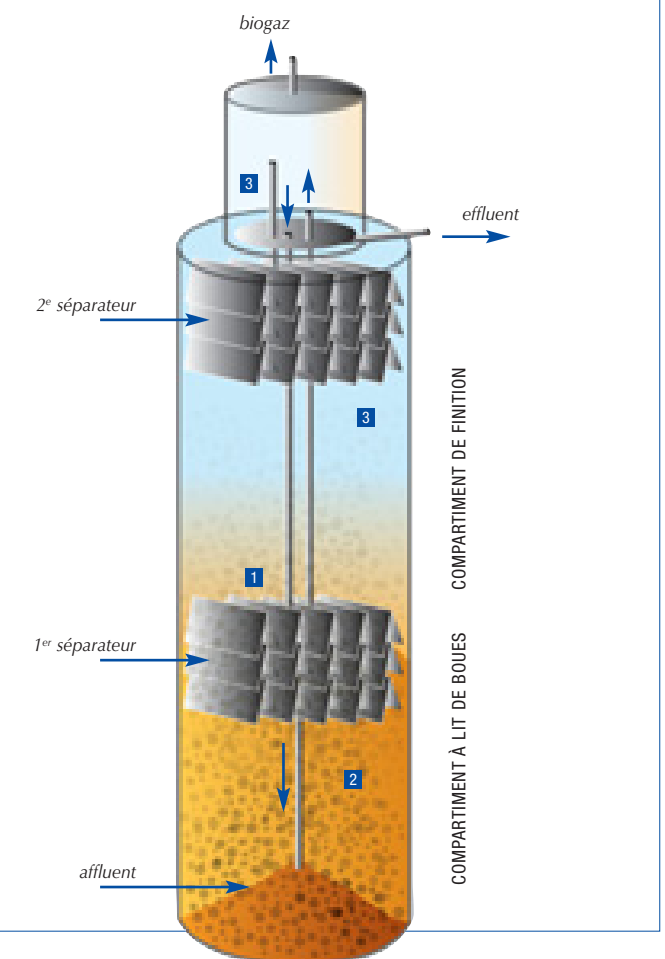
Il utilise également la biomasse granulaire comme support de bactéries. Les mouvements de biogaz - gas lift - qui se produisent spontanément servent à faire circuler l'effluent à l'intérieur du méthaniseur et améliorer ainsi le rendement de la dégradation.

L'effluent est introduit en pied de digesteur. Le biogaz produit dans le compartiment inférieur, à lit de boues, provoque un mouvement ascendant, le phénomène de « gas lift » :

- 1 le biogaz emmène le liquide, via une canalisation montante, vers le sommet du digesteur.
- 2 Le liquide, sous la pression du gaz, est recirculé vers le compartiment à lit de boues.
- 3 Le liquide décanté passe du 1<sup>er</sup> séparateur vers le second étage « de finition ». Un second séparateur collecte et évacue le biogaz.

L'effluent est évacué en partie haute.

Cette re-circulation s'effectue sans apport d'énergie. Son intensité est proportionnelle à la production de biogaz, donc à la charge volumique. Cette autorégulation est garante d'une grande stabilité de fonctionnement.

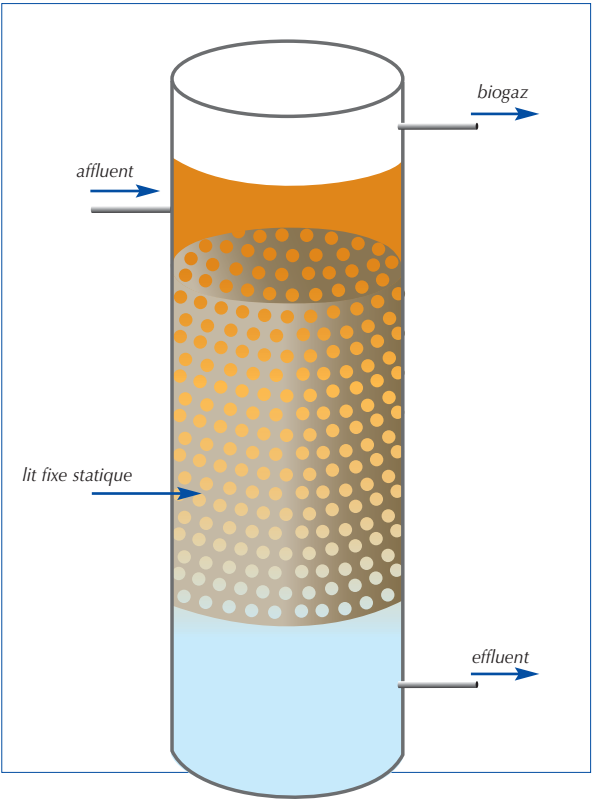




Lits fixés sur supports  
Les lits fixés utilisent comme support un matériau inerte (plastique, céramique...).

On distingue les lits statiques à flux ascendant dit aussi « filtres anaérobies » des lits à flux descendant, de type lit bactérien.

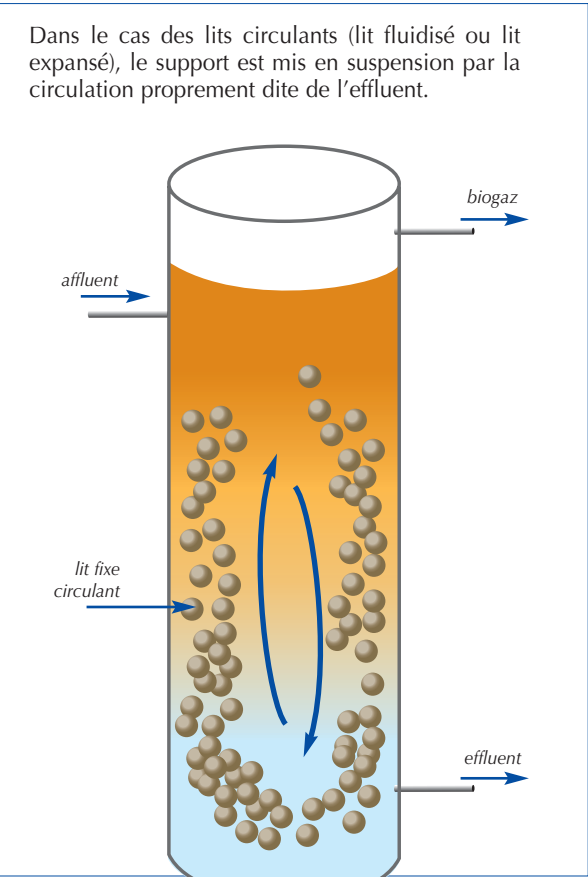
Méthaniseur à lit fixé statique (filtre « anaérobie »)



Autres procédés

- Les réacteurs hybrides ou combinés associent par exemple méthanisation et dénitrification, ou différents procédés de méthanisation (comme UASB + lit fixé).
- Les procédés à étapes séparées (réacteur d'hydrolyse – acidogénèse + réacteur de méthanisation).

Méthaniseur à lit circulant (lit fluidisé ou lit expansé)



Dans le cas des lits circulants (lit fluidisé ou lit expansé), le support est mis en suspension par la circulation proprement dite de l'effluent.

Retour sur les performances de la méthanisation

Le rendement de dégradation dépend de la nature de l'effluent: il est de 50 % pour des produits peu fermentescibles, et atteint 90 % pour des produits très facilement biodégradables voire 99 % dans certaines configurations.

Taux de dégradation de la DCO pour différentes industries

INDUSTRIES	TAUX D'ÉPURATION SUR DCO
Papeteries	50-75 %
Chimie	50-75 %
Brasserie	70-80 %
Conserveries	90 % et au-delà

Les données clés de la méthanisation (source synthèse bibliographique)

Concentration en DCO entrante	À partir de 1 g/l à 1,5 g/l
Taux d'épuration sur DCO	50 à 90 %
Charges volumiques	2 à 50 kg DCO/m³ réacteur/jour suivant procédé de méthanisation
Charges massiques	0,3 à 0,8 kg DCO/kg de MS de boues par jour
Production de boues en excès	30 à 50 g MS/kg de DCO éliminée
Production de biogaz	0,35 à 0,5 Nm³/kg par DCO éliminée
Teneur en méthane du biogaz	65 % à 85 % CH₄

Charge volumique selon les familles de procédés

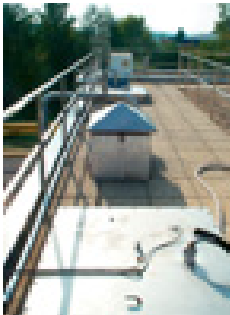
	kg DCO/m³.jour
Infiniment mélangé	2 à 6
Contact	3 à 7
UASB 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> génération	10 à 15
IC	15 à 25
Lit fixé support statique	8 à 20
Lit fixé circulant support mobile	30 à 50

Le digesteur

Pièce centrale du dispositif, le digesteur est un ouvrage hermétique vertical. Il est construit en béton, inox ou polyester. Pour limiter les pertes de chaleur nécessaire au fonctionnement optimal des bactéries, il doit être isolé. Pour les digesteurs construits en béton, les parties en contact avec le gaz (appelées « ciel gazeux ») sont protégées des agressions du gaz par une peinture époxy, qu'il convient de rafraîchir tous les 15 ans. La sécurité du digesteur contre la dépression et la surpression est assurée par une garde hydraulique et par une soupape. Il est conseillé d'équiper les soupapes

de charbon actif pour limiter les problèmes éventuels d'odeurs.

Un digesteur est caractérisé par son volume et par la charge applicable, variable selon les technologies. Les charges les plus courantes se situent entre 10 et 30 kg DCO/m³.jour pour les technologies UASB ou lit fixé statique.



Sécurité « Biogaz » : soupapes hydrauliques sur digesteur UASB Au premier plan, système de désodorisation VALADE

Les paramètres du dimensionnement d'un digesteur



La gestion de la méthanisation

Le chauffage

Un grand nombre d'effluents industriels ne nécessitent aucun apport de chaleur. Leur température - souvent de l'ordre de 20 à 40 °C - est compatible avec les besoins des populations bactériennes. Lorsque le chauffage s'avère néanmoins nécessaire, la consommation d'énergie dépend du différentiel de température à atteindre et de la concentration de l'effluent. Elle peut nécessiter la consommation de la totalité du biogaz produit, voire des consommations supérieures.

Les effluents sont chauffés par des échangeurs tubulaires ou à plaques. Sur certaines installations, un échangeur de chaleur (économiseur) permet de chauffer les effluents entrants (froids) au contact des effluents méthanisés (chauds).

Dans les cas de fonctionnement saisonnier du digesteur, un combustible commercial en assure le démarrage. En

raison de dysfonctionnements, certaines installations font une consommation permanente de combustible commercial. Ce poste peut représenter une charge financière non négligeable. Les systèmes n'ayant pas besoin de chauffage paraissent plus sécurisants pour l'exploitant.

Consommation d'énergie pour le chauffage des digesteurs

Classiquement, les effluents entrant en méthanisation sont maintenus à une température de 37 °C ou de 55 °C selon le type de procédé (mésophile ou thermophile). Certains effluents, notamment sur les unités de traitement de vinasses ou les papeteries, sont déjà chauds. D'autres, en caves vinicoles ou en conserveries par exemple, sont à température ambiante. La quantité d'énergie nécessaire au maintien de la température varie de 10 à 30 kWh/m³ selon cette température d'entrée.

Selon les cas, 30 % à 100 % du biogaz sont utilisés pour assurer ce maintien en température.



Échangeur de chaleur à plaques, eau chaude/effluents entrants - Confiturerie MATERNE



### Contrôle, régulation, gestion des incidents

Les principaux paramètres contrôlés en méthanisation sont la température et le pH - généralement mesurés en continu - ainsi que les AGV (Acides gras volatils) ainsi que le débit de biogaz.

A ceux-ci peuvent s'ajouter la mesure du TAC (Titre Alcalimétrique Complet), la hauteur du lit de boues, la concentration en méthane et CO<sub>2</sub> dans le biogaz, la DCO, la concentration en carbone C<sub>1</sub> à C<sub>5</sub> (par chromatographie), la concentration en azote (NH<sub>4</sub>) et phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Les digesteurs sont vidangés tous les 5 ans environ, opération qui dure 1 mois.

Pour les méthaniseurs à lit fixé, les boues sont « détasées » quotidiennement par injection de gaz sous pression à travers le garnissage.

Pour les UASB, le contrôle de la hauteur du lit de boues donne l'indication pour le soutirage des boues.

Les incidents sont occasionnels. Ils arrivent 1 à 2 fois par an au maximum. Principale cause de dysfonctionnement : une augmentation brutale de charge qui entraîne « l'indigestion » du digesteur. Les effluents « moussent », les bactéries cessent de travailler. Ce type d'incident est résolu par l'arrêt de l'alimentation, la reprise graduelle, et parfois l'ajout de soude ou d'anti-mousse. La pleine charge est atteinte en 5 jours pour les UASB.



Surpresseur fonctionnant au biogaz utilisé pour le décollement des boues sur lits fixés.

En permettant une alimentation en continu des digesteurs, la création d'un bassin de stockage tampon en amont des digesteurs prévient ces risques d'indigestion. Ces bassins sont d'ailleurs recommandés pour les installations à forte variation d'activité journalière : (cave vinicole, conserverie).

Ils contribuent à régulariser la production de biogaz. Les possibilités de valorisation de l'énergie sont plus importantes.

## 3 Le traitement de finition

Le traitement de finition sur les effluents est composé :

- ▲ d'une étape d'aération dont le dimensionnement dépend des exigences réglementaires de rejet,
- ▲ d'une étape de séparation de phase (clarification, flottation).

## 4 La chaîne de traitement des boues

La quantité de boues produites en excès par méthanisation dépend étroitement du type d'effluent traité. Elle varie de 200 à 400 kg de MS/t DCO entrante pour les digesteurs infiniment mélangés et de 10 à 30 kg de MS/t DCO entrante pour les UASB et lits fixés. Sur cer-

La « mise en sommeil » des digesteurs est fréquente sur les industries saisonnières (conserveries, caves vinicoles, traitement des vinasses). Le « réveil » des bactéries est réalisé en une semaine environ en réacteur UASB et une quinzaine de jours pour les infiniment mélangés.

### Sécurité « Gaz »

Plusieurs dispositifs - réglementaires ou non - concourent à limiter les risques d'explosion, de toxicité, et de corrosion des équipements liés à la production de biogaz :

- ▲ respect des arrêtés issus de la directive ATEX du 28 juillet 2003, relative à l'installation des matériels électriques dans des zones où des atmosphères explosives peuvent se présenter,
- ▲ mise en place de capteurs de détection de CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S dans les locaux de valorisation du gaz (chaudières),
- ▲ utilisation de matériaux résistants à la corrosion pour les équipements en contact avec le gaz,
- ▲ rédaction d'un protocole de maintenance préventive, pour anticiper la dégradation éventuelle des équipements.

### Risques d'explosion

Ce risque devient réel quand les trois conditions suivantes sont réunies :

- ▲ présence de gaz, résultant d'une fuite, ou d'une migration par le sol via les canalisations, à des concentrations de 5 à 15 % de méthane dans l'air,
- ▲ atmosphère confinée (local fermé),
- ▲ source d'ignition : étincelle, flamme.

### Toxicité

L'hydrogène sulfuré est un gaz dangereux. Le biogaz en contient parfois des quantités létales en cas d'inhalation. Trop souvent sous-estimée, cette toxicité provoque régulièrement des accidents. Le « risque H<sub>2</sub>S » existe dans le domaine de l'assainissement, il n'est pas spécifique au biogaz.

### Corrosion des équipements

Le caractère corrosif du biogaz est dû non seulement à la présence d'hydrogène sulfuré, mais aussi à celle d'eau, d'oxygène, de gaz carbonique, agents de corrosion à des degrés divers. Il faut donc recourir pour les équipements sensibles (cuve du digesteur, canalisations, vannes, brûleurs, séparateur de condensats...) à des matériaux non corrodables, inox ou PEHD...

Elles sont soit :

- ▲ épandues sans chaulage ni déshydratation (caves vinicoles par exemple),
- ▲ déshydratées avant épandage par filtre-bande, centrifugation, ou plus rarement séchage thermique. Parfois, les boues sont ensuite envoyées sur des plateformes de compostage.

## 5 La gestion et la valorisation du biogaz

Le biogaz ne subit pas de traitement spécifique hormis la récupération des gouttelettes formées dans les canalisations. Elles sont purgées régulièrement.

Pour être valorisé le gaz est généralement comprimé à des pressions variables en fonction de l'utilisation : production de vapeur ou d'eau chaude, d'électricité, cogénération. D'autres valorisations - production de gaz naturel, de gaz comprimé carburant - ont été mises en œuvre sur des unités de méthanisation non industrielles : usines de traitements de déchets municipaux, stations d'épurations des boues urbaines, et de déjections d'élevage.

La faisabilité de la valorisation du biogaz, pour des usages autres que le chauffage éventuel du digesteur, dépend de plusieurs paramètres :

- ▲ les besoins d'énergie substituables à proximité. Lorsque l'unité de méthanisation n'est pas associée, sur le site même, à une activité industrielle, les débouchés potentiels sont réduits au seul chauffage des locaux ;
- ▲ la saisonnalité : celle-ci conditionne la durée d'utilisation des équipements de valorisation, donc leur amortissement ;
- ▲ la taille : certaines valorisations ne sont économiquement envisageables que pour des tailles suffisantes.

### La valorisation : une voie réservée aux unités de grande capacité

Schématiquement, deux cas de figure se présentent aujourd'hui :

- ▲ les installations de faible capacité, à activité saisonnière, peu consommatrices d'énergie. Les caves coopératives en sont la principale illustration. Les paramètres de faisabilité pour la valorisation du biogaz sont tous défavorables. Ces unités pratiquent en général la digestion, sans valorisation du biogaz ;
- ▲ les installations de grande capacité du type papeteries, usines de traitement de vinasses. Elles sont à la fois en activité permanente et grosses consommatrices d'énergie. Ici, le biogaz est généralement consommé intégralement, souvent brûlé en chaudière vapeur via un brûleur mixte gaz naturel/biogaz. Il est parfois injecté et dilué dans le réseau interne de gaz naturel de l'usine. Son pouvoir calorifique élevé (souvent 75 à 85 % de méthane) permet de l'employer sans difficulté particulière. Éventuellement, il est brûlé dans des chaudières dédiées, moyennant des adaptations du brûleur.

Le biogaz est rarement stocké avant son utilisation, ce qui réduit les voies possibles de valorisation. À notre connaissance, et alors que c'est une solution assez simple, le stockage de l'énergie sous forme d'eau chaude n'est jamais réalisé.

Certaines boues sont utilisées pour re-ensemencer d'autres digesteurs, au moment des démarrages ou des reprises d'activité, mais ce débouché reste marginal.



Le circuit biogaz en amont de la valorisation - Confiturerie MATERNE

Chaudière vapeur gaz naturel/biogaz - Distillerie de l'UCVA à Coutras



Torçère d'élimination du biogaz en excès VALADE



Usine VALADE à Lubersac (CORRÈZE) : fabrication de confiture et compotes - Vue d'ensemble sur le digesteur et la chaudière

### Une grosse part du biogaz est valorisée sur site

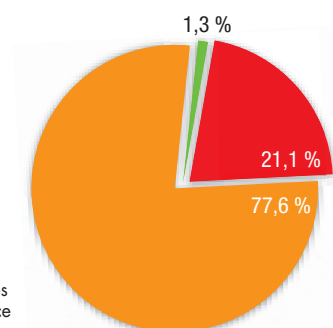
Environ 70 % du biogaz produit par les méthaniseurs industriels sont valorisés en France. Les trois quarts le sont sous forme d'énergie thermique utilisée sur site. Le chauffage des digesteurs étant assez peu gourmand en énergie, une part importante du biogaz est utilisée comme combustible d'appoint sur les équipements de l'usine (chaudières vapeur).

Sur quelques sites, le biogaz est valorisé en électricité (moteur thermique ou turbinage de la vapeur). Celle-ci est consommée sur site. Pour des raisons économiques - baisse des tarifs d'achat contractuel - l'exportation de l'électricité sur le réseau n'est quasiment plus pratiquée.

Les pertes, liées aux rendements des équipements (chaaudière, moteur) représentent un peu plus de 20 % de l'énergie primaire produite.

### Les voies de valorisation du biogaz

(moyenne des années 1999 à 2003, source SOLAGRO)



- ▲ total pertes (électricité, chaleur)
- ▲ énergie électrique
- ▲ énergie thermique utile

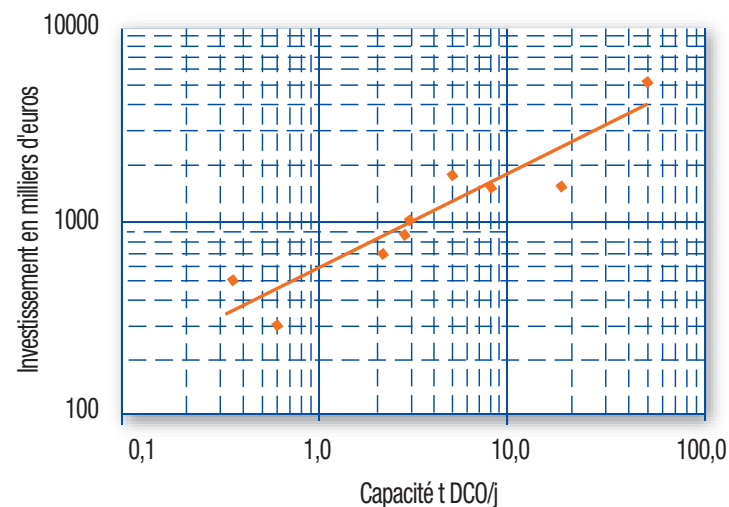


Chaudière Biogaz sur cave vinicole pour le chauffage des effluents

En 2003, en France, la valorisation du biogaz produit par les méthaniseurs du secteur industriel représente 17 000 tonnes équivalent pétrole (tep), soit 200 GWh d'énergie thermique utile et 4 GWh d'électricité.

# Économie de la méthanisation

## 1 Les investissements



Nos estimations intègrent l'ensemble des postes : pré-traitements, digesteurs, circuit biogaz, traitements de finition...

Les investissements dépendent de la taille de l'unité. Pour des unités de plus de 3 t DCO/j, le ratio est d'environ 350 milliers d'euros par tonne de DCO traitée par jour.

Pour de plus petites unités, ce ratio croît de façon exponentielle, compte tenu des coûts fixes.

Les annuités liées aux investissements représentent la principale composante du coût global.

**Investissement (en milliers d'euros) en fonction de la capacité journalière de traitement**

(Estimation SOLAGRO 2005)

## 2 Les coûts et recettes d'exploitation

Les coûts de fonctionnement (chaîne complète de traitement) vont de 20 à 70 €/t DCO entrante, sans compter le poste « réactifs », qui ne représente pas un poste important dans les conditions normales de fonctionnement. Il peut toutefois atteindre 150 €/t DCO si ce poste est mal maîtrisé.

La valorisation du gaz peut permettre des recettes importantes, jusqu'à 130 €/t DCO pour une valorisation totale du gaz en excès (après le chauffage des effluents).

### Les coûts d'exploitation

Les coûts de fonctionnement se décomposent de la façon suivante :

- main-d'œuvre (suivi, entretien, maintenance) : ce poste représente entre 20 à 60 minutes par jour pour les petites installations (caves vinicoles), et entre 1/4 à 1/2 poste à plein-temps pour les installations plus importantes, voire un plein-temps. Il ne dépend pas que de la taille, mais aussi de la technologie. Une partie significative de ce temps concerne l'entretien des périphériques (dégrillage, flottateur, filtre presse...). La chaudière ne nécessite pas en général de maintenance accrue hormis la révision et le nettoyage annuel.

**Coût moyen :**

**15-30 €/t DCO traitée sur la base de 22 €/h.**

Aujourd'hui, la valorisation du gaz excédentaire peut rapporter jusqu'à 130 euros par tonne de DCO entrante.

- réactifs : (urée, acide phosphorique, soude, acide, chlorures ferriques, polymères destinés à la déshydratation...). Les dépenses en réactifs peuvent varier considérablement, pour des effluents de même nature, et peser lourdement sur les coûts d'exploitation. Il est recommandé de tester les doses optimales à partir des consignes initiales, afin d'optimiser ces coûts sans diminuer les performances.

**Coût moyen : 0-150 €/t DCO traitée.**



Parfois, l'ajout de nutriments (Phosphore et azote) est nécessaire..., mais il n'est pas systématique - Conserverie VALADE

- combustible : le recours à un combustible commercial peut être nécessaire lors du redémarrage annuel de l'installation, voire, plus rarement, de façon permanente. Ce poste peut s'avérer important en cas de dysfonctionnement, et l'optimisation de la chaîne thermique est alors à envisager : isolation du digesteur, récupération de la chaleur des effluents en sortie.

**Coût moyen :**

**0-10 €/t DCO traitée (sur la base du prix du fioul et du propane).**

- élimination des boues : elles sont généralement valorisées en agriculture, directement ou après conditionnement par déshydratation, séchage, compostage. Des difficultés peuvent apparaître localement, du fait de la mauvaise image des boues en général, renchérissant ainsi le coût d'évacuation (transport, prestation).

**Coût moyen :**

**0-20 €/t DCO traitée, pouvant varier de 25 à 600 €/t MS suivant les sites (contraintes, transport, etc.).**

### Coûts de fonctionnement et recettes d'exploitation en chaîne anaérobie

(Estimation SOLAGRO 2005)

€/T DCO ENTRANTE	COÛTS DE FONCTIONNEMENT	RECETTES
Main-d'œuvre	15-30	
Électricité	5-10	
Réactifs	0-150	
Combustible	0-10	
Élimination des boues	0-20	
Valorisation du biogaz		0 à 130
<b>TOTAL</b>	20 à 70 (hors réactifs) et jusqu'à 220	0 à 130

### Les recettes d'exploitation liées à la valorisation du biogaz en excès

Jusqu'à 70 % de l'énergie contenue dans le biogaz sont susceptibles d'être valorisés à d'autres fins que celle du fonctionnement de la méthanisation : énergie thermique, pour le process de l'usine, énergie électrique vendue sur le réseau ou consommée sur site... La production de biogaz est de 3,1 kWh/kg DCO

entrante. Selon les cas, jusqu'à 2,2 kWh/kg DCO entrante peuvent être valorisés, correspondant à une économie de combustible fossile.

Le prix des énergies fossiles est de l'ordre de 22 à 60 €/MWh (prix moyen 2005) selon le combustible (fioul, propane, gaz naturel) et la quantité consommée. Les économies peuvent atteindre 130 €/t DCO entrante pour les énergies fossiles les plus chères.

## 3 Les économies générées par le process

### Économie d'électricité

Pour la chaîne de traitement complète avec option méthanisation, les consommations électriques varient de 100 à 300 kWh/t DCO entrante en fonction des sites.

Pour la chaîne de traitement complète sans méthanisation (aérobie seul), les consommations électriques varient de 600 à 2 000 kWh/t DCO entrante, suivant le degré d'épuration et la nature de l'effluent. En moyenne, on peut considérer que la consommation est de 1 200 kWh/t DCO entrante.

### Économies sur l'élimination des boues

Un traitement complet avec méthanisation permet de produire 4 à 9 fois moins de boues qu'une chaîne aéro-

bie (30 à 50 kg MS/t DCO éliminée pour la méthanisation contre 200 à 270 kg MS/t DCO éliminée pour l'aérobie).

La production dépend du type d'effluents, de la concentration entrée en DCO, du type de traitement (UASB, lit fixé et infiniment mélangé + traitement aérobie).

En ordre de grandeur, la consommation d'électricité est en moyenne de 5 à 7 fois plus importante pour les traitements en aérobie, que pour les chaînes incluant une étape de méthanisation.



## 4 Comparaison en coût global des filières « anaérobie » et « aérobie »

Cette comparaison porte sur le coût global d'une chaîne de traitement complète avec une option méthanisation et une chaîne sans option méthanisation (voie aérobie stricte).

Les calculs présentés ci-dessous sont des estimations. Valables en ordre de grandeur, ils ne sont toutefois pas représentatifs d'une situation donnée, chaque cas est particulier.

### Investissement

Le surcoût d'une chaîne avec méthanisation est estimé à 20 % de l'investissement, par rapport à une installation entièrement aérobie. Ce surcoût représente donc environ 60 000 € par tonne de DCO entrante par jour pour une unité de 3 à 5 t DCO/j (le ratio est supérieur pour les petites unités, et inférieur pour les unités de grande capacité).

### Coûts de fonctionnement

La comparaison des coûts de fonctionnement ne porte ici que sur la consommation d'électricité et l'élimination des boues. Nous avons considéré que les coûts de main-d'œuvre et de réactifs sont similaires. L'économie réalisable sur les coûts de fonctionnement via la méthanisation peut atteindre 210 € DCO hors valorisation du biogaz, et jusqu'à 330 €/t DCO avec la valorisation du biogaz.

### Coût des principaux postes de fonctionnement (électricité, et élimination des boues) pour les chaînes « anaérobie » et « aérobie », et recettes potentielles dégagées par la production d'énergie

€ PAR TONNE DE DCO ENTRANTE	ANAÉROBIE	AÉROBIE	ÉCONOMIE ANAÉROBIE / AÉROBIE
Électricité	5 à 10	30 à 60	0 à 50
Élimination des boues	0 à 20	0 à 180	0 à 160
Coût total de fonctionnement	5 à 30	30 à 180	0 à 210
Recettes (valorisation énergie sur site)	0 à 130	0	0 à 130

### Coût global

Il s'agit ici d'une économie maximale et non d'une moyenne. Les calculs sont établis pour une unité en fonctionnement normal.

La comparaison du coût global d'une unité de traitement avec et sans méthanisation est réalisée à partir des coûts d'investissement et d'exploitation (électricité et production de boues).

Par rapport à une unité de traitement en aérobie seule, une unité de traitement avec méthanisation :

- ▲ permet de réaliser des économies annuelles sur les coûts d'exploitation (plus faible consommation d'électricité et quantité de boues produites) : jusqu'à 210 €/t DCO,
- ▲ génère un surcoût à l'investissement : de 10 à 20 % environ.

Pour les unités moyennes (3 à 5 t DCO/j) à grandes (> 5 t DCO/j), les économies engendrées par une plus faible consommation annuelle d'électricité et production de boues compensent le surcoût lié à l'investissement en moins d'une année. Ce « temps de retour » est d'autant plus rapide si le biogaz excédentaire est valorisé. Dans certains cas, la valorisation du biogaz rend même le site de production autonome en énergie thermique. Le choix de la méthanisation pour ces unités se justifie complètement.

Pour les plus petites unités (< 3 t DCO/j), les économies réalisées par une plus faible consommation d'électricité notamment compensent le surcoût de l'investissement en 8 à 10 ans. Sur une vision à moyen et long terme, en permettant de diminuer les charges d'exploitation tout en gardant des performances équivalentes, le procédé de méthanisation reste plus intéressant qu'un traitement aérobie. Concernant la production d'énergie, pour ces petites unités, l'intérêt de la valorisation du biogaz est justifié uniquement si la production de gaz est régulière sur l'année.

5

## L'avis des industriels

### Une technologie reconnue pour ses performances

D'une manière générale, les informations collectées au cours de la réalisation des monographies d'installations confirment les conclusions obtenues en 2004 par AND International, à la demande de l'ADEME et Gaz de France. L'efficacité du procédé, la réduction des volumes finaux de boues à traiter, la réduction des nuisances (odeurs notamment) sont les principaux atouts mis au crédit de la technologie par les industriels. L'énergie n'est pas encore considérée comme un facteur déterminant de premier plan.

Par ailleurs, pour au moins un des industriels implanté sur le bassin Adour-Garonne (La Cave Tariquet) le choix de la méthanisation associée à une valorisation du biogaz rentre dans le panel des arguments commerciaux mis en avant vis-à-vis des clients d'Europe du Nord.

Ils s'accordent également sur le niveau de technicité qu'une telle option exige durant toutes les étapes, du pré-traitement de l'effluent (régulation en pH, en nutriment) au post-traitement (finition aérobie, séparation de phases, déshydratation des boues). La maîtrise de ces étapes est même un facteur déterminant pour l'économie globale du traitement.

Au regard des principales difficultés les plus communément rencontrées par les industriels, quelques préconisations peuvent être formulées :

### La question des réactifs

La clarification ou la flottation, parfois le maintien du pH peuvent nécessiter des dosages importants (et coûteux) de réactifs (floculants, sels, soude). Le dosage optimal peut cependant être trouvé au terme d'une période de rodage. Mieux, un bon temps de rodage permet souvent de les réduire sensiblement par rapport aux consignes initiales, sans diminuer les performances globales de la chaîne de traitement, sous réserve de laisser le temps aux bactéries de s'adapter à leur nouvel environnement.

### Les « à-coups de charge »

Un stockage en « amont » des digesteurs est indispensable pour éviter les à-coups de charge et les dysfonctionnements qui y sont souvent associés (moussage, blocage des bactéries). Pour les industriels qui projettent de valoriser l'énergie, ce stockage assure une production continue de biogaz avec à la clé, des plages de valorisation plus importantes.

### La question du gaz

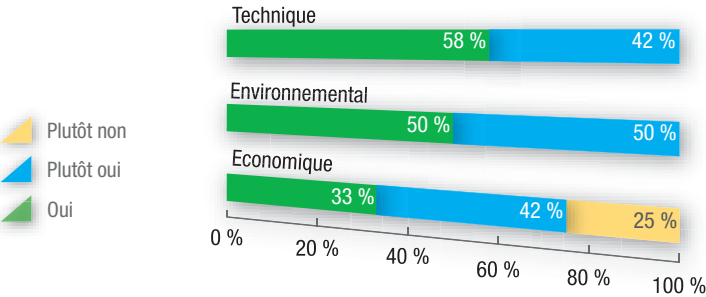
La gestion du biogaz, dans un contexte de faible prix de l'énergie, a été peu optimisée jusqu'à ce jour. Le biogaz est généralement valorisé pour les besoins du process et le gaz en excès est brûlé. Avec l'évolution des prix des énergies fossiles, des progrès devraient être rapidement consentis en la matière, selon plusieurs voies possibles :

- ▲ production d'électricité en vue de son exportation sur le réseau de distribution,
- ▲ transport du biogaz par canalisations, pour alimenter des consommateurs de chaleur voisins (industriel, réseaux de chaleur urbains).

Dans cette optique, en cas de nouvelle implantation industrielle, la proximité de consommateurs potentiels de l'énergie est un critère à prendre en compte au moment du choix du site.

La digestion anaérobie ou méthanisation : une technologie qui répond bien aux attentes des utilisateurs sur le plan technique et environnement. (Source enquête AND International)

### La digestion anaérobie répond-elle aux attentes de départ ?





# L'offre commerciale et industrielle

## Avertissement

L'offre commerciale et industrielle évolue constamment. Ce panorama, présenté par ordre alphabétique, n'est qu'une vision instantanée des concepteurs et constructeurs présents sur le marché français ou européen. Ont été sélectionnées les sociétés qui, à la date de collecte des données, bénéficiaient d'un retour d'expérience de plusieurs années autour d'un ou plusieurs procédés. Sont également mentionnées des sociétés qui, bien que n'ayant aucune référence dans l'industrie, ont un savoir-faire reconnu en matière de traitement des effluents industriels par co-digestion

Les références sont exprimées en nombre de digesteurs (sauf mention contraire)

## 1 Les concepteurs/constructeurs ayant des références en méthanisation industrielle en France

<p><b>BIOTHANE SYSTEMS INTERNATIONAL (PAYS-BAS)</b></p> <p><i>BIOTHANE est une société néerlandaise créée à la fin des années 70. Elle construit le premier digesteur à haut rendement aux États-Unis en 1980. Ses filiales sont implantées aux Pays-Bas, aux États-Unis, au Royaume-Uni, Indonésie, Chine, Russie.</i></p> <p><b>Types de marchés</b> Conception - construction</p> <p><b>Licences</b> Licence exclusive pour VEOLIA Water Systems en France et au Brésil. Contrat de coopération en Allemagne, Italie, Hongrie, République Tchèque et Slovaquie.</p> <p><b>Site internet</b> <a href="http://www.biothane.com">www.biothane.com</a></p>	<p><b>Procédés</b></p> <p>▲ <b>Infiniment mélangé/contact</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- SEAD® (Shear Enhanced Anaerobic Digestion): procédé infiniment mélangé, avec recirculation par injection, ce qui crée un effet de cisaillement de la matière. Ce procédé est adapté aux substrats à forte teneur en matière sèche.</li> <li>- BIOTHANE UASB® ou BIOBED LV – Charge massique: 10 à 15 kg DCO /m³.j.</li> <li>- Biobed EGSR® (Expanded granular Sludge Bed): ou Biobed HV: dérivée de l'UASB, l'EGSR est un digesteur vertical avec décantation en sommet de digesteur, il permet de maintenir des vitesses élevées de circulation. Charge massique: jusqu'à 30 kg de DCO/m³.j.</li> </ul> <p>▲ <b>Lit fixé/circulant</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mixte: MCSEAD® (Membrane Coupled Enhanced Anaerobic Digestion). Dérivé du précédent, il lui associe une membrane, qui permet de recirculer en digestion les matières solides et d'augmenter leur durée de rétention.</li> <li>- Biobulk CSTR®: infiniment mélangé et contact.</li> </ul> <p><b>Autres</b> Traitement de l'H<sub>2</sub>S (BIOPURIC®)</p> <p><b>Applications</b> Agroalimentaire, papeterie, chimie, pharmacie, textile</p> <p><b>Références</b> <b>Monde:</b> 300 (30 pays) <b>France:</b> 6 (références VEOLIA Water Systems), capacité 4 à 40 t DCO/j <b>Adour-Garonne:</b> 1 digesteur (papeterie) à Facture (33)</p>
---	--

<p><b>BIOTIM (BELGIQUE)</b></p> <p><i>BIOTIM a été créée en 1984 et appartient au Groupe Fabricom depuis 1987. Depuis 2004, BIOTIM fait partie de la holding belge « Fifth Element ».</i></p> <p><b>Types de marchés</b> Conception - construction</p> <p><b>Licences</b> Licence exclusive pour Ecovation pour les USA et le Canada.</p> <p><b>Site internet</b> <a href="http://www.biotim.be">www.biotim.be</a></p>	<p><b>Procédés</b></p> <p>▲ <b>Infiniment mélangé/contact</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réacteur Contact avec un séparateur à plaques parallèles externe</li> <li>- UASB-Réacteur tri-phases (breveté): séparateurs de type « flux croisé » et équipés de plaques parallèles: meilleure décantation par l'augmentation de la surface de décantation.</li> </ul> <p>▲ <b>Lit fixé/circulant:</b> à flux ascendant.</p> <p>▲ <b>Mixte:</b> HYBR (Réacteur hybride).</p> <p><b>Autres</b> Réacteur biologique à absorption pour le traitement de l'H<sub>2</sub>S dans le biogaz.</p> <p><b>Applications</b> Agroalimentaire, brasserie, laiterie, papeterie, chimie, pharmacie, textile</p> <p><b>Références</b> <b>Monde:</b> 185 – capacité: 0,6 à 150 t DCO /j <b>Europe:</b> 60 <b>France:</b> 4 – Capacité: 0,8 à 13 t DCO /j <b>Adour-Garonne:</b> 0 (2 digesteurs en construction pour caves viticoles, mise en service en 2006)</p>
--	--

<p><b>ONDÉO INDUSTRIAL SOLUTIONS (FRANCE)</b></p> <p><i>Ondéo Industrial solutions est une filiale du Groupe SUEZ (Filiale du même groupe: Infilco Degremont).</i></p> <p><b>Types de marchés</b> Conception - Construction - Exploitation</p> <p><b>Site internet</b> <a href="http://www.ondeo-is.com">www.ondeo-is.com</a> <a href="http://www.degremont.com">www.degremont.com</a></p>	<p><b>Procédés</b></p> <p><b>Technologie origine Degremont</b></p> <p>▲ <b>Infiniment mélangé/contact</b> ANALIFT: procédé contact.</p> <p>▲ <b>UASB</b> ANAPULSE: Lit granulaire.</p> <p>▲ <b>Lit fixé/circulant AN</b> AFLUX: Cultures fixées sur support mobile.</p> <p><b>Autres</b> Cannon® Mixer: procédé de brassage par piston (« piston bubble ») utilisé pour les digesteurs en infiniment mélangé.</p> <p><b>Applications</b> Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, pharmacie, agriculture</p> <p><b>Références</b> <b>Monde:</b> 90 - Capacité: 0,2 à 140 t DCO/j <b>Europe:</b> 45 <b>France:</b> 20 - Capacité: 1,2 à 30 t DCO/j <b>Adour-Garonne:</b> 4 Digesteurs / 4 entreprises - Papeterie: Aubazine (19) et Uzerche (19) - Conserverie: Lubersac (19) - Conditionnement du vin: Landiras (33)</p>
--	--

<p><b>PAQUES (PAYS BAS)</b></p> <p><i>PAQUES est une société néerlandaise créée au début des années 80. Entreprise de traitement des eaux usées industrielles, elle se spécialise dès le départ dans le traitement anaérobie et développe le procédé UASB (BIOPAQ®).</i></p> <p><b>Types de marchés</b> Conception - Construction</p> <p><b>Site internet</b> <a href="http://www.paques.nl">www.paques.nl</a></p>	<p><b>Procédés</b></p> <p>▲ <b>USAB BIOPAQ décliné en plusieurs versions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BIOPAQ®UASB à moyenne charge.</li> <li>- BIOPAQ®XS: unités à petite échelle.</li> <li>- BIOPAQ®IC à recirculation interne. Ce système permet de traiter des charges élevées.</li> </ul> <p><b>Autres</b> Traitement d'H<sub>2</sub>S THIOPAQ®.</p> <p><b>Références</b> <b>Monde:</b> plus de 400 références <b>France:</b> 11 (17 méthaniseurs) <b>Adour-Garonne:</b> 1 Papeterie SGPL à Saillat (87) BIOPAQ®IC (27 t DCO/j), mise en service en 2000.</p>
--	--

<b>PROSERPOL (FRANCE)</b>  <i>Créée en 1975, PROSERPOL est une société française d'ingénierie. Spécialisée dans le traitement des eaux résiduaires. Elle a acquis les activités similaires de SGN (disposant de savoir-faire en méthanisation) en 1993, et a créé NEYRTEC Environnement (méthanisation en industrie papetière) en 1996. Parmi les réalisations récentes : les abattoirs Louis GAD (boues d'abattoirs) ; et le traitement d'effluents de produits pétroliers en France, à Taïwan, en Afrique du Sud...</i>	<b>Procédés</b> ▲ <b>Infiniment mélangé/contact</b> - Réacteur infiniment mélangé pour effluents chargés en MES. - UASB. ▲ <b>Lit fixé/circulant à flux ascendant</b> - Réacteur à lit fixé : principales références. ▲ <b>Mixte</b> - HYBR (Réacteur hybride).
<b>Types de marchés</b> Conception - construction	<b>Applications</b> Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, abattoir
<b>Site internet</b> www.proserpol.com	<b>Références</b> <b>Monde</b> : 60 – capacité : 1 à 130 t DCO/j <b>Europe</b> : 30 <b>France</b> : 23 – capacité : 0,8 à 13 t DCO/j <b>Adour-Garonne</b> : 10 digesteurs / 4 entreprises - Traitement de vinasses : Saint-Laurent de Cognac (16) et Condom (32) - Conserverie : Bretenous (46) et Biars-sur-Céré (46)

<b>VEOLIA WATER SYSTEMS (FRANCE)</b>  <i>VEOLIA Water Systems est une filiale de VEOLIA Water, elle-même division Eau de VEOLIA Environnement. Le groupe VEOLIA a acquis les entreprises KRÜGER et WABAG en 2004. Il a passé un accord avec la société PAQUES (juin 2003), couvrant 4 procédés et 11 pays Européens.</i>	<b>Procédés</b> ▲ <b>Infiniment mélangé/contact</b> BioTherm® de Krüger : digestion thermophile des boues. ▲ <b>UASB</b> - Procédés Paques : BIOPAQ®UASB, BIOPAS®XS, BIOPAQ®IC. - Procédés Biothane : Biobed LV et HV.
<b>Types de marchés</b> Conception - Construction - Exploitation	<b>Autres</b> BioPasteur® de Krüger pour la pasteurisation des boues.
<b>Licences</b> Licences exclusives : - Procédés Biobed LV et HV de Biothane pour la France et coopération pour Allemagne, Italie, Europe Orientale. - 4 procédés de méthanisation « Paques » pour le Royaume-Uni, l'Irlande, la Pologne, les pays nordiques et baltes.	<b>Applications</b> Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, Pharmacie, eaux usées municipales, agriculture
<b>Site internet</b> www.veoliawater.com	<b>Références</b> Véolia Water Systems possède 13 références en France dont 6 unités sont sous référence BIOTHANE (licence exclusive en France). Les capacités varient de 1,5 à 40 t DCO/j. 1 digesteur est en service sur le bassin Adour Garonne sur une papeterie à Factice (33).

<b>VOR ENVIRONNEMENT (FRANCE)</b>  <i>Il y a trente ans, VOR Environnement conçoit la première microstation de traitement individuelle. En 1989, l'entreprise étend son activité au domaine des effluents et eaux usées et se positionne sur le traitement de débits inférieurs à 5 tonnes DCO/jour. Elle propose plusieurs types de traitement : méthanisation, aération...</i>	<b>Procédés</b> VOR a développé un procédé UASB. L'originalité réside dans la fabrication des digesteurs, composés d'éléments en polyester armé de fibre de verre. Cette conception assure la protection contre la corrosion et permet la pré-construction en ateliers d'éléments à assembler sur place. ▲ <b>Méthavor</b> : procédé UASB, gamme de 0 à 500 m³/jour, ou 1 à 4.000 kg de DCO/jour, concentration DCO 2 à 10 g O₂/litre.
<b>Site internet</b> www.vor.fr	<b>Références</b> VOR possède une quinzaine de références en France à ce jour dont 6 sur le bassin Adour-Garonne, toutes en caves vinicoles avec des DCO de 0,6 t DCO/j à 2,70 t DCO/j.

ARM ET CER

ARM et CER, sociétés françaises spécialisées dans le traitement des effluents des petites et moyennes entreprises ont récemment disparu. ARM possède 15 références en France dont 2 sur le bassin Adour-Garonne en caves vinicoles. CER possède 4 références en France dont 3 sur le bassin Adour-Garonne, 2 en caves vinicoles et une avec la distillerie de Coutras (33).

2 Autres sociétés opérant en méthanisation industrielle

<b>LINDE KCA DRESDEN (ALLEMAGNE)</b>  <i>Linde KCA Dresden est la filiale « biotechnologies » du groupe LINDE, spécialisé dans les gaz industriels. Sa division « Environmental Plants » intervient dans le domaine du traitement de l'eau et des déchets et propose plusieurs procédés de méthanisation. Elle dispose de références en méthanisation combinée d'effluents industriels.</i>	<b>Procédés</b> ▲ <b>Infiniment mélangé/contact</b> - LARAN® Loop Reactor : développé pour les fluides riches en matières solides et à forte charge organique. Brassage par gas-lift, assurant une circulation verticale intensive et prévenant la formation de mousse. - DS Process : procédé de digestion anaérobie des boues, avec combinaison de deux étapes aérobie / anaérobie (procédé LARAN Loop reactor). ▲ <b>UASB</b> LARAN® UASB : pour des effluents de plus de 1 g DCO/l, peu chargés en produits susceptibles de flotter et de diminuer la formation du lit granuleux (huiles ou graisses par exemple). Application en industrie papetière, pomme de terre, brasserie. ▲ <b>Lit fixé/circulant</b> LARAN® Fixed Bed Reactor : réacteur à lit fixé à courant descendant. Distilleries, usines d'équarrissage.
<b>Types de marchés</b> Conception - construction	<b>Autres</b> Procédés de méthanisation de déchets solides par « voie sèche » (procédé BRV) et par « voie humide ».
	<b>Applications</b> Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, pharmacie, équarrissage, déchets municipaux
<b>Site internet</b> www.linde.de	<b>Références</b> <b>Europe</b> : nombreuses références sur boues industrielles en co-digestion <b>France</b> : 1- sur déchets ménagers uniquement

<b>ENTEC (AUTRICHE)</b>  <i>ENTEC est spécialisée dans le traitement anaérobie des effluents industriels, agricoles, municipaux.</i>	<b>Procédés et références</b> ▲ <b>UASB</b> : Références en Autriche (conserverie), Grèce (amidon). ▲ <b>ANAFILM</b> : filtre anaérobie. ▲ <b>ANASTIR</b> : procédé contact (infiniment mélangé avec re-circulation en tête), pour les produits trop chargés pour un traitement par UASB ou filtre anaérobie. Références en distillerie. ▲ <b>BIMA</b> : principal produit de ENTEC (50 réalisations en agriculture, industries et municipalités). Se caractérise par de faibles coûts de fonctionnement (pas de brassage mécanique). Utilisé pour le traitement de déchets solides (biodéchets municipaux), après pré-traitement. ▲ <b>ENTEC-CSTR</b> : infiniment mélangé classique. Réalisations sur boues urbaines, boues d'abattoirs. ▲ Produits connexes : torchères, gazomètres, unités de désulfurisation...
<b>Site internet</b> www.biogas.at	

<b>GWE / ENVIROASIA</b>	<i>Global Water Engineering (alias Enviroasia) dispose d'une expérience de 30 années de traitement des effluents (160 usines). C'est un des leaders des technologies anaérobies en Asie. Elle a ouvert deux agences en Europe et signé des contrats de partenariat avec la société ibérique Medioambiente pour développer des procédés anaérobies. GWE / Enviroasia ne possède à ce jour, aucune référence en France.</i>
<b>Site internet</b> www.enviroasia.com ou www.globalwaterengineering.com	

## En savoir plus

### Quelques sites Web

Ces sites complètent les adresses internet des concepteurs et constructeurs.

- ▲ [www.uasb.org](http://www.uasb.org)  
Le site de référence sur les procédés UASB.
- ▲ [www.biogaz.atee.fr](http://www.biogaz.atee.fr)  
Le site biogaz de l'ATEE, Association technique énergie environnement et club cogénération biogaz.
- ▲ [www.lebiogaz.info](http://www.lebiogaz.info)  
Portail internet francophone sur le biogaz.

### Principales sources bibliographiques utilisées

- ▲ Actes, octobre 1994, Compiègne, Colloque « Méthanisation des effluents industriels et valorisation énergétique », ADEME, ATEE Picardie.
- ▲ Anonyme, juin 1983, « Le traitement des effluents par voie anaérobie », Centre de formation et de documentation sur l'environnement et l'industrie.
- ▲ AND International, 2005 « Le marché de la méthanisation en France », hypothèses d'évolution à 5 et 10 ans, Gaz de France et ADEME.
- ▲ Bogdan Ph., Servais C., Novembre 2001, « Les installations industrielles de méthanisation en 2001 », ATEE.
- ▲ IEA Bioenergy, 1997, « Systems and markets overview of anaerobic digestion », sous la direction de Lusk P.
- ▲ IEA Bioenergy, juillet 2001, « Biogas and more ! », sous la direction de Wheeler P.
- ▲ Moletta R. (coordonnateur), 2002, « Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires », Collection Sciences et Techniques agroalimentaires.
- ▲ Moletta R., Janvier 1993, « La digestion anaérobie: du plus grand au plus petit », Biofutur.
- ▲ Nyns E.-J., 1994, « A guide to successful industrial implementation of biomethanisation technologies in the European Union », programme THERMIE.
- ▲ Paul Boulenger, 2001, « La méthanisation des effluents industriels », Pollutec.
- ▲ SOLAGRO, 2000, le devenir des agents de dangers lors de la méthanisation des déchets et sous-produits organiques : recherche et analyse sur l'état des connaissances, ADEME.
- ▲ SOLAGRO, 2004, « Retours d'expériences de la méthanisation des effluents industriels sur le bassin Adour-Garonne », Agence de l'eau Adour-Garonne, ADEME Midi-Pyrénées.
- ▲ SOLAGRO, 2005, pour le baromètre OBSERV'ER, observatoire des énergies renouvelables : Le biogaz en France, série 1970-2001 et données statistiques 2001, 2002, 2003.

## Les études de l'Agence de l'eau Adour-Garonne

