

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 abaisse.

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 aérobie. 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...

Les études de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

Agence de l'Eau Adour-Garonne
90, rue du Féretra
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 Decroute
Basso Cambo
31100 Toulouse
Tél.: 05 61 43 26 80
Fax: 05 61 43 26 99
Départements : 09-11-31-32-34-81-82



Agence de l'Eau
Adour Garonne

Etablissement public du ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

LA MÉTHANISATION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS

Retours
d'expériences
sur le bassin
Adour-Garonne



Agence de l'Eau
Adour Garonne

Etablissement public du ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

Février 2006

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

1 Panorama sur la méthanisation des effluents industriels	4
Le principe	4
Trois décennies de développement	4
L'avance européenne	5
2 La méthanisation : très efficace, mais pas à 100 %	8
Des performances avérées	8
Mais une technologie plus exigeante	9
Une large gamme d'effluents concernés	10
3 La chaîne de traitement	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
4 Économie de la méthanisation	18
Les investissements	18
Les coûts et recettes d'exploitation	19
Les économies générées par le process	19
Comparaison en coût global des filières « anaérobiose » et « aérobiose »	20
5 L'avis des industriels	21
6 L'offre commerciale et industrielle	22
Les concepteurs/constructeurs ayant des références en méthanisation industrielle en France	22
Autres sociétés opérant en méthanisation industrielle	25
7 En savoir plus	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 Féretà
31078 TOULOUSE CEDEX 04
Tel: 05 61 36 37 38
Contact: Eri 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 économique, 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 anaérobiose 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^{er} 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.

Credit photos
SOLAGRO - REVICO (Marcel MÉNIER) - LINDE
PROPERSONL - BIOTIM - VEOLIA

Cette brochure synthétise les données collectées en 2003 dans le cadre d'une étude intitulée « Etat de l'art du traitement anaérobiose 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 aérobiose et anaérobiose 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

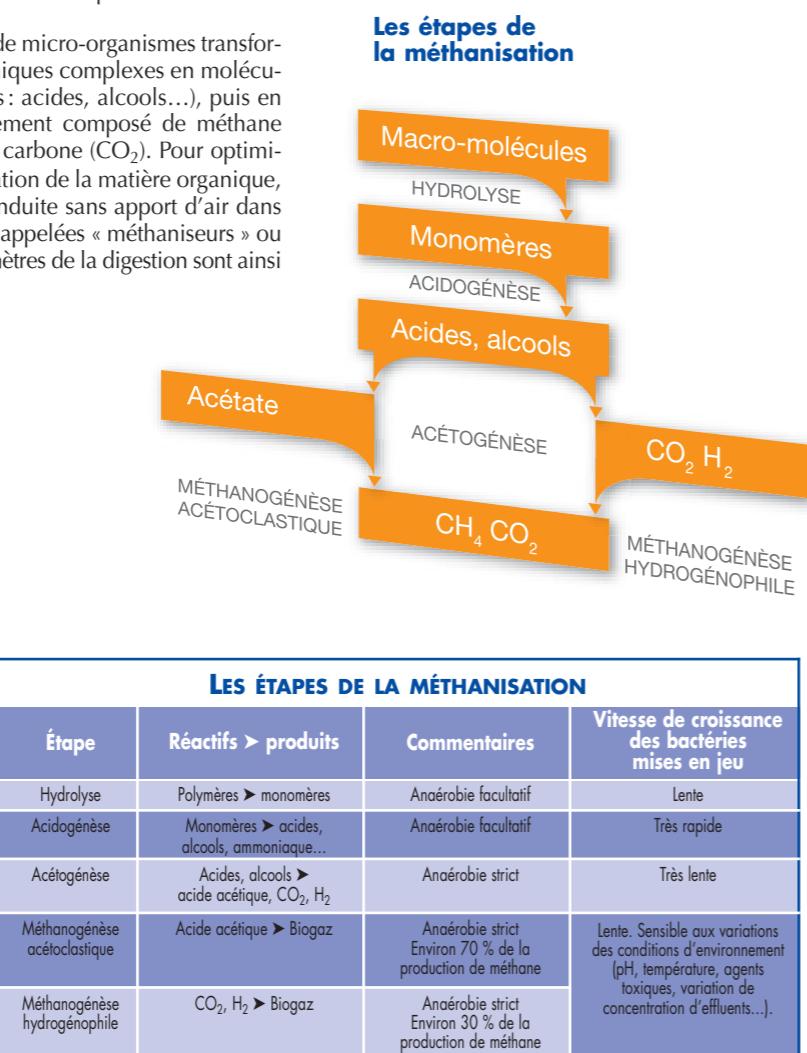
1 Le principe

Le biogaz contient de 65 % à 85 % de méthane (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 (CH_4) et de dioxyde de carbone (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.

Méthanisation ou digestion anaérobie

Nous utilisons ici de manière indifférente les termes de « méthanisation » et de « digestion anaérobie » ou encore de « traitement anaérobiose » 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 anaérobiose 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^e siècle. Il fut d'abord appliqué aux boues urbaines

- il l'est encore très largement¹ - 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 Blanket) 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 économique 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 (Nys, 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, antériorité oblige,

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.

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

3 L'avancé 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.

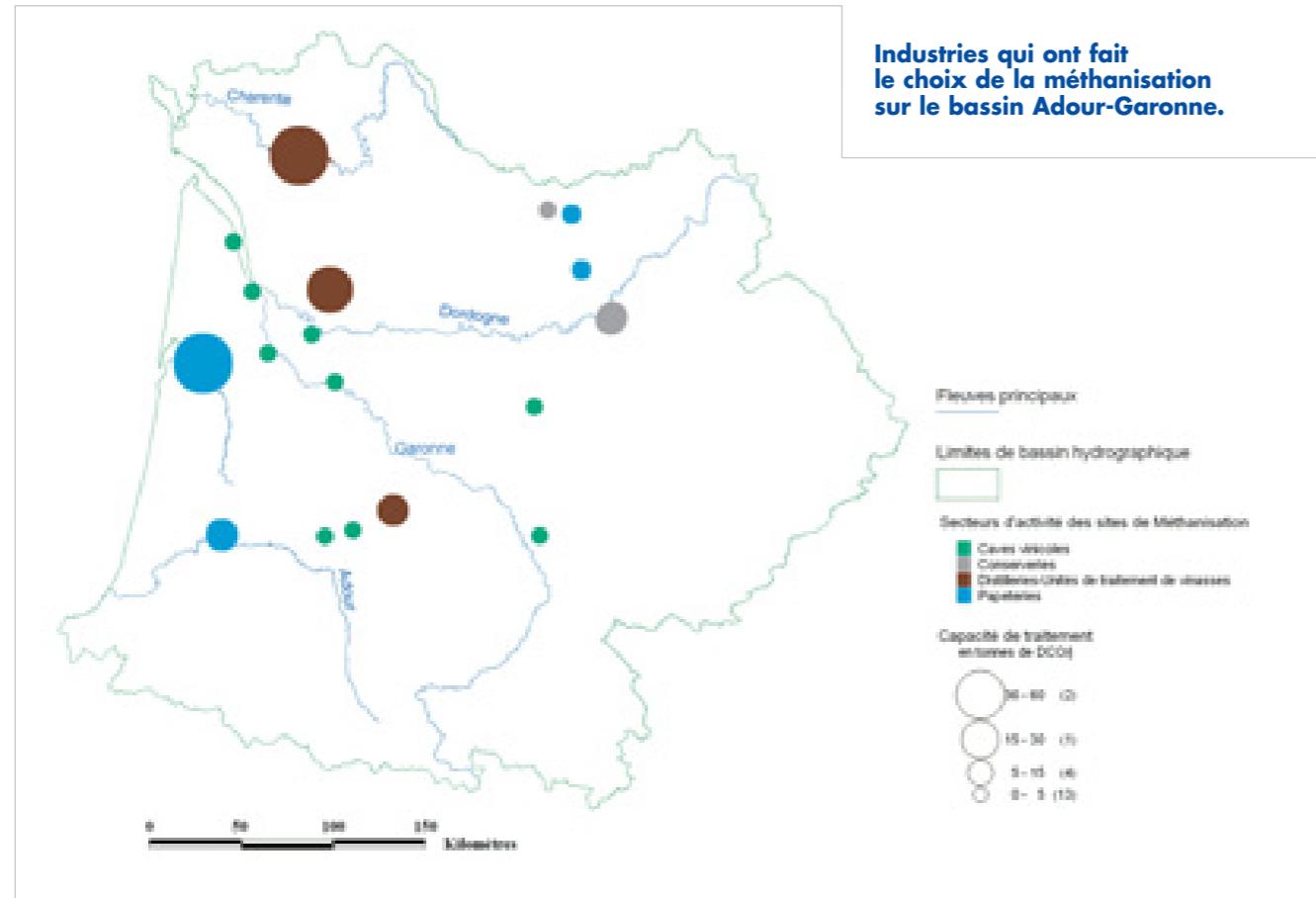
Les matières en suspension (MES)

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)

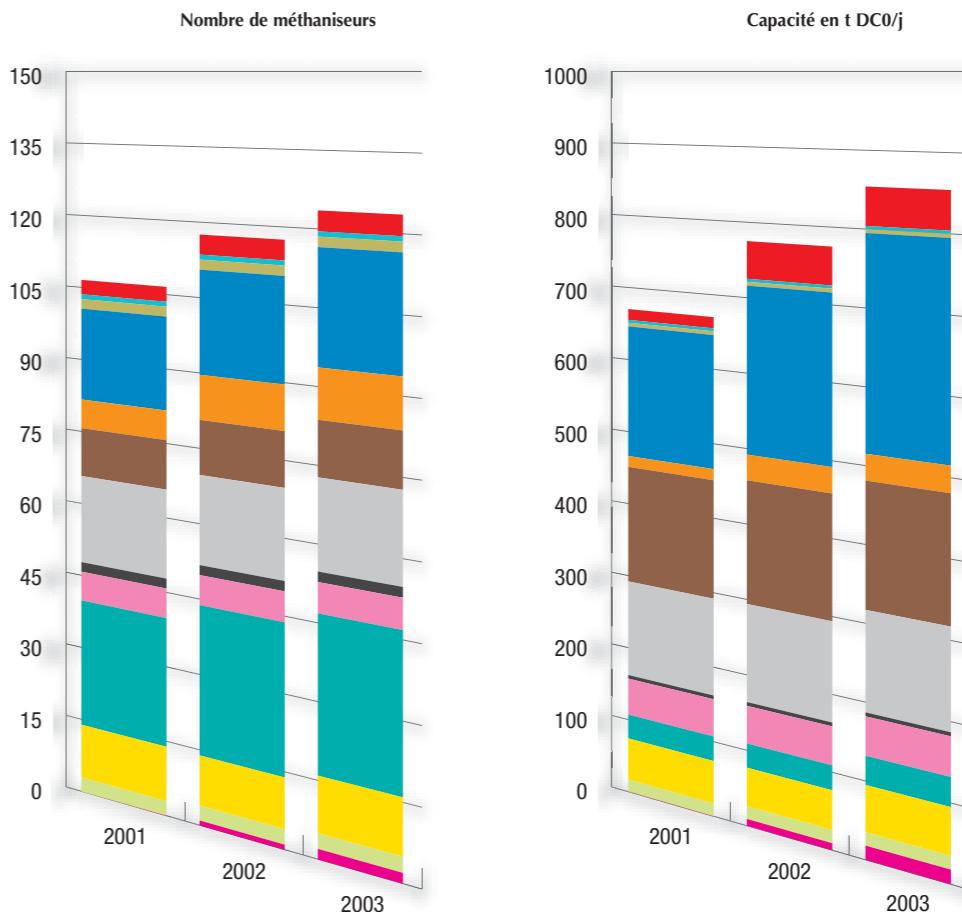
Pour les effluents industriels, la DCO est l'unité de mesure de dépollution classiquement utilisée. La DCO donne une évaluation grossière de la quantité de matières oxydables (organiques ou chimiques) présentes dans un substrat.

¹ La digestion anaérobiose 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



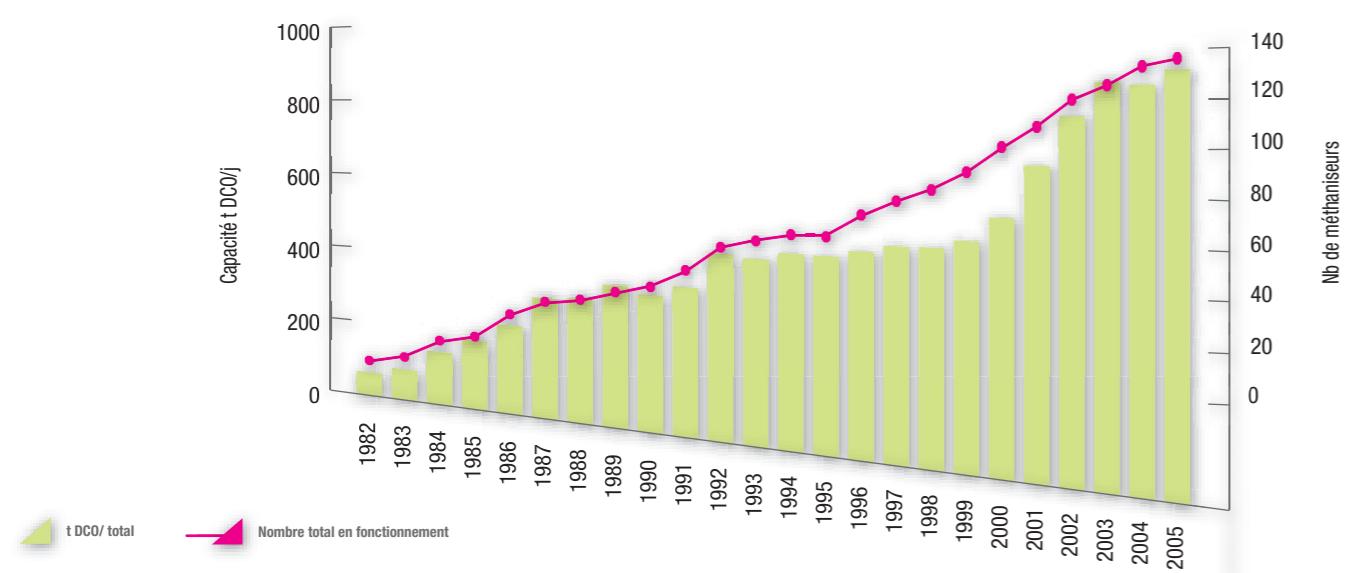
Nombre de méthaniseurs et capacité de traitement en t DC0/j sur 2001-2003 par branche

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)



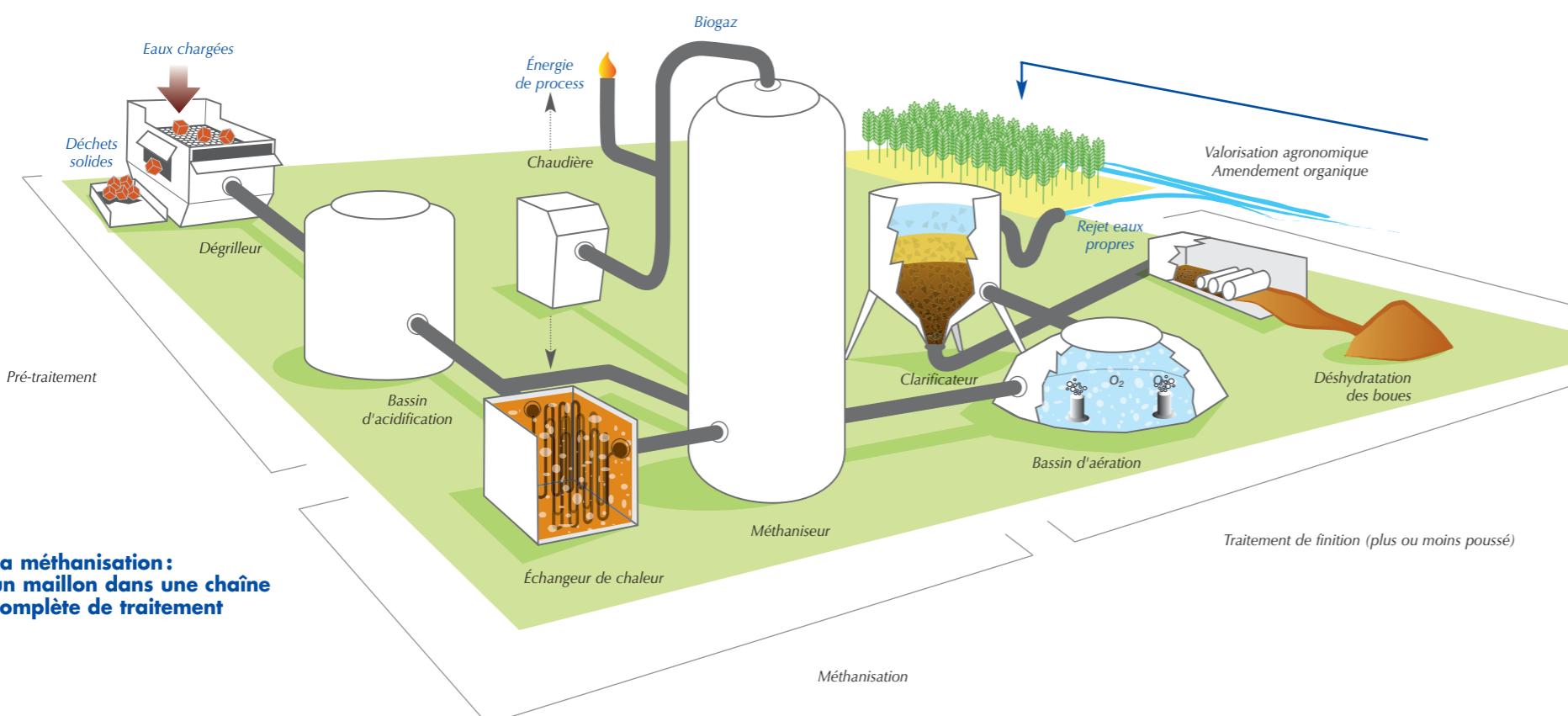
Legend for industrial branches:

- Sucreerie
- Poissonnerie
- Parfumerie
- Papeterie
- Laiterie
- Distilleries
- Conserverie
- Confiserie
- Chimie
- Caves vinicoles
- Brasserie
- Amidonnerie
- Abattoirs

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 aérobio. Ce traitement aérobio complémentaire assure en général un abattement de 90 % de la pollution résiduelle (soit environ 10 % de la charge initiale en DCO).



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 anaérobio, contre 200 à 270 tonnes de matières sèches/tonne de DCO éliminée en aérobio. Les boues issues d'un traitement anaérobio se décanquent 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 anaérobio qu'en aérobio strict. L'apport d'oxygène en aérobio est un poste très gourmand en énergie, l'oxygène étant peu soluble dans

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

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.

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 aérobies².

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 m³ de méthane (composant majeur du gaz naturel, valorisable en électricité, comme en chaleur ou co-génération).

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 anaérobio type UASB avec un procédé aérobio (Source VOR 2001)

	MÉTHANISATION (UASB)	AÉROBIE
CHARGE		
Charge volumique	7 à 10 kg DCO/m ³ .j	0,7 à 1 kg DCO/m ³ .j
Volume réacteur	100 à 150 l par kg DCO/j	1000 à 1500 l par kg DCO/j
BOUES		
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
ÉNERGIE		
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
FONCTIONNEMENT		
Démarrage	Rapide	Long et progressif
Amendement (N, P)	Oui	Peu nécessaire

Pourquoi de telles variations de performances ?

- ▲ En traitement anaérobio : 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 aérobio : 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 anaérobio 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.

² Denis J.-M., « Le traitement des effluents par voie anaérobio », 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 m³ 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 dégrasseurs 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

Papeteries

Toutes les industries papetières sont concernées : production de pâte (pâte mécanique blanche 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.

La méthanisation répond à ces deux critères : effluents chargés en matière organique et flexibilité face aux variations de charge.

Les principaux secteurs concernés sont les suivants :

- ▲ effluents de produits riches en alcools (distilleries, brasseries, caves);
- ▲ effluents de produits riches en sucres solubles (jus de fruits, boissons gazeuses, confiseries...);
- ▲ effluents de produits riches en amidon (amidonneries, pomme de terre) ;
- ▲ produits végétaux frais et conserveries (fruits, légumes...);
- ▲ productions animales (abattoirs, laiteries, fromageries...).

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 Biars sur Cére (Lot). En second plan, le bassin d'acidification.



Décantation des boues MATERNE



Déshydration des boues MATERNE



Boues déshydratées MATERNE



Bassin de clarification, papeterie SMURFIT SOCAR

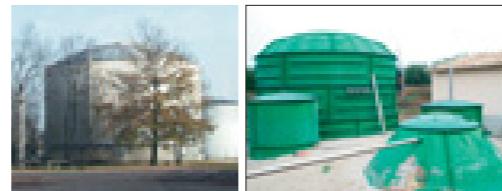


Compost d'effluents de distillerie après déshydration par filtre bande, en mélange avec des rafles de raisins.

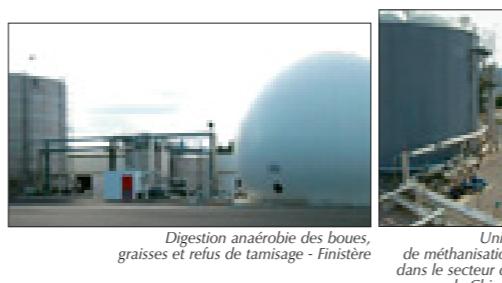
1 Les pré-traitements

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.



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



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

Unité de méthanisation dans le secteur de la Chimie

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 flocculation 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 aérobiose, 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.



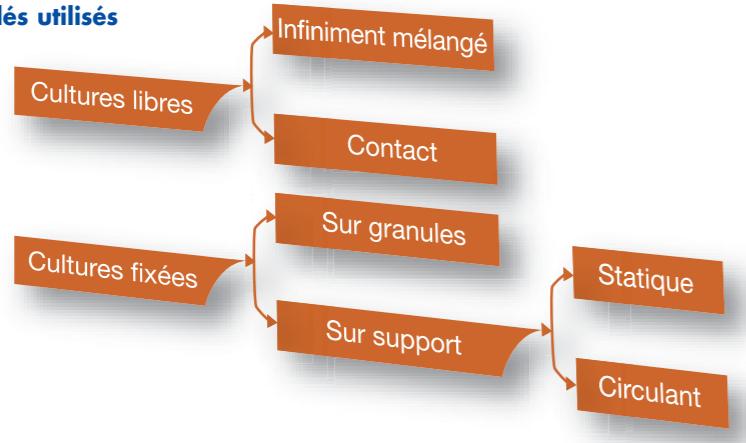
Co-digestion ou méthanisation combinée : une voie possible pour certains effluents industriels

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.

De plus, les bactéries ne sont pas évacuées prématièrement 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.

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.

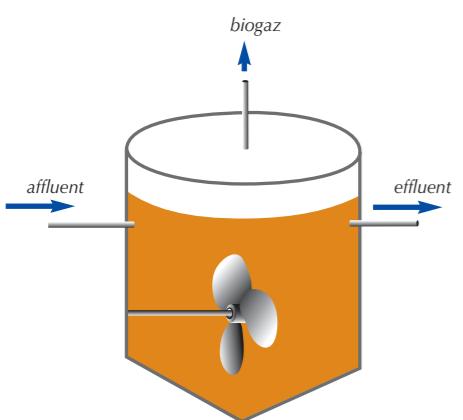
Ces effluents ou substrats riches en MES sont soit :

- ▲ 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.

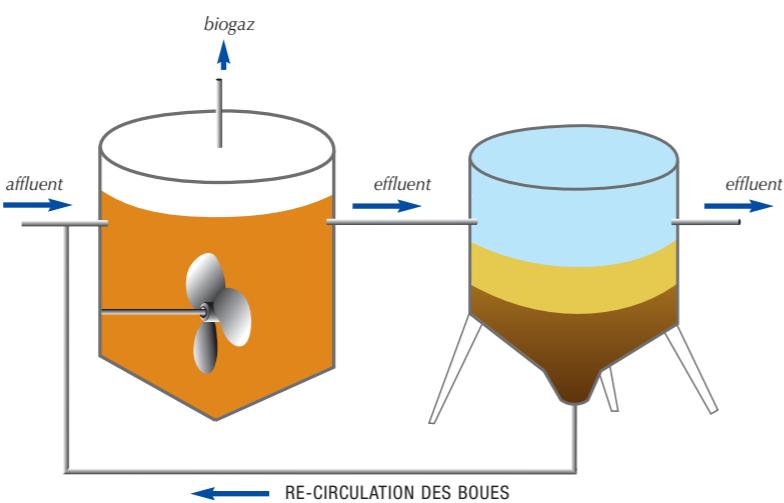
« Digesteur Infiniment mélangé »

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.



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.

Cultures fixées

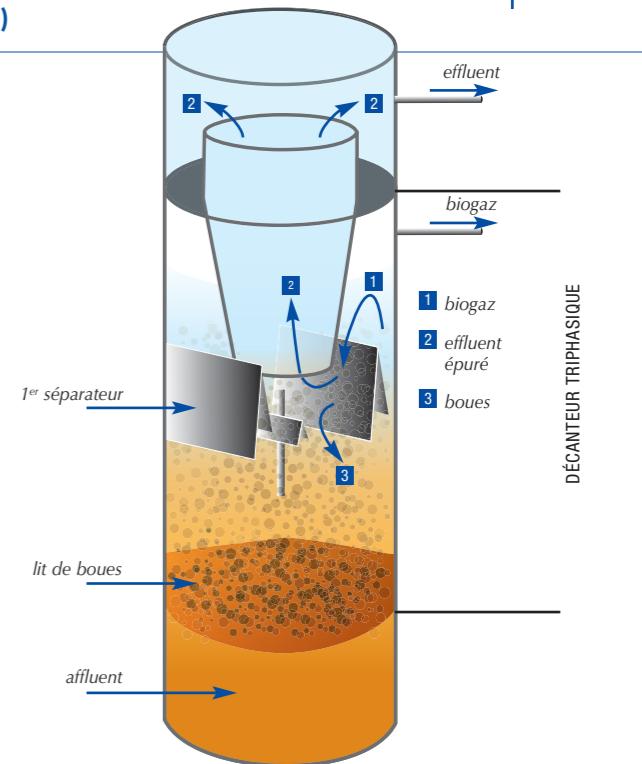
Lits fixés à lit de boues granulaires (UASB et dérivés)
Aujourd'hui, les procédés à lit de boues granulaires

(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)

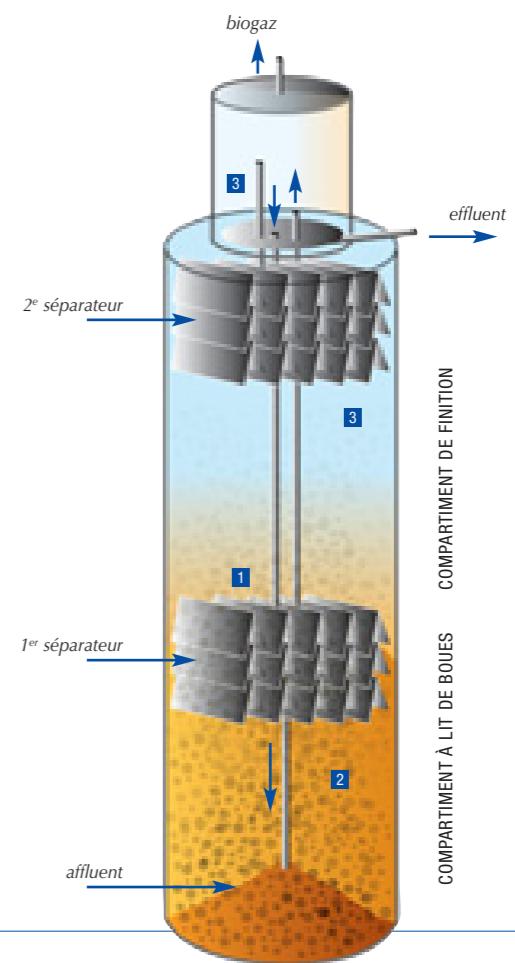
La biomasse active forme spontanément des flocs ou granules, eux-mêmes utilisés comme supports bactériens : c'est le procédé « UASB » (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou digesteur anaérobique à lit de boues à courant ascendant, avec décantation interne.



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'affluent 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 1er séparateur vers le second étage « de finition ». Un second séparateur collecte et évacue le biogaz.

L'effluent est évacué en partie haute.

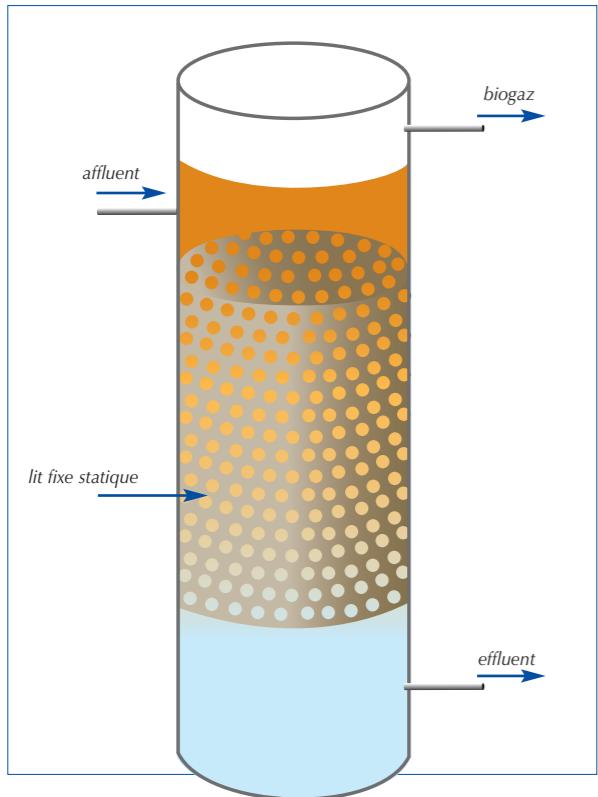
Cette re-circulation s'effectue sans apport d'énergie. Son intensité est proportionnelle à la production de biogaz, donc à la charge volumique. Cette autorégulation est garantie d'une grande stabilité de fonctionnement.

Lits fixés sur supports

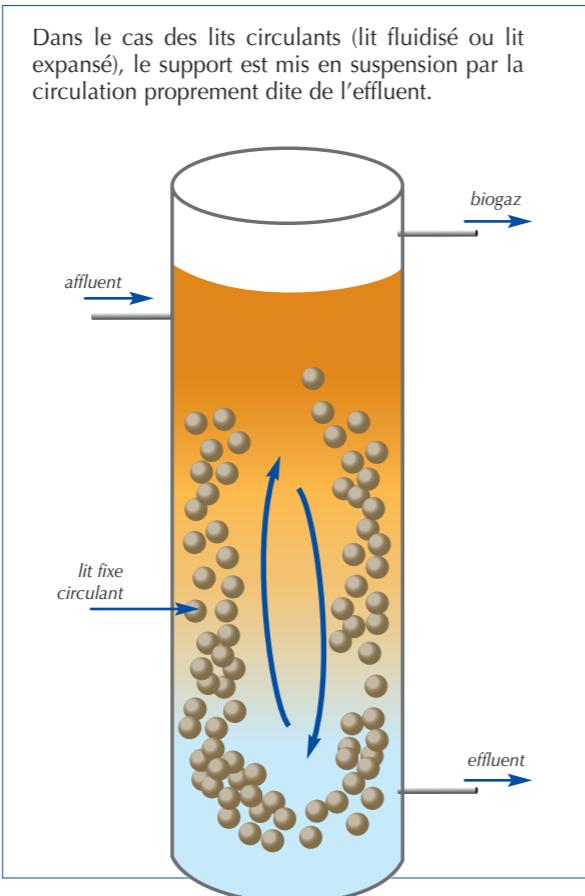
Les lits fixés utilisent comme support un matériau inerte (plastique, céramique...).

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 »)



Méthaniseur à lit circulant (lit fluidisé ou lit expansé)



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 – acidogénése + réacteur de méthanisation).

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/m ³ 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 Nm ³ /kg par DCO éliminée
Teneur en méthane du biogaz	65 % à 85 % CH ₄

Charge volumique selon les familles de procédés

	kg DCO/m ³ .jour
Infiniment mélangé	2 à 6
Contact	3 à 7
UASB 1 ^{re} et 2 ^e 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.

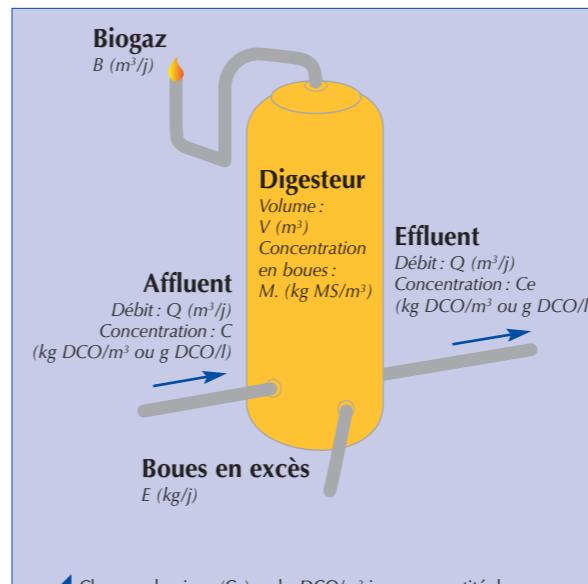
La sécurité du digesteur contre la dépression et la surpression est assurée par une garde hydraulique et par une soupape. Il est conseillé d'équiper les soupapes

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.



Les paramètres du dimensionnement d'un digesteur



Rendement épuratoire (n) en % = quantité de pollution détruite par rapport à la pollution entrante.
 $n = 1 - Ce / C$.

Productivité en biogaz (Pb) en m³ biogaz/kg DCO = quantité de biogaz produit par quantité de DCO entrante.
 $Pb = B/C.Q$.

La productivité en biogaz peut également être exprimée par rapport à la DCO dégradée (Pbo). Elle dépend en effet de la nature de la DCO dégradée (proportion en C, H, O...). Selon les substrats, elle varie entre 0,3 et 0,5 m³ de méthane par kg de DCO dégradée, même si elle se situe le plus souvent autour de 0,35 m³/kg de DCO dégradé. Le rapport entre Pb (par kg de DCO entrante) et Pbo (par kg de DCO dégradée) est fonction du rendement épuratoire, d'où la relation :

$$Pb = n \times Pbo$$

Productivité en boues (Pe) en kg MS / kg DCO = quantité de boues produites par quantité de pollution entrante.
 $Pe = E/C.Q$.

Productivité volumique (Pv) en m³ biogaz/m³ de digesteur/jour = quantité de biogaz produit par volume de digesteur et par unité de temps.
 $Pv = B/V, \text{ ou encore } Pv = Pb \cdot Cv$

Charge volumique (Cv) en kg DCO/m³.jour = quantité de pollutions par volume de réacteur et par unité de temps.
 $Cv = C \cdot Q / V$.

Charge massique (Cm) kg DCO / kg de matières sèches (ou de matières volatiles/j) = quantité de pollution par quantité de boues présentes et par unité de temps.
 $Cm = C \cdot Q / V.B$.

Temps de rétention hydraulique (TRH) en jours = temps de séjour moyen de l'effluent dans le digesteur.
 $TRH = V / Q$.

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 (mesophile ou thermophile). Certains effluents, notamment sur les unités de traitement de vinaissous 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 CO₂ dans le biogaz, la DCO, la concentration en carbone C₁ à C₅ (par chromatographie), la concentration en azote (NH₄) et phosphore (P₂O₅)

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

Pour les méthaniseurs à lit fixé, les boues sont « détassées » 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-

tais méthaniseurs UASB, la production de boues en excès est différée. Elle survient quelques années après la mise en service de l'installation. Fortement minéralisées, de couleur noire et sans odeur, elles sont valorisables comme amendement agricole.

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 CH₄, H₂S 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 H₂S » 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...

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

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.

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

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.



Le circuit biogaz en amont de la valorisation - Confiturerie MATERNE



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



Torchère d'élimination du biogaz en excès VALADE

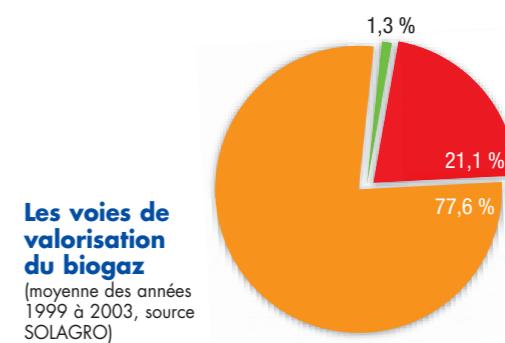


Usine VALADE à Lubersac (CORRÈZE) : fabrication de confiture et compotes - Vue d'ensemble sur le digesteur et la chaudière

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



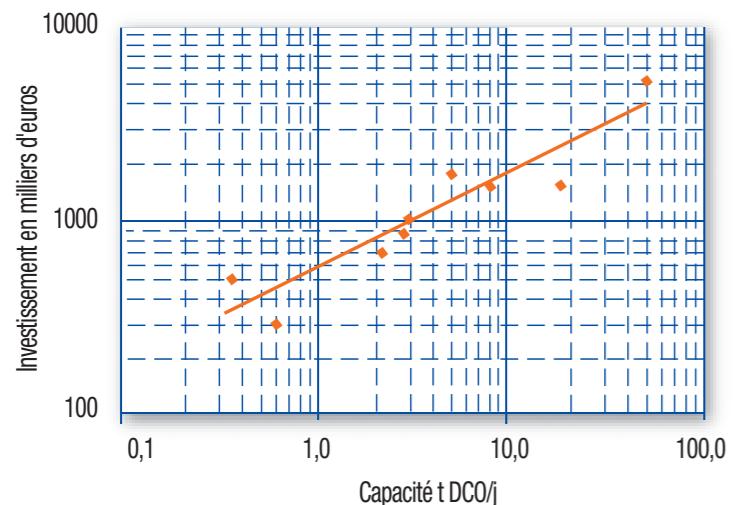
Chaudière Biogaz sur cave vinicole pour le chauffage des effluents



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

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.

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

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.

▲ électricité : la consommation d'électricité pour le digesteur est de l'ordre de 40 kWh/t DCO traitée pour les unités de type infiniment mélangé, et de 170 kWh/t DCO traitée si le débit de recirculation est important (lit fixé). En ajoutant les différentes opérations de la chaîne d'assainissement (dégrillage, flottation, déshydratation des boues...), le ratio moyen varie généralement de 100 à 300 kWh/t DCO traitée. La consommation d'électricité pour l'étape de finition aérobie varie de 600 à 2 000 kWh/t DCO éliminée : ce dernier poste est donc à contrôler. Dans son ensemble, la consommation d'électricité sur une unité de méthanisation est de 5 à 7 fois plus faible que celle d'un traitement complet en aérobie.

Coût moyen :
5-10 €/t DCO traitée sur la base de 50 €/MWh électrique.

▲ 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.

▲ 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, renchérisant 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.).



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

Coûts de fonctionnement et recettes d'exploitation en chaîne anaérobio

(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
TOTAL	20 à 70 (hors réactifs) et jusqu'à 220	0 à 130

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-

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.

L'avis des industriels

La méthanisation : des surcoûts en investissements qui selon la taille de l'installation sont compensés en quelques années à peine, par les économies sur les charges de fonctionnement.

4 Comparaison en coût global des filières « anaérobiose » et « aérobiose »

Cette comparaison porte sur le coût global d'une chaîne de traitement complète avec une option méthanisation et une chaîne sans option méthanisation (voie aérobiose 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 aérobiose. 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 €/t 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 « anaérobiose » et « aérobiose », 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 aérobiose 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 aérobiose. 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.

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 Tarquet) 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 aérobiose, 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.

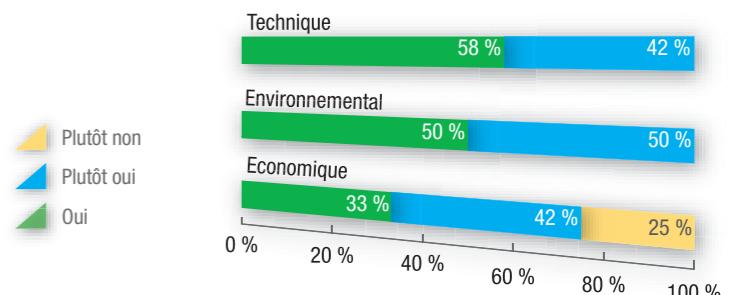
La question du gaz

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 anaérobiose répond-elle aux attentes de départ ?



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



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

BIOTHANE SYSTEMS INTERNATIONAL (PAYS-BAS)

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.

Types de marchés

Conception - construction

Licences

Licence exclusive pour VEOLIA Water Systems en France et au Brésil.

Contrat de coopération en Allemagne, Italie, Hongrie, République Tchèque et Slovaquie.

Site internet

www.biothane.com

Procédés

Infiniment mélangé/contact

- 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.
- BIOthane UASB® ou BIOBED LV – Charge massique: 10 à 15 kg DCO /m³.j.
- Biobed EGSB® (Expanded granular Sludge Bed): ou Biobed HV: dérivée de l'UASB, l'EGSB 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.

Lit fixé/circulant

- 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.
- Biobulk CSTR®: infiniment mélangé et contact.

Autres

Traitement de l'H₂S (BIOPURIC®)

Applications

Agroalimentaire, papeterie, chimie, pharmacie, textile

Références

Monde: 300 (30 pays)

France: 6 (références VEOLIA Water Systems), capacité 4 à 40 t DCO/j

Adour-Garonne: 1 digesteur (papeterie) à Facture (33)

BIOTIM (BELGIQUE)

BIOTIM a été créée en 1984 et appartient au Groupe Fabricom depuis 1987. Depuis 2004, BIOTIM fait partie de la holding belge « Fifth Element ».

Types de marchés

Conception - construction

Licences

Licence exclusive pour Ecovation pour les USA et le Canada.

Site internet

www.biotim.be

Procédés

Infiniment mélangé/contact

- Réacteur Contact avec un séparateur à plaques parallèles externe
- 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.

Lit fixé/circulant:

- à flux ascendant.

Mixte:

- HYBR (Réacteur hybride).

Autres

Réacteur biologique à absorption pour le traitement de l'H₂S dans le biogaz.

Applications

Agroalimentaire, brasserie, laiterie, papeterie, chimie, pharmacie, textile

Références

Monde: 185 – capacité: 0,6 à 150 t DCO /j

Europe: 60

France: 4 – Capacité: 0,8 à 13 t DCO /j

Adour-Garonne: 0 (2 digesteurs en construction pour caves viticoles, mise en service en 2006)

ONDÉO INDUSTRIAL SOLUTIONS (FRANCE)

Ondéo Industrial solutions est une filiale du Groupe SUEZ (Filiale du même groupe : Infilco Degremont).

Types de marchés

Conception - Construction - Exploitation

Procédés

Technologie origine Degremont

Infiniment mélangé/contact

ANALIFT: procédé contact.

UASB

ANAPULSE: Lit granulaire.

Lit fixé/circulant AN

AFLUX: Cultures fixées sur support mobile.

Autres

Cannon® Mixer: procédé de brassage par piston (« piston bubble ») utilisé pour les digesteurs en infiniment mélangé.

Applications

Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, pharmacie, agriculture

Références

Monde: 90 - Capacité: 0,2 à 140 t DCO/j

Europe: 45

France: 20 - Capacité: 1,2 à 30 t DCO/j

Adour-Garonne: 4 Digesteurs / 4 entreprises

- Papeterie: Aubazine (19) et Uzerche (19)

- Conserverie: Lubersac (19)

- Conditionnement du vin: Landiras (33)

PAQUES (PAYS BAS)

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®).

Types de marchés

Conception - Construction

Procédés

USAB BIOPAQ décliné en plusieurs versions:

- BIOPAQ®UASB à moyenne charge.

- BIOPAQ®XS: unités à petite échelle.

- BIOPAQ®IC à recirculation interne. Ce système permet de traiter des charges élevées.

Autres

Traitement d'H₂S THIOPAQ®.

Références

Monde: plus de 400 références

France: 11 (17 méthaniseurs)

Adour-Garonne: 1 Papeterie

SGPL à Saillat (87) BIOPAQ®IC (27 t DCO/j), mise en service en 2000.

<p>PROSERPOL (FRANCE)</p> <p>Crée 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 NEYTEC Environnement (méthanisation en industrie papetière) en 1996.</p> <p>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...</p> <p>Types de marchés Conception - construction</p> <p>Site internet www.proserpol.com</p>	<p>Procédés</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Infiniment mélangé/contact <ul style="list-style-type: none"> - Réacteur infiniment mélangé pour effluents chargés en MES. - UASB. ▲ Lit fixé/circulant à flux ascendant <ul style="list-style-type: none"> - Réacteur à lit fixé: principales références. ▲ Mixte <ul style="list-style-type: none"> - HYBR (Réacteur hybride). <p>Applications Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, abattoir</p> <p>Références</p> <p>Monde: 60 – capacité: 1 à 130 t DCO/j Europe: 30 France: 23 – capacité: 0,8 à 13 t DCO/j Adour-Garonne: 10 digesteurs / 4 entreprises <ul style="list-style-type: none"> - Traitement de vinasses: Saint-Laurent de Cognac (16) et Condom (32) - Conserverie: Bretenous (46) et Biars-sur-Céré (46) </p>	<p>ARM ET CER</p> <p>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).</p>
<p>VEOLIA WATER SYSTEMS (FRANCE)</p> <p>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.</p> <p>Types de marchés Conception - Construction - Exploitation</p> <p>Licences Licences exclusives: <ul style="list-style-type: none"> - 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. </p> <p>Site internet www.veoliawater.com</p>	<p>Procédés</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Infiniment mélangé/contact BioTherm® de Krüger: digestion thermophile des boues. ▲ UASB <ul style="list-style-type: none"> - Procédés Paques: BIOPAQ®UASB, BIOPAS®XS, BIOPAQ®IC. - Procédés Biothane: Biobed LV et HV. <p>Autres BioPasteur® de Krüger pour la pasteurisation des boues.</p> <p>Applications Agroalimentaire, papeterie, chimie, textile, Pharmacie, eaux usées municipales, agriculture</p> <p>Références</p> <p>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 Facture (33).</p>	<p>LINDE KCA DRESDEN (ALLEMAGNE)</p> <p>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.</p> <p>Types de marchés Conception - construction</p> <p>Site internet www.linde.de</p>
<p>VOR ENVIRONNEMENT (FRANCE)</p> <p>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...</p> <p>Site internet www.vor.fr</p>	<p>Procédés</p> <p>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.</p> <p>▲ Méthavor: 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.</p> <p>Références</p> <p>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.</p>	<p>ENTEC (AUTRICHE)</p> <p>ENTEC est spécialisée dans le traitement anaérobiose des effluents industriels, agricoles, municipaux.</p> <p>Site internet www.biogas.at</p> <p>Procédés et références</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ UASB: Références en Autriche (conserverie), Grèce (amidon). ▲ ANAFILM: filtre anaérobiose. ▲ ANASTIR: procédé contact (infiniment mélangé avec re-circulation en tête), pour les produits trop chargés pour un traitement par UASB ou filtre anaérobiose. Références en distillerie. ▲ BIMA: 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. ▲ ENTEC-CSTR: infiniment mélangé classique. Réalisations sur boues urbaines, boues d'abattoirs. ▲ Produits connexes: torchères, gazomètres, unités de désulfurisation... <p>GWE / ENVIROASIA</p> <p>Site internet www.enviroasia.com ou www.globalwaterengineering.com</p> <p>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.</p>

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

En savoir plus

Quelques sites Web

Ces sites complètent les adresses internet des concepteurs et constructeurs.

- ▲ www.uasb.org
Le site de référence sur les procédés UASB.
- ▲ www.biogaz.atee.fr
Le site biogaz de l'ATEE, Association technique énergie environnement et club cogénération biogaz.
- ▲ 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 anaérobiose », 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 anaérobiose : du plus grand au plus petit », Biofutur.
- ▲ Nyns E.-J., 1994,
« A guide to successfull industrial implementation of biomethanisation technologies in the European Union », programme THERMIE.

