

# « Déchets, énergie et changement climatique »

Colloque européen, 5-6 Décembre 2002

AMORCE – ACRR – Energies Cités – Ville de Paris

## Améliorer le bilan effet de serre des installations de stockage des déchets

### 1. Présentation de l'auteur

Christian Couturier	
SOLAGRO - 219 Avenue de Muret – 31300 Toulouse	
Tél. 05 61 59 56 16 – Fax. 05 61 59 98 41 - Email <a href="mailto:christian.couturier@solagro.asso.fr">christian.couturier@solagro.asso.fr</a>	
Version 2	révisée le 16 Juillet 2003

### 2. Sommaire

<b>1. PRÉSENTATION</b>	<b>1</b>
<b>2. SOMMAIRE</b>	<b>1</b>
<b>3. SYNTHÈSE DE LA CONTRIBUTION</b>	<b>2</b>
<b>4. TEXTE</b>	<b>3</b>
<input type="checkbox"/> La contribution du gaz de décharge dans les émissions de gaz l'effet de serre dans l'Union Européenne	3
<input type="checkbox"/> ... et en France	4
<input type="checkbox"/> Ou et quand agir ?	4
<input type="checkbox"/> Quels enjeux?	5
<input type="checkbox"/> Capturer le biogaz de façon « optimale » ?	6
<input type="checkbox"/> Couverture « semi-perméable » ou « imperméable » ?	7
<input type="checkbox"/> Un « seuil minimal » pour la collecte du gaz ?	7
<input type="checkbox"/> Du diagnostic à l'action : les outils de prévision	8
<input type="checkbox"/> La limitation des émissions initiales	8
<input type="checkbox"/> L'oxydation « naturelle »	8
<input type="checkbox"/> La valorisation énergétique	9
<input type="checkbox"/> Le pré-traitement	10
<input type="checkbox"/> Conclusion	11
<b>5. ANNEXE : NOTE DE CALCUL DU PRG DE BIOGAZ</b>	<b>11</b>
<b>6. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>12</b>

### 3. Synthèse de la contribution

La contribution des centres d'enfouissement des déchets est estimée à 3 à 4 % des émissions totales de gaz à effet de serre, en France et en Europe. Bien que les émissions aient fortement diminué depuis une dizaine d'années grâce à la généralisation de la collecte du gaz sur les sites les plus importants, il est encore possible d'améliorer significativement le bilan « effet de serre » des centres d'enfouissement par différentes mesures.

- La conception de type « **bioréacteur** »

La conception « bioréacteur » repose sur le concept de maîtrise des flux : les parois étanches au gaz (type géomembrane), sont celles qui offrent les meilleures performances quant au taux de captage du gaz. Le risque d'assèchement, par rapport aux couvertures dites « semi-perméables », n'est pas établi. Pour y pallier néanmoins, le dispositif peut être complété, lorsque c'est possible, par une recirculation des lixiviats dans le massif de déchets pour maintenir des conditions d'humidité favorables au bon déroulement des fermentations.

Les émissions résiduelles peuvent en outre être réduites par l'oxydation naturelle du méthane à travers une couverture à fort contenu organique, phénomène qu'il conviendrait d'étudier plus en détail.

- le recours aux « **meilleures pratiques** »

Les conditions d'exploitation, qu'il s'agisse de décharges classiques ou de bioréacteur, sont essentielles au bon fonctionnement et au maintien des performances dans le temps. Les « bonnes pratiques » incluent les systèmes de mesure en temps réel et des protocoles d'exploitation adaptés.

- le choix de **modes d'exploitation**

Les émissions de méthane démarrent rapidement, en quelques semaines, et il est difficile de collecter ces émissions. Il convient donc de limiter la durée de remplissage des casiers, et de mettre en service les systèmes de dégazage au plus tôt.

- La **valorisation du biogaz**

Outre le fait d'utiliser une énergie renouvelable, locale et fatale, la valorisation du biogaz peut contribuer significativement à l'amélioration du bilan effet de serre. Lorsque toutes les mesures précédentes ont été adoptées, la valorisation du biogaz est susceptible de compenser les fuites inévitables du système (fuites résiduelles au paroi, émissions initiales), et d'aboutir à un bilan positif du point de vue effet de serre.

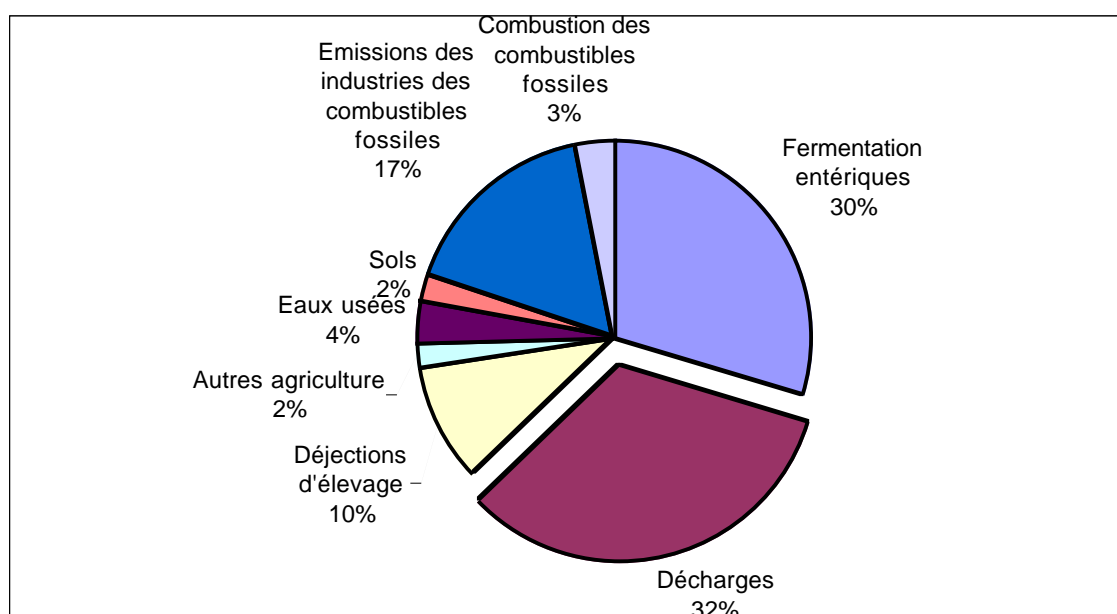
La valorisation du gaz de décharge nécessite des mesures de soutien adaptées. Lorsqu'il n'existe aucun débouché thermique cohérent avec la production, la production d'électricité reste la seule voie disponible : or, les tarifs actuels d'achat de l'électricité sont insuffisants pour amorcer le développement réel de cette filière. Le transport du gaz mérite également une attention particulière.

## 4. Texte

### □ La contribution du gaz de décharge dans les émissions de gaz l'effet de serre dans l'Union Européenne

Le méthane est un important contributeur à l'effet de serre. Dans l'Union Européenne, le méthane généré par les activités humaines en représente 22 millions de tonnes par an <sup>1</sup>. A raison d'une équivalence de 21 tonnes de CO<sub>2</sub> pour une tonne de méthane<sup>2</sup> en termes d'impact sur l'effet de serre (Potentiel de Réchauffement Global), ces émissions représentent 460 millions de tonnes-équivalent CO<sub>2</sub> : 11 % du total des émissions de gaz à effet de serre.

Dans les années 1990, les émissions non contrôlées de gaz de décharge constituaient la première source de méthane, avec plus de 7 millions de tonnes, soit 150 millions de tonnes-équivalent CO<sub>2</sub>, devant les fermentations entériques des ruminants ou les émissions de gaz naturel et de gaz de mine.



Les décharges contribuent ainsi à hauteur de **3,8 %** aux émissions de gaz à effet de serre de l'Union Européenne.

Le méthane possède un PRG 21 fois supérieur à celui du gaz carbonique (sur 100 ans), mais sa durée de vie est beaucoup plus courte : 12 ans en moyenne. On estime que la **concentration en méthane sera stabilisée au niveau actuel en diminuant les émissions de 8 %**.

<sup>1</sup> l'incertitude est de l'ordre de  $\pm 20$  %. Source [1].

<sup>2</sup> Rappelons les équivalences en terme de PRG : 1 kg CH<sub>4</sub>  $\Leftrightarrow$  21 kg  $\text{eq. CO}_2$ , 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>  $\Leftrightarrow$  7,6 m<sup>3</sup>  $\text{eq. CO}_2$ , ou 1 kg C (sous forme CH<sub>4</sub>)  $\Leftrightarrow$  7,6 kg  $\text{eq. C}$  (sous forme CO<sub>2</sub>). 1 m<sup>3</sup> de méthane peut se substituer à 1 litre de fioul, soit une économie de CO<sub>2</sub> fossile par valorisation de 0,86 kg  $\text{eq. C}$  ou 3,2 kg  $\text{eq. CO}_2$ .

Parmi les sources d'émissions de gaz à effet de serre, la réduction des émissions dues aux décharges apparaît comme une mesure des plus efficaces. Les émissions sont en effet concentrées sur quelques sites bien identifiés, où par ailleurs la réglementation impose la collecte et a minima l'élimination du gaz en torchère pour des raisons de sécurité et d'environnement. Les travaux nécessaires ne sont pas très complexes, et relativement peu coûteux si l'on compare le coût de gestion du biogaz par rapport au coût total de l'enfouissement.

Collecter et brûler le gaz de décharge est une **mesure à dividendes multiples à faible coût par tonne de CO<sub>2</sub> évitée**.

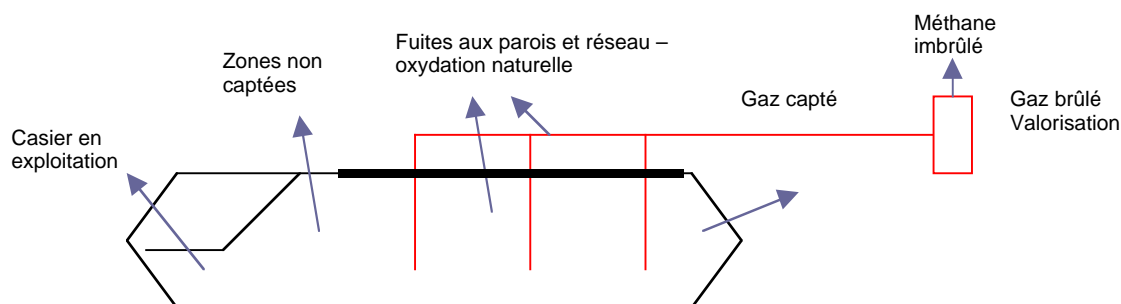
#### □ ... et en France

En France, le CITEPA estime que le biogaz de décharge représente 740.000 tonnes en 2000, soit 25 % des émissions de méthane d'origine anthropique, loin derrière l'agriculture (52 %). Sur le total des émissions de GES (484 millions de tonnes-équivalent CO<sub>2</sub>), le gaz de décharge représente un peu plus de 3 %.

Les émissions sont en **nette diminution depuis le milieu des années 1990**, du fait de la généralisation de la collecte du biogaz (arrêté « décharge » de 1997). Ces chiffres restent à considérer avec prudence étant donné les incertitudes (l'AEAT avance une marge d'erreur global de l'ordre de 40 %).

#### □ Ou et quand agir ?

Les émissions non contrôlées de méthane vers l'atmosphère interviennent à différents lieux et moments.



- les **casiers en cours d'exploitation** émettent du biogaz : la fermentation anaérobie démarre en effet rapidement, en quelques mois voire quelques semaines. Or il est techniquement difficile de collecter convenablement le gaz sur des casiers en cours d'exploitation.
- le biogaz peut **migrer à travers les parois** (flancs des casiers et couverture) lorsque celles-ci ne sont pas étanches au gaz. Plusieurs possibilités s'offrent à l'exploitant du centre d'enfouissement, depuis la réalisation de parois étanches à la gestion dynamique du système d'extraction du gaz. La bonne gestion du gaz de décharge consiste essentiellement à limiter ces fuites : le « **taux de collecte** » du gaz, qui mesure le rapport entre le gaz collecté et le gaz produit, et donc par différence les fuites de biogaz vers l'environnement, peut être très médiocre, alors qu'il est possible de dépasser des taux de plus de 90 %.

- Des phénomènes **d'oxydation du méthane** interviennent lors de cette traversée, lorsque la couverture offre un milieu propice au développement des bactéries méthanotrophes, capables de transformer le méthane en gaz carbonique.
- Les émissions de méthane imbrûlé en torchère sont insignifiantes par rapport à la quantité de méthane brûlé. Le méthane est transformé en gaz carbonique dans sa quasi-totalité. Celui-ci provenant essentiellement de déchets de biomasse, voués d'une manière ou d'une autre à être dégradée en gaz carbonique, le cycle carbone est bouclé, et donc **le gaz carbonique émis par les torchères ne contribue pas à l'augmentation des gaz à effet de serre.**
- La **valorisation énergétique** du biogaz contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, si celui-ci se substitue à un combustible fossile.

Le « système enfouissement » s'inscrit par ailleurs dans un contexte plus large de gestion des déchets :

- les **actions à la source** sont envisageables : il s'agit de toute la problématique de la politique « décharge » de l'Union Européenne, qui vise à diminuer les apports de matières fermentescibles, et des nouvelles pratiques de traitement mécano-biologique des déchets avant enfouissement.
- La problématique « effet de serre » doit aussi prendre en compte l'effet « **puits de carbone** » que représente la décharge. En effet, tout le carbone n'est pas transformé en biogaz : une petite partie se retrouve dans les lixiviats, mais la quasi-totalité des matières de synthèse (plastiques) n'est pas dégradée, et une partie significative du carbone d'origine biologique – la part réfractaire à la digestion, comme la lignine - ne sera pas non plus transformée.

On ne préconisera certainement pas ici de stocker les papiers, plastiques ou bois de rebut en ISD...

## ❑ **Quels enjeux?**

Pour de nombreux sites, le captage n'est réalisé souvent que plusieurs années après l'enfouissement des déchets, de façon partielle et peu efficace, avec une couverture insuffisante.

En outre, si le biogaz est valorisé, les économies par substitution d'énergie fossile peuvent représenter l'équivalent des émissions résiduelles (il faut que sur la totalité de la durée de production, le biogaz collecté soit effectivement valorisé à hauteur de 60 %), ce qui fait alors de l'ISD une installation « neutre » vis à vis de l'effet de serre.

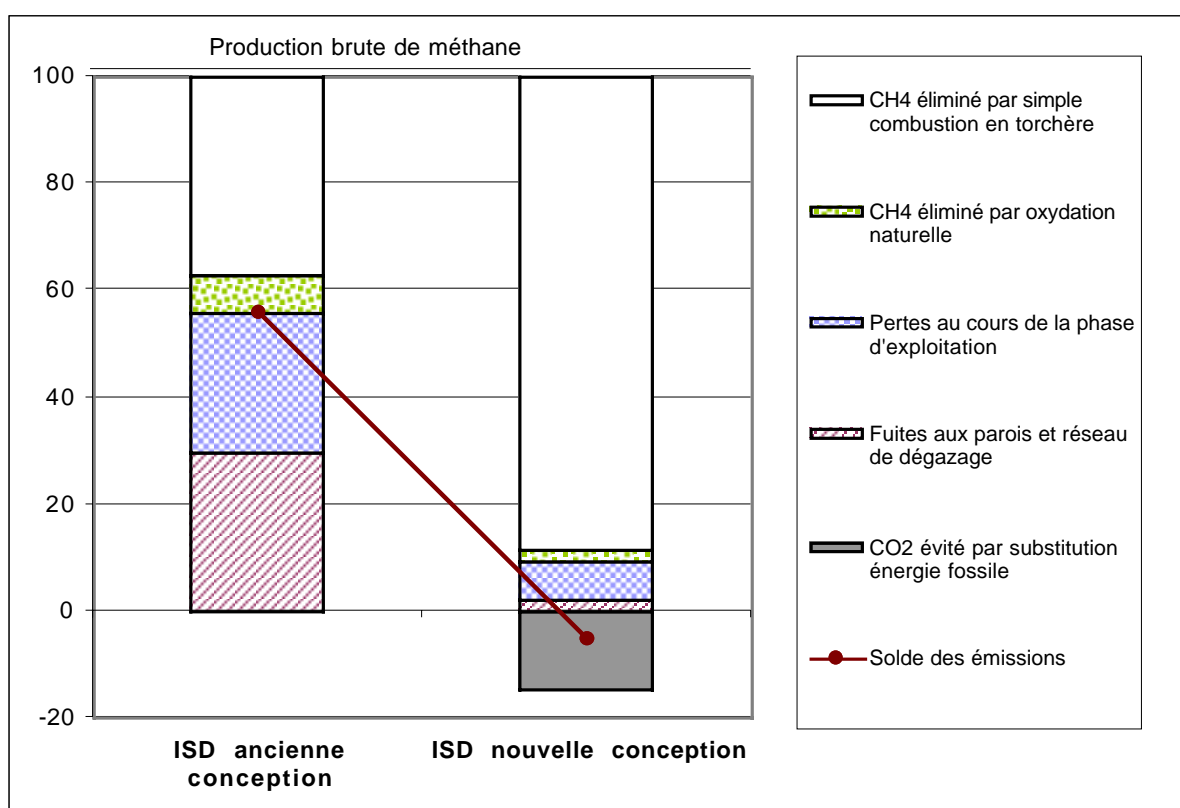
On constate donc que la priorité consiste à bien collecter le biogaz, mais que la conception même de l'ISD (délai de dégazage) joue un rôle important, de même que la nature de la couverture, ainsi que la valorisation du biogaz.

Par rapport à un grand nombre de situations actuelles (type « ancienne conception »), les enjeux peuvent s'évaluer de la façon suivante (en % des émissions « moyennes »), en tenant compte des aspects pratiques :

- Amélioration captage (en intégrant le phénomène d'oxydation) : 35 %
- Réduction délai de captage : 30 %
- Valorisation du biogaz : 25 %

Le graphique ci-dessous illustre le bilan « effet de serre » (ramené en m3 de méthane par tonne de déchets) entre une installation « ancienne conception » et une installation « nouvelle conception ».

	« Ancienne conception »	« Nouvelle conception »
Délais de mise en place effective du dégazage	4 ans	1 an
Taux de captage	50 %	95 %
Oxydation parois	20 % des fuites	50 % des fuites
Valorisation	Non	Substitution fioul
<b>Soldes des émissions (m3 CH4/t)</b> (non compris effet « puits de carbone »)	<b>+ 56</b>	<b>- 6</b>



#### □ Capturer le biogaz de façon « optimale » ?

Le facteur principal est bien entendu l'efficacité du dégazage associée à l'élimination en torchère. La réglementation (arrêté décharge du 9-9-97) stipule que le biogaz doit être collecté de façon « optimale ». Il n'existe pas de moyen simple de mesurer le taux de collecte, car ceci nécessite des programmes de mesure relativement lourds qui sont effectués aujourd'hui dans le cadre de programmes de recherche.

Ceux-ci, menés par exemple par le CreeD et SITA, font état de valeurs qui dépendent fortement du type de couverture :

<i>Zone non couverte (casiers en phase de remplissage avec dégazage provisoire)</i>	35 % ?
Couverture semi-perméable	50 à 65 %
Couverture « imperméable » géosynthétique ou argile naturelle compactée (épaisseur 50 cm x perméabilité < 10 <sup>-9</sup> m/s)	75 à 85 %
Couverture géomembrane	90 à ~100 %

Dans la pratique, on observe fréquemment une forte augmentation du débit de gaz collecté lorsque l'on vient de procéder à un entretien du réseau (réglages, purges) ou à son amélioration (création de nouveaux puits). Si le débit de biogaz double brusquement, ceci n'a rien à voir avec une soudaine activité bactérienne, mais indique simplement que le taux de captage ne dépassait pas 50 % précédemment...

#### □ **Couverture « semi-perméable » ou « imperméable » ?**

On notera que les couvertures dites « semi-perméables » (du point de vue des eaux) laissent tout de même passer des fuites de gaz de 35 à 50 %.

On s'interroge sur l'effet des couvertures imperméables sur le process de fermentation : en empêchant les infiltrations d'eau de pluie, ne risque-t-on pas d'assécher les déchets et de bloquer les fermentations, qui seraient alors susceptibles de redémarrer plus tard ?

Ceci n'est pas démontré aujourd'hui : on observe un assèchement de déchets aussi bien sur des casiers étanches que sur des casiers non étanches, et également l'inverse. La pratique du bioréacteur, avec recirculation des lixiviats, doit permettre de pallier à ce risque potentiel.

Dès lors que l'on fait le choix d'une couverture imperméable (avec ou sans recirculation), le choix devrait alors porter sur les géomembranes, étanches non seulement à l'eau mais aussi au gaz : les couvertures à base d'argile laissent en effet passer des fuites de 15 à 25 % de méthane.

#### □ **Un « seuil minimal » pour la collecte du gaz ?**

L'une des questions fréquemment posée, et pour laquelle on ne dispose pas de réponse définitive, est celle du seuil au delà duquel il y a nécessité de collecter le biogaz. Cette question concerne de très nombreuses décharges communales, et plusieurs CET importants fermés depuis plusieurs années, où la production résiduelle de biogaz semble ne pas toujours justifier le maintien des systèmes de collecte et d'élimination.

Les moyens techniques classiquement mis en œuvre constituent souvent un investissement important pour ces petits sites. En outre, lorsque le débit est très faible, il devient souvent très difficile de maintenir une qualité correcte du biogaz, c'est-à-dire en l'occurrence une concentration en méthane supérieure à 15 %, limite haute de la plage d'explosivité du méthane dans l'air.

Dans une optique de proportionner les efforts aux risques et impacts réels, nous pouvons être amenés à préconiser le non captage du biogaz, dès lors qu'il est évident que les faibles quantités en jeu ne présentent pas de risque, pour peu que quelques règles élémentaires de sécurité soient connues et respectées.

### □ **Du diagnostic à l'action : les outils de prévision**

La première étape dans la gestion du gaz de décharge consiste à estimer la production pour les années à venir. Les bureaux d'étude disposent de modèles, largement empiriques, de production de gaz de décharge, mais actuellement il n'existe aucun modèle capable de prendre en compte l'ensemble des paramètres qui régissent les phénomènes de fermentation.

Il arrive fréquemment que la réalité constatée s'éloigne sensiblement du diagnostic initial. Il est important de comprendre que la notion d'erreur ne s'applique pas à ces modèles, et qu'il convient de raisonner d'un point de vue statistique. Comme lorsque l'on raisonne en « espérance de vie » en sachant que la durée de vie réelle d'un individu est en général différente de la moyenne statistique de la population.

Le paramètre le plus important est le potentiel méthanogène du déchet, que nous désignons sous le terme de  $P_{CH_4}$ . Il est de l'ordre de 100 m<sup>3</sup> de méthane par tonne de déchet ménager : le  $P_{CH_4}$  est amené à évoluer sensiblement avec le développement des collectes séparatives.

Ce potentiel s'exprime sur plusieurs dizaines d'années, de façon décroissante (la productivité décroît de 5 à 15 % par an) : cette vitesse de décroissance varie en réalité dans le temps et l'espace et est fonction de nombreux paramètres. D'où la nécessité de recourir à des mesures régulières sur site.

Le « guide de la gestion du gaz de décharge » (réf. [2]) donne de nombreuses informations méthodologiques et pratiques.

### □ **La limitation des émissions initiales**

La limitation des fuites initiales peut passer par une réduction de la durée d'exploitation des casiers. Si le réseau de captage du gaz est installé et mis en service un an après le début d'exploitation du casier, les émissions initiales ne dépassent pas quelques pourcents de la production totale. Si l'on attend 5 ans, elles peuvent atteindre le quart ou le tiers...

On privilégiera donc des casiers dont l'exploitation ne dépassera pas un an, de préférence aux casiers qui restent ouverts sur une période plus longue au cours de laquelle une grande partie du biogaz est susceptible de s'échapper.

Si cette option n'est pas possible, le dégazage partiel par un système temporaire reste une option, cependant de moindre efficacité. D'une part le casier est ouvert et l'étanchéité de la couverture absente ; d'autre part la densité des puits est limitée dans la mesure où un casier est un lieu de circulation d'engins, qui peuvent en outre endommager ce système et réduire encore son efficacité.

### □ **L'oxydation « naturelle »**

L'oxydation à travers les parois peut être favorisée en réalisant une couverture favorable au développement des bactéries méthanotrophes.

L'oxydation du méthane est basée sur un certain nombre de facteurs déterminants :

- l'apport suffisant de nutriments,
- l'existence de micro-organismes méthanotrophes,
- la présence d'oxygène et de méthane,
- un support convenable assurant l'apport de nutriments et permettant le développement de colonies bactériennes,
- un taux d'humidité et des conditions ambiantes convenables dans le milieu.

Dans un sol, la zone propice au déroulement de procédés oxydants occupe une zone large de 10 à 30 cm. L'oxydation du méthane à travers la couverture se fait naturellement par voie microbienne du fait de la présence d'air au sein des couvertures, mais l'efficacité de cette oxydation varie de 0 à 90 % :

- Des études menées sur site ont montré que 10 à 20 % du méthane est oxydé à travers la couverture ;
- Des simulations faites en laboratoire montrent un taux d'oxydation du méthane de 60 %, voire 100 % ;
- Cette oxydation peut être améliorée par l'utilisation sur la couverture d'un compost. On a montré, à l'échelle du laboratoire, que l'utilisation d'une couche de 60 cm d'un compost mûr permet l'oxydation de la totalité du méthane généralement émis d'une décharge d'ordures ménagères et assimilées (jusqu'à 200 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/h par hectare).

La présence de fissures ou de trous dans la couverture autorise le transfert direct du méthane vers l'atmosphère sans étape d'oxydation.

Il convient de rester prudent sur les capacités réelles d'oxydation, les chiffres avancés restant à confirmer.

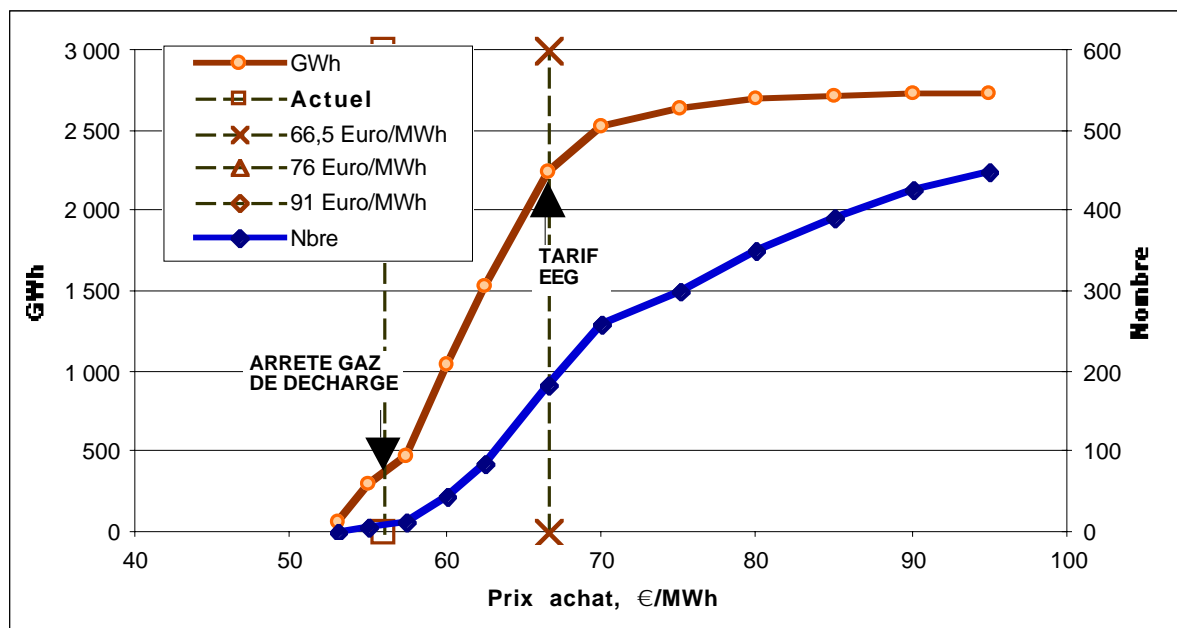
On peut utiliser du compost issu de la méthanisation de biodéchets, ce qui offrirait un débouché supplémentaire aux filières de recyclage des déchets organiques.

#### □ La valorisation énergétique

La valorisation énergétique du gaz de décharge représentait en 2000, en France, près de 63.000 tonnes-équivalent pétrole : 249 GWh électriques et 100 GWh électriques. Le gisement peut être estimé à près de 300.000 tep par an.

Avec le nouveau tarif « gaz de décharge » (3 Octobre 2001), l'électricité issue du gaz de décharge (pour les puissances inférieures à 2 MW, qui représentent le plus grand nombre) sera désormais achetée à environ 57 €/MWh, plus ou moins selon le taux de disponibilité, un peu plus dans les DOM, avec une prime pour la récupération de la chaleur. Le coût théorique maximal, en métropole, est de 64 €/MWh.

Ce nouveau tarif reste insuffisant pour promouvoir réellement la valorisation de cette énergie. On peut estimer que le tarif Allemand de 66,5 €/MWh (loi EEG, installations gaz de décharge entre 500 kW et 5 MW), permettrait de valoriser l'essentiel du gisement, soit de l'ordre de 2.000 GWh pour près de 200 installations.



La valorisation sous forme électrique reste la solution de facilité, qui permet de garantir un débouché sûr et continu pour le biogaz. D'autres voies – comme la valorisation thermique directe (y compris par cogénération) ou l'injection sur le réseau de gaz naturel (après épuration) - sont plus intéressantes sur les plans technique, environnemental, économique.

Celles-ci ne font pas l'objet de dispositifs de soutien de la part des pouvoirs publics, hormis les subventions à l'investissement, et pour le moment en France l'injection sur le réseau fait l'objet d'un blocage total.

Il est important néanmoins d'examiner toutes les options possibles, au niveau des études de pré-faisabilité : les possibilités d'utiliser la chaleur sont souvent plus nombreuses que ce que l'on imagine généralement, et ces solutions ne peuvent être écartées sans examen. Le transport du biogaz sur des distances de quelques kilomètres est parfaitement envisageable – le bilan économique est étroitement lié à la distance, au débit et au taux d'utilisation.

### □ Le pré-traitement

Le pré-traitement, notamment les traitements mécano-biologiques (TMB), font l'objet en France d'un intérêt récent. Ils visent à réduire la fermentescibilité des déchets avant le stade d'enfouissement, pour réduire les émissions d'odeurs, gaz et lixiviats. Les déchets ainsi traités seraient considérés comme des « déchets ultimes » acceptables en ISD.

Les TMB font appel à des procédés mécaniques (tri, broyage...) et biologiques (compostage, méthanisation). A Kaiserlautern (Allemagne), les déchets ménagers font l'objet d'une collecte séparative : les recyclables secs sont recyclés, les fermentescibles sont compostés avec les déchets verts.

Le résidu (déchets « gris ») est envoyé en centre de traitement : un trommel permet de séparer les déchets légers (plastiques...), les éléments lourds (cailloux, verre...). Il est suivi par un tri magnétique pour récupérer les métaux (ferreux et non ferreux). Les légers sont combustibles, le PCI du matériau obtenu est voisin de celui du charbon. Le résidu est ensuite envoyé en méthanisation, et le digestat subit ensuite une maturation aérobie sur la plateforme de compostage, avant d'être stocké dans l'ISD.

Le biogaz issu du digesteur est valorisé conjointement au biogaz récupéré sur les casiers anciens de l'IS, par des moteurs à gaz. Une partie de la chaleur est récupérée par stockage

dans un matériau à forte inertie thermique, transporté par conteneur à plusieurs kilomètres de distance.

## □ Conclusion

La minimisation des impacts effet de serre des centres d'enfouissement dans l'avenir passe par :

- la conception de type « **bioréacteur** » avec parois étanches au gaz (type géomembrane), couverture à fort contenu organique pour maximiser l'effet d'oxydation, et recirculation des lixiviats pour éviter les éventuels risques d'assèchement.
- le recours aux « **meilleures pratiques** » disponibles en terme de gestion des systèmes de dégazage, incluant les systèmes de mesure en temps réel et des protocoles d'exploitation adaptés.
- le choix de **modes d'exploitation** qui permettent de limiter la durée de remplissage des casiers avant captage, avec mise en place effective des systèmes de dégazage dès que possible.
- La **valorisation du biogaz**, ce qui nécessite des mesures de soutien cohérentes, notamment pour le transport du biogaz, et la révision des tarifs d'achat de l'électricité.

## 5. Annexe : note de calcul du PRG de biogaz

Pour 100 m<sup>3</sup> ou 72 kg CH<sub>4</sub> (soit la production d'environ **une tonne de déchets** municipaux) :

- **Emission directe** dans l'atmosphère : 72 kg CH<sub>4</sub> x 21 (équivalence PRG) = **1512 kg** éq. CO<sub>2</sub>.
- **Combustion** en torchère : CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> -> CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O donc 72 kg CH<sub>4</sub> x 44/16 = 198 kg éq. CO<sub>2</sub> – soit une **réduction de 1314 kg** éq. CO<sub>2</sub>.
- **Valorisation** : 100 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> ⇔ 1 MWh. 1 MWh de pétrole émet 86 kg C soit 315 kg éq. CO<sub>2</sub> (gaz naturel : 205 ; charbon : 473). Donc la substitution de pétrole par du biogaz permet l'économie de **315 kg** éq. CO<sub>2</sub> pour 100 m<sup>3</sup> de méthane (3,15 kg éq. CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>), soit 21 % du PRG.

En réalité, la biomasse qui fermente se serait dégradée en CO<sub>2</sub> quel que soit son devenir. Si l'on compare le système « stockage des déchets » avec le cycle du carbone, il faudrait retrancher les émissions fatales de gaz carbonique.

Les émissions directes dans l'atmosphère génèrent donc une augmentation de GES à hauteur de 1512 – 198 = 1314 kg éq. CO<sub>2</sub> pour 100 m<sup>3</sup> ou 72 kg de méthane, soit un coefficient de 18,25 kg éq. CO<sub>2</sub> par kg CH<sub>4</sub>. On parlera de **PRG « brut »** lorsque l'on utilise le coefficient de 21, et de **PRG « net »** lorsque l'on raisonne par rapport à une autre situation « de référence », avec le coefficient de 18,25.

La combustion en torchère n'augmente pas les émissions de gaz à effet de serre.

Pour la valorisation, il conviendrait de prendre en compte l'ensemble de la filière des combustibles fossiles (extraction, transport...), ce qui augmente l'effet de substitution de l'ordre de 10 %.

La valorisation par substitution au fioul représente 21 % du PRG « brut », ou 24 % du PRG « net », c'est à dire qu'**en substituant 100 m3 de méthane à du fioul** (à même contenu énergétique), **l'effet est le même qu'en réduisant les émissions directes de méthane de 24 m3.**

Combustible	kg C / MWh	kg CO2 / MWh	% PRG brut	% PRG net
Fioul	86	315	21%	24%
Gaz fossile	56	205	14%	16%
Charbon	129	473	31%	36%
Electricité (mix français 2001, consommation intérieure nette)	36	131	9 %	10 %

## 6. Bibliographie

- [1] « *Options to reduce methane emissions (final report)* », AEAT, pour la DG XI de la Commission des Communautés Européennes. Novembre 1998.
- [2] « *Gérer le gaz de décharge – Techniques et recommandations* ». Auteurs : C. Couturier et al., © ADEME Editions, Angers, Décembre 2001. 147 pages. ISBN 2-86817-581-3.