

# Etat de l'art du traitement des déchets organiques

*Traitements thermiques et Méthanisation*





ETUDE N° 01-0221//0408/1A

**TRAITEMENT DES DECHETS ORGANIQUES  
ÉTAT DE L'ART**

**TRAITEMENTS THERMIQUES  
METHANISATION**

**RAPPORT FINAL**

**février 2003**

**F. CANSELL** – ICMCB – CNRS Bordeaux (étude 01-0221/1A)  
**R. MOLETTA** – INRA Narbonne (étude 01-0408/1A)

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :

**RECORD**, Traitement des déchets organiques – Etat de l'art. Traitements thermiques. Méthanisation, 2003, 270 p, n°01-0221//0408/1A.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

© RECORD, 2003

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>CLASSIFICATION DES DECHETS</b>	<b>2</b>
<b>DECHETS MUNICIPAUX</b>	<b>3</b>
<b>I. Les ordures ménagères</b>	<b>4</b>
I.1 Composition générale des ordures ménagères	4
I.2. Traitement et coût des ordures ménagères	4
<b>II. Les déchets d’emballage</b>	<b>5</b>
<b>III. Les boues</b>	<b>5</b>
III.1. Origine des boues	5
III.2. Caractéristiques des boues	6
III.3. Traitement des boues	6
III.4. Valorisation	7
III.5. Gisement	10
<b>LES DECHETS INDUSTRIELS</b>	<b>11</b>
<b>I. Déchets inertes</b>	<b>11</b>
<b>II. Déchets Industriels Banals (DIB)</b>	<b>11</b>
<b>III. Déchets Industriels Speciaux</b>	<b>14</b>
III.1. Gisement	14
III.2. Devenir des DIS	17
<b>IV. Cas particulier : déchets issus des effluents de papeterie</b>	<b>19</b>
IV.1. La production de déchets	19
IV.2. Devenir des boues de papèteries	19
<b>IV. Déchets de l’agriculture et agro-alimentaire</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>22</b>
<b>GLOSSAIRE</b>	<b>23</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXE : CLASSIFICATION DES DIS</b>	<b>26</b>

## **INTRODUCTION**

Nos sociétés industrialisées génèrent chaque année plusieurs millions de tonnes de déchets. Parallèlement à l'accroissement du gisement des déchets, les contraintes environnementales imposent des normes de rejets en milieu naturel toujours plus basses.

Concernant le stockage des déchets, la loi du 13 Juillet 1992 stipule notamment que :

« A compter du 1<sup>er</sup> Juillet 2002, les installations d'élimination des déchets par stockage ne seront autorisées à accueillir que des déchets ultimes » sachant que « est ultime un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

## CLASSIFICATION DES DECHETS

On a trois grandes origines des déchets :

- **Les déchets municipaux** dont la compétence, pour l'élimination, revient aux communes (ordures ménagères, encombrants, déchets verts publics, boues de station d'épuration urbaine des collectivités, déchets de nettoyage, déchets non dangereux du commerce, de l'artisanat ...). Ils ont été évalués à 47 millions de tonne en 1998.

- **Les déchets industriels**

Ils sont composés de :

- Déchets industriels inertes qui sont les résidus des activités extractives, des déblais et produits de démolition,
- Déchets industriels banals (DIB) issus des industries, des commerces qui ont les mêmes caractéristiques que les ordures ménagères. Ils ont été évalués à 21,7 millions de tonnes (en 1998),
- Déchets industriels spéciaux (DIS) - ou dénommé plus communément maintenant «déchets dangereux» - regroupe les déchets qui nécessitent un traitement particulier en raisons de leurs caractères nocifs et dangereux. Ils ont été évalués à 6,5 millions de tonnes (en 1994).

L'ordre de grandeur de déchets industriels est de 150 millions de tonnes dont les deux tiers sont des inertes.

- **Les «déchets» de l'agriculture, de l'élevage et de l'agro-alimentaire**

Ils prennent le statut de déchet ou non en fonction de leur devenir. L'épandage des fumiers peut être considéré comme un apport d'engrais et donc sortir de la notion de «destiné à l'abandon».

Ils sont composés des résidus d'élevages et de déchets (ou co-produit) des industries agro-alimentaires. L'ordre de grandeur est de 410 millions de tonnes par an dont 45 millions de tonnes proviennent de l'industrie agro-alimentaire.

## DECHETS MUNICIPAUX

Les déchets municipaux correspondent à l'ensemble des déchets dont l'élimination doit, par obligation légale, être assurée par les communes ou leurs regroupements.

La composition des déchets municipaux est très variée en raison de leurs différentes provenances. Les ordures ménagères sont plutôt riches en matières putrescibles et en emballages (papiers, cartons, plastiques, métaux) ; les encombrants, eux se composent essentiellement d'appareils ménagers ou de gravats. Les déchets des communes quant à eux, comprennent beaucoup de boues et de graisses.

Les déchets municipaux se classent en plusieurs catégories répertoriées dans le tableau 1 avec le tonnage correspondant :

<b>Descriptif</b>	<b>Quantité en millions de tonnes (Mt)</b>
Déchets de nettoyage	4
Déchets d'assainissement collectif	9
Déchets verts de collectivités	0,9
Déchets encombrants des ménages dont déchets verts (1)	6
Ordures ménagères au sens strict (dont 2,2 Mt issues de séparation collective) (1) (2)	22
Déchets non dangereux (provenant des industriels, artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux, secteur tertiaire...) collectés avec les ordures ménagères (2)	4,9
<b>Total déchets municipaux</b>	<b>46,8</b>

Tableau 1 : La production de déchets municipaux (site internet de l'ADEME)

Les déchets des ménages représentent 28 Mt (1). Les ordures ménagères au sens large représentent 27 Mt (2) [1].

## **I. LES ORDURES MENAGERES**

### **I.1 Composition générale des ordures ménagères**

Les ordures ménagères sont composées principalement de déchets putrescibles, de papiers et cartons, de plastiques et de verre. En France, la production annuelle d'ordures ménagères est de 455 kg par habitant. La composition des ordures ménagères est reportée sur le tableau 2.

<b>Matériaux</b>	<b>%</b>	<b>kg/hab./an</b>
Déchets putrescibles	28,8	130
Papiers/cartons	25,3	115
Textiles sanitaires	3,1	14
Textiles	2,6	12
Plastiques	11,1	51
Complexes	1,4	6
Combustibles divers	3,2	15
Verre	13,1	60
Métaux	4,1	19
Incombustibles divers	6,8	31
Déchets spéciaux	0,5	2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>455</b>

Tableau 2 : Composition des ordures ménagères – moyenne nationale (en poids humide)

L'équivalent énergétique d'une tonne d'ordures ménagères correspond à 150 l de fuel. Les zones géographiques, les périodes de l'année génèrent des différences de composition sur les ordures ménagères. Celle de la ville d'Amiens est représentée dans le tableau 3, ci-dessous.

<b>Description</b>	<b>Composition moyenne (%)</b>	<b>MS* (%)</b>	<b>MSV/MS</b>
Papiers cartons	32	65	80
Fermentescibles	32	40	65
Plastiques	13	80	85
Textiles	3	80	80
Métaux	5	95	0
Inertes/verres	15	95	0

Tableau 3: Caractérisation des ordures ménagères de la ville d'Amiens

### **I.2. Traitement et coût des ordures ménagères**

Les ordures ménagères sont traitées par (en 1998) :

---

\* définition cf. glossaire

- incinération (35% dans 248 installations dont 100 avec récupération d'énergie),
- compostage (7%, soit dans 77 installations de tri compostage d'ordures brutes, soit dans 18 installations de compostages de la fraction fermentescible triée à la source),
- 50% vont dans les centres d'enfouissements techniques,
- 8% est du recyclage de matériaux issus de la collecte sélective.

Le coût global de gestion des ordures ménagères (après soustraction des recettes et des soutiens financiers) se situe entre 46 à 64 €HT/habitant/an [1] [2].

## **II. LES DECHETS D'EMBALLAGE**

Le gisement total des emballages est de 11,3 Mt qui se séparent en 6,7 Mt pour les emballages non ménagers (dont 3 Mt pour le papier carton) et 4,6 Mt pour les emballages ménagers (dont 1 Mt pour les papier-cartons) [3]. Cette part correspond aux déchets industriels banals pouvant être assimilés à des ordures ménagères donc à priori suivre la même filière d'élimination.

## **III. LES BOUES**

### **III.1. Origine des boues**

Une usine de traitement des eaux résiduaires assure le traitement des eaux usées urbaines, mais aussi, dans certains cas, les rejets des activités artisanales, commerciales, et industrielles [4].

Ce traitement produit :

- ✓ Une eau épurée, rejetée dans le milieu naturel;
- ✓ Différents types de sous - produits :
  - 1) Les refus de dégrillage : volumineux et peu homogènes, ils sont arrêtés à l'entrée de l'usine par des grilles et, généralement, envoyés en décharge ou à l'incinération. Compte tenu de leur composition, le recyclage est difficilement envisageable à l'heure actuelle. De part leur nature, ces déchets ont une qualité proche de celle des ordures ménagères et peuvent donc être traités dans des filières identiques.
  - 2) Les graisses et les sables : ils sont récupérés durant la deuxième phase de traitement (dessablage/dégraissage). Actuellement, ils sont généralement co-incinérés avec les ordures ménagères ou envoyés en décharge.
  - 3) Les boues : l'ensemble de ce qui reste est constitué de matières liquides et boueuses, raison pour laquelle on les a dénommées "boues". Les boues sont composées des sous-produits recueillis aux différentes étapes de la dépollution de l'eau. Elles contiennent toutes sortes de matières, en suspension ou dissoutes. Les caractéristiques des boues brutes (avant traitement) sont extrêmement variables d'une usine à l'autre. Elles dépendent de la nature des effluents et du type de traitement appliqué sur la filière d'eaux résiduaires.

Schématiquement, il existe deux grandes catégories de boues résiduaires :

- ✓ Les boues urbaines :

Elles résultent du traitement des eaux usées d'origine domestique. C'est à dire des activités des particuliers.

Une usine de 500 000 équivalent habitants\* produit environ 30 tonnes de MS par jour. Elle doit évacuer quotidiennement 100 tonnes de boues à 18-20% de siccité\*.

✓ Les boues industrielles :

Elles résultent du traitement des eaux d'origine industrielle. Leurs caractéristiques sont évidemment liées à la nature des activités industrielles concernées.

### **III.2. Caractéristiques des boues**

Les caractéristiques des boues sont extrêmement variables d'une usine à l'autre car elles dépendent de la nature des effluents et du type de traitement appliqué.

1) Les boues sont caractérisées suivant leur teneur en matière sèche (MS), exprimée en g/l si la boue est liquide et en pourcentage si la boue est solide. La teneur en MS est obtenue en séchant un échantillon de boue à 105°C à l'étuve ou par infrarouge.

Les matières minérales (MM) et matières volatiles (MV), exprimées en pourcentage de MS, sont obtenues en portant l'échantillon de boue à 600°C pendant 30 minutes.

Le résidu constitue les matières minérales et la partie détruite représente les matières volatiles. On assimile généralement les matières volatiles à la matière organique.

Finalement, une boue est constituée : eau + MS = eau + MM + MV = matière brute.

2) Le pH est un paramètre intervenant à divers stades du traitement et de la valorisation des boues. Le pH va influencer le conditionnement, la stabilisation anaérobie et la valorisation agricole.

3) Le PCI\* a une importance primordiale pour la valorisation thermique des boues. Le PCI représente la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de la boue avec formation de vapeur d'eau [5].

La composition type des boues brutes de station d'épuration urbaine est répartie ci-après [6]:

- Matière organique : 60% de la MS
- Matières fertilisantes (rapport C/N compris entre 5 et 15)
  - N-total 8% de la MS
  - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4 à 10% de la MS
  - K<sub>2</sub>O 1% de la MS
- Autres matières minérales 25% de la MS
- Eléments traces métalliques quelques g/kg de MS
- Micro-polluants toxiques quelques mg/kg de MS
- Micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, protozoaires ...)

### **III.3. Traitement des boues**

Le traitement consiste à déshydrater, sécher et stabiliser les boues. La déshydratation constitue l'étape majeure de la filière de traitement car la siccité obtenue est déterminante pour la suite du traitement [6]. La siccité obtenue après déshydratation doit être :

---

\* définition cf. glossaire

\* définition cf. glossaire

- de 15 à 30% pour obtenir une bonne qualité de compost,
- de 25 à 35% pour une valorisation thermique : si elles possèdent un pouvoir calorifique suffisant, les boues peuvent être incinérées dans des fours spécifiques ou encore industriels tels que ceux d'incinération d'ordures ménagères, de cimenterie, ...
- de 15 à 25% pour une valorisation thermique par co-incinération avec les ordures ménagères (voir paragraphe III.4.b.)
- au moins égale à 30% pour une mise en décharge contrôlée.

Parmi les différentes techniques de déshydratation, on peut citer :

- l'épaississement qui permet d'amener les boues à une siccité de 5-8%,
- les filtres à presse qui amènent les boues à 18-35% de siccité,
- la centrifugation qui donne des boues de 20 à 30% de siccité,
- les lits de déshydratation par les plantes,

L'efficacité de chaque procédé va dépendre de la nature des boues et de leur conditionnement au moyen de polymères ou d'autres réactifs (sels de fer, chaux), afin d'améliorer le rendement de capture et la siccité. Dans le cas des polymères, le choix du produit, son point d'injection et la technique de mélange sont des points délicats nécessitant de nombreux essais. De plus, les dépenses liées à ce produit occupent en général le poste le plus important parmi les frais d'exploitation de ces procédés [6].

### **III.4. Valorisation**

L'épandage des boues en agriculture comme matières fertilisantes constitue le principal mode de valorisation : un peu plus de 60% des boues ont été épandues en 1999 sur environ 2% de la surface agricole utile. Mais, si les boues offrent des qualités fertilisantes, elles n'en demeurent pas moins des déchets sur le plan juridique. Leur épandage implique donc des précautions réglementaires qui tiennent compte de la composition des boues et des propriétés physico-chimiques des sols. La France dispose d'un potentiel important de sols aptes à l'épandage, mais il est inégalement réparti.

La loi du 13 juillet 1979 sur le contrôle des matières fertilisantes permet de considérer les boues comme une matière fertilisante, en revanche, le décret du 8 décembre 1997 et l'arrêté du 8 janvier 1998 confirment que les boues de station d'épuration sont des déchets régis par la loi du 15 juillet 1975 sur l'élimination des déchets. Ils interdisent l'épandage de boues ne présentant pas un « intérêt pour les sols ou la nutrition des cultures et des plantations » et fixent les précautions d'usage vis-à-vis de la qualité des boues et des propriétés des sols. Pour pouvoir épandre, les producteurs de boues doivent obtenir l'accord du préfet pour une « étude préalable » ou un schéma d'organisation des épandages. Ils doivent aussi mettre en place un dispositif de gestion et de suivi de l'épandage.

Ces dispositions sont plus rigoureuses que la législation européenne : ainsi les valeurs limites de concentration en éléments traces métalliques dans les sols (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc...) sont inférieures de 30% à 60% à celles de la directive européenne du 12 juin 1986. Il en va de même pour les flux décennaux des éléments indésirables susceptibles de s'accumuler dans les sols.

### **a. Valorisation agricole**

La pratique de l'épandage agricole des boues est aujourd'hui la voie de valorisation la plus répandue. Elle existe depuis plus de 30 ans et offre la possibilité de recycler la matière organique contenue dans les boues et nécessaire aux sols.

L'épandage agricole consiste à apporter aux sols les boues issues des stations d'épuration urbaines et industrielles (agroalimentaire essentiellement). Les boues s'intègrent dans les différents phénomènes du cycle de vie des plantes ou des sols :

- l'eau peut être utilisée à des fins d'irrigation,
- les matières organiques sont dégradées par les micro-organismes des sols pour être minéralisées ou transformées en humus stable.

Face aux inquiétudes grandissantes manifestées par les populations et le monde agricole liées à la présence de composés métalliques, toxiques et pathogènes, la réglementation s'est durcie. Ainsi, le décret du 8 décembre 1997 et son arrêté d'application du 8 janvier 1998 fixent de nouvelles prescriptions techniques quant à l'épandage des boues [6].

### **b. Valorisation thermique**

Les nouvelles législations ont conduit à réévaluer la toxicité des boues et en attendant des études plus approfondies, on s'oriente de plus en plus vers les traitements thermiques. En effet, ils répondent au mieux aux critères de réduction de volumes et d'hygiénisation, par minéralisation complète des boues et destruction des germes pathogènes. Il existe différentes techniques pour la valorisation thermique des boues : l'incinération en lit fluidisé, la co-incinération avec les ordures ménagères, l'oxydation hydrothermale, la pyrolyse et la gazéification [6].

Remarque : concernant les technologies de valorisation thermique :

- ***le four à lit fluidisé*** est une enceinte verticale fermée, de forme cylindrique, contenant un lit de sable très chaud (entre 750°C et 800°C) maintenu en suspension par un courant d'air ascendant injecté à sa base au travers d'une grille de répartition. Les déchets sont injectés directement dans le lit lui-même ou introduits dans la partie supérieure du four. Ce genre de four est bien adapté à l'incinération de boues industrielles et urbaines.
- ***le mélange préalable avec les ordures ménagères*** : les boues sont déversées dans la fosse des ordures ménagères, le grappin de reprise et d'injection des ordures ménagères sert à assurer le mélange. Les boues doivent avoir une siccité supérieure à 10 %, de préférence de 15 à 25 %. Les petites stations d'épuration doivent, dans ce cas, s'équiper d'installations de déshydratation ou recourir au service d'une unité mobile de déshydratation. Cette solution n'est viable que pour de faibles quantités de boues. Le mélange avec des quantités importantes de boues pose en effet de nombreux problèmes (diminution du PCI du mélange boues/ordures ménagères, imbrûlés...).
- ***l'injection de boues pâteuses directement dans le four d'incinération*** : dans ce cas, des injecteurs spéciaux introduisent des boues pâteuses (siccité 20 à 40 %) au dessus du foyer d'incinération des ordures ménagères en vue de profiter de l'air comburant en

excès et de la température (plus de 850 °C) pour brûler totalement les boues. Celles-ci ne se rajoutent donc pas à la "charge" de l'incinérateur, et viennent en supplément. En conséquence, un incinérateur d'ordures ménagères saturées peut encore accepter un flux raisonnable de boues : entre 10 et 20 % du tonnage d'ordures ménagères incinérées (la quantité précise dépendra de la siccité et de la teneur en matière organique des boues). Cette solution évite le séchage des boues par des techniques lourdes : une centrifugation suffit. Les seuls investissements importants sont la fosse de réception et les installations de reprise et d'injection sur l'usine d'incinération. Les injecteurs peuvent être installés sur la plupart des incinérateurs existants.

Le coût élevé de l'incinération et la loi du 13 juillet 1992 sur les déchets, qui interdit, à compter de 2002, la mise en décharge des boues (déchets non ultimes), font de l'épandage sur les sols, la solution écologiquement et économiquement la plus intéressante. Il faut cependant disposer de surfaces aptes à l'épandage à proximité des zones de production de boues et que les propriétés de celles-ci soient compatibles avec les caractéristiques physiques et chimiques des sols. Pour une station de 100 000 à 300 000 équivalents habitants, le coût de l'épandage pour des boues liquides pâteuses ou chaulées varie de 275 à 320 €/t de matière sèche alors que celui de la co-incinération de boues pâteuses va de 305 à 396 €/t (Sources : ADEME, CNB 2001).

### III.5. Gisement

Les chiffres et informations qui suivent datent de 1998. Ils sont tirés d'une étude de Laurent Kraeutler (Laboratoire bioprocédés & traitement des déchets, EME Rennes).

Le gisement des boues est en forte croissance. **810 Kt de boues (MS) furent collectées en France en 1997.** En 2005, la quantité de boues devrait atteindre 1250 KT, soit une augmentation de plus de 50 % en 8 ans.

Le gisement des boues en France est très hétérogène comme le montre le tableau 4 ci-dessous:

<i>Bassin</i>	<i>Boues (dont industrielles) 1997</i>	<i>Boues 2005 (kT/an)</i>	<i>Projection 2005</i>
<b>Adour Garonne</b>	69	114	+ 66 %
<b>Artois Picardie</b>	71	114	+ 60 %
<b>Loire Bretagne</b>	160	256	+ 60 %
<b>Rhin Meuse</b>	83	121	+ 46 %
<b>Seine Normandie</b>	190	327	+ 72 %
<b>Rhône Méd. Corse</b>	232	312	+35%
<b>Total</b>	805 kT/an		Moyenne: +54 %

Tableau 4 : Gisement des boues de régions en France

La quantité annuelle de boues produites par habitant oscille entre 10 et 25 kg ; elle a représenté 850 000 tonnes de matière sèche en 1999. L'augmentation de la population et de son taux de raccordement aux réseaux collectifs desservant les stations d'épuration, ainsi que l'efficacité croissante des processus d'épuration induite par l'évolution de la législation sur l'eau, conduiront à un tonnage des boues estimé à 1,3 million de tonnes en 2005.

<b>Incinération avec valorisation énergétique</b>	<b>Incinération sans valorisation énergétique</b>	<b>Compostage</b>	<b>Mise en décharge de classe 2</b>	<b>Fabrication de combustibles</b>	<b>Méthanisation</b>	<b>TOTAL</b>
86 556	2 459	127 864	632 139	0	0	849 008

Tableau 5 : Boues éliminées en 1998 - Données Atlas des déchets en France 2<sup>ème</sup> édition – ADEME (en tonnes)

Le compostage est une voie intéressante de valorisation, à l'exemple des boues de Castelnaudary qui sont compostées avec des déchets de palettes et vendues comme matière fertilisante (après homologation début 2000).

En revanche en France, il existe plusieurs dizaines d'installations de méthanisation des boues dont la quantité traitée s'évalue aujourd'hui à 113 300 t de MS avec des taux de conversion de 40%. Ce qui implique que les chiffres ci-dessus doivent en réalité être reconsidérés avec la filière méthanisation. On parlera alors de répartition par filière de devenir des boues (et non d'élimination) :

- Incinération (total) : 12% ;
- Compostage : 2% ;
- Méthanisation : 14% ;
- Mise en décharge : 21% ;
- Epandage : 51%.

## LES DECHETS INDUSTRIELS

Les déchets industriels sont des déchets inertes, banals ou spéciaux, résultant d'une activité de production artisanale, commerciale, industrielle ou tertiaire, dont l'élimination doit être assumée financièrement par leurs producteurs.

### I. DECHETS INERTES

Les déchets inertes sont issus d'activités telles que la démolition, l'extraction, le terrassement, la construction, les travaux publics, etc. Ce sont des briques, tuiles, pierres, céramiques, sables, déblais et gravats. Ces déchets ne subissent en cas de stockage aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne présentent pas de risque de pollution de l'eau et des sols. Les déchets de démolition tels que le plâtre, le bois, le plastique ne sont pas des déchets inertes.

La production de déchets issue de l'activité industrielle française a été estimée en 1998 à 100 millions de tonnes de déchets inertes [7].

### II. DECHETS INDUSTRIELS BANALS (DIB)

Les DIB sont non dangereux, ils peuvent être assimilés aux ordures ménagères et à ce titre, suivre les mêmes circuits de collecte et de traitement. Les DIB sont en général composés de papiers, cartons, plastiques, bois, métaux verres, matières organiques, végétales ou animales, résultant de l'utilisation d'emballages, de rebuts ou de chutes de fabrication.

Les DIB sont souvent produits en mélange. Leur production annuelle en France est de 22 millions de tonnes (chiffre 1996). La production de DIB selon l'activité et la nature de déchets est reportée sur le tableau 6, ci dessous. Dans cette présentation, seuls les papiers et cartons sont méthanisables comme probablement aussi une fraction des mélanges.

	Verre	Métaux	Plastiques	Caoutchouc	Textiles	Papiers cartons	Bois	Cuir	Mélange	Ensemble
Industries extractives	0	40	2	1		3	1	0	<b>43</b>	89
Agro-alimentaire	41	43	42	1	2	179	108	1	<b>722</b>	1 139
Textile, habillement	3	9	6	0	<b>60</b>	35	5	1	<b>93</b>	212
Cuir, chaussure		1	2	0	4	5	3	<b>15</b>	<b>17</b>	48
Bois	1	5	2	0	0	3	<b>6 567</b>	0	58	6 637
Papiers, cartons, imprimerie	0	18	28	0	0	1 860	195	0	666	2 769
Chimie, raffinage	6	57	38	13	1	76	63	0	<b>292</b>	545
Caoutchouc, plastiques	1	24	<b>182</b>	<b>66</b>		27	37		167	504
Minéraux non métalliques	121	28	5	0	0	45	40		<b>164</b>	403
Métallurgie	1	<b>1 016</b>	12	0	0	71	89	0	<b>968</b>	2 157
Fabrication de machine	0	<b>332</b>	3	0		34	27	0	126	523
Electricité, électronique	12	116	83	0	0	54	20	1	<b>154</b>	439
Matériel de transport	3	<b>721</b>	10	3	3	53	48	0	167	1 009

Autres industries	0	61	7	0	1	15	<b>345</b>	0	168	598
Construction	13	373	14	13		205	368	2	371	1 360
Commerce de gros	82	70	23	3	0	150	227	0	<b>555</b>	1 110
Commerce de détail	10	44	43	11		609	617		<b>853</b>	2 187
<b>Ensemble</b>	<b>297</b>	<b>2 957</b>	<b>504</b>	<b>112</b>	<b>71</b>	<b>3 423</b>	<b>8 760</b>	<b>21</b>	<b>5 584</b>	<b>21 729</b>

Tableau 6 : Production annuelle de DIB selon l'activité et la nature de déchets (milliers de tonnes)

Les DIB sont essentiellement composés de bois (40 % des tonnages), de papiers et cartons (16 % des tonnages) et de métaux (14 % des tonnages). Les DIB en mélange, avec 5,5 millions de tonnes par an, représentent 25 % des tonnages. En écartant les déchets totalement recyclés par certaines activités (le bois généré par l'industrie du bois, les papiers-cartons par l'industrie papetière et les métaux par la métallurgie), la production globale de DIB chute à 12,3 millions de tonnes. Les déchets en mélange représentent alors 45 % de la production.

Les DIB ont différentes finalités. Ils peuvent être détruits sans valorisation, subir une valorisation matière ou énergétique, ou mis en décharge. La nature et la destination des DIB sont reportées dans le tableau 7, ci dessous.

	Destruction sans valeur	Valorisation énergétique	Valorisation matière	Décharge	Non renseigné	Ensemble
Verre	0	0	247	48	1	297
Métaux	1	0	2 864	28	64	2 957
Plastiques	82	4	341	66	12	504
Caoutchouc	0	6	36	68	2	112
Textiles	2	3	49	15	3	71
Papiers, cartons	129	22	3 111	132	31	3 423
Bois	486	1 598	5 927	540	209	8 760
Cuir	5	1	6	8	1	21
Mélange	183	274	1 778	3 187	163	5 584
<b>Ensemble</b>	<b>887</b>	<b>1 907</b>	<b>14 359</b>	<b>4 092</b>	<b>484</b>	<b>21 729</b>

Tableau 7 : Production annuelle de DIB (nature et destination)

Les déchets en mélange représentent 78 % des apports en décharge.

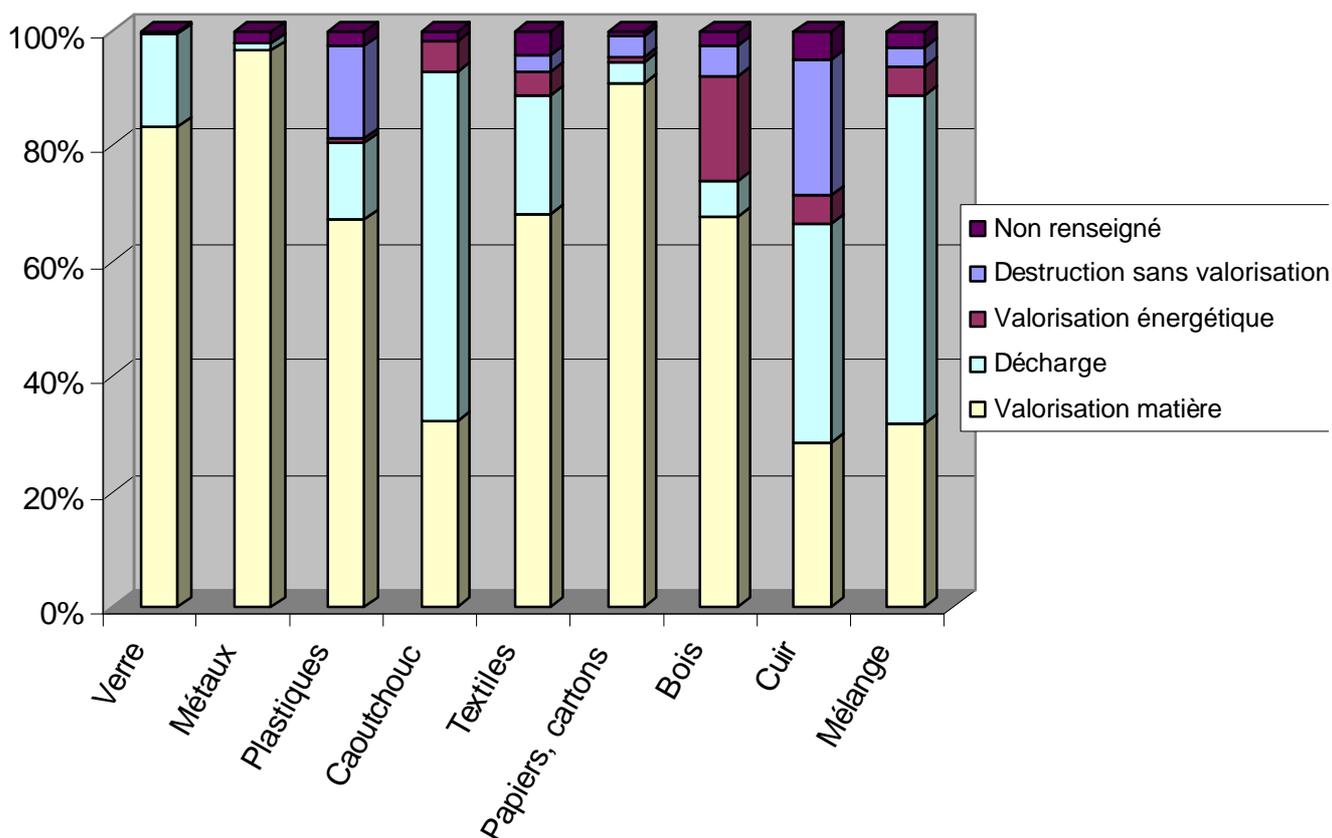
Compris dans la destination "destruction sans valorisation", la combustion représente environ 470 000 t/an de DIB, soit 2,2 % de la production totale et 53 % de cette destination. Les matériaux concernés par la combustion sont le bois (80 %) et les papiers cartons (15 %). Les activités pratiquant cette élimination sont surtout les industries du bois (58 %) et la construction (17 %).

La valorisation matière comprend le réemploi et le recyclage, y compris les centres de tri. Le tri lui-même concerne 2 475 000 t/an, soit 9 % des tonnages de DIB [8].

<b>Industries Agro-alimentaire</b>	<b>1139</b>
<b>Industrie du Bois (non pollués)</b>	<b>6637</b>
<b>Papiers, cartons, imprimerie</b>	<b>2769</b>
<b>Métallurgie</b>	<b>2157</b>
<b>Matériel de transport</b>	<b>1009</b>
<b>Construction</b>	<b>1360</b>
<b>Commerce de gros</b>	<b>1110</b>
<b>Commerce de détail</b>	<b>2187</b>
<b>Autres industries</b>	<b>3361</b>
<b>Ensemble (milliers de tonnes)</b>	<b>21729</b>

Tableau 8 : Production annuelle de DIB selon l'activité et la nature de déchets, tout type de DIB confondu (milliers de tonnes)

Le graphique ci-dessous reprend les données du tableau 7 et montre que la valorisation matière est la filière principale de traitement des DIB.



Répartition des DIB en fonction de leur devenir

### **III. DECHETS INDUSTRIELS SPECIAUX**

Les déchets industriels spéciaux (DIS) sont les déchets qui, par leurs caractéristiques physico-chimiques, font courir un risque (risque physique, risque lié à des réactions dangereuses, risque biologique, risque pour l'environnement) et nécessitent un traitement spécifique dans des installations adaptées. Ils ne doivent pas être traités dans une filière commune à celle des ordures ménagères. Ils font l'objet d'un contrôle administratif renforcé en matière de stockage, transport, pré-traitement et élimination. Ils se composent de déchets :

- contenant des substances telles que l'amiante, l'arsenic, le plomb, etc. ;
- constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures, de produits de vidange ;
- provenant de l'industrie pétrolière, chimique, pharmaceutique et phyto-pharmaceutique ;
- provenant des ateliers de traitement de surfaces ;

#### **III.1. Gisement**

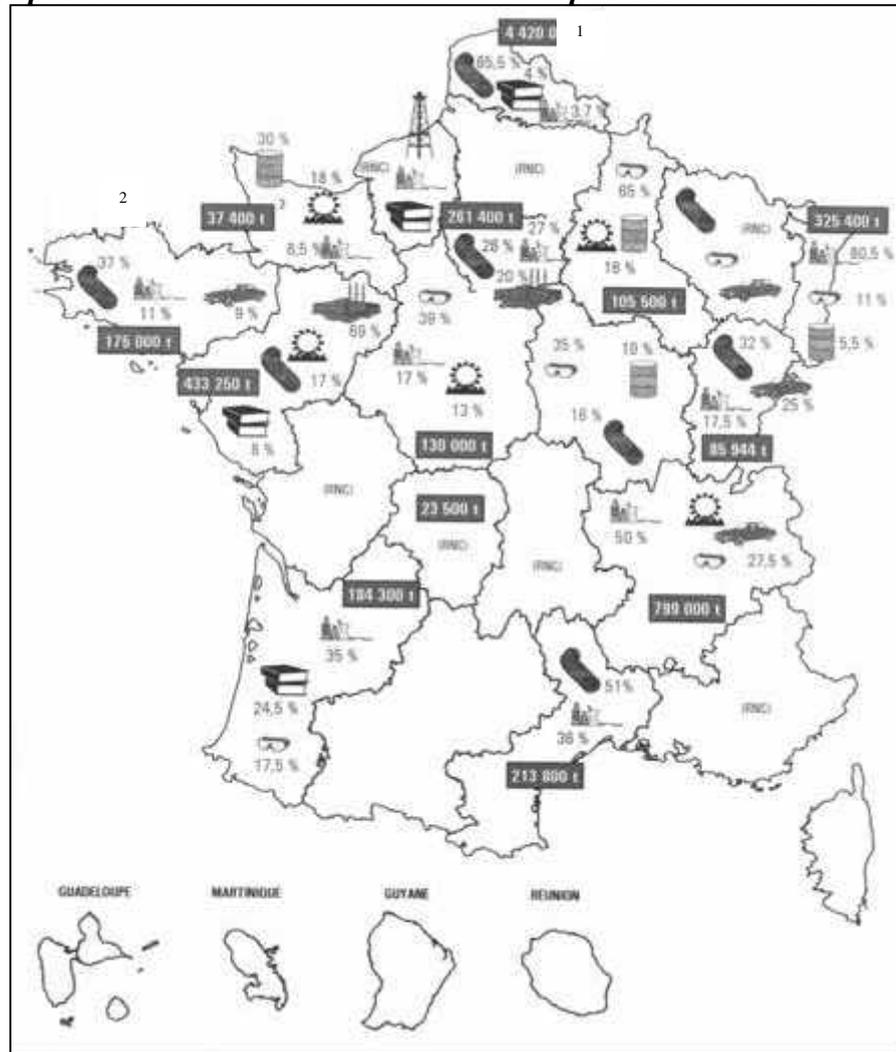
La nature et le volume des déchets chimiques sont des données relativement confidentielles et elles ne sont pas divulguées dans le détail.

Un inventaire des déchets ménagers et assimilés produits par l'industrie chimique n'a été publié que pour l'année 1998. Il était de 384 000 tonnes.

Les DIS sont environ de 9,3 Millions Tonnes dont 5% seulement sont mis en décharge (M. Monzain UIC-communication personnelle).

Un bilan, réalisé par l'ADEME à la demande du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, présente une analyse des 20 plans régionaux d'élimination des déchets adoptés au 3 février 1998 [9]. Issue de ce bilan, ci-dessous une carte de France qui représente le gisement et la répartition des déchets industriels par secteurs d'activité.

**Gisement et répartition des déchets de l'industrie par secteurs d'activité :**



**Légende**

	Centrale Thermique
	Automobile/Caoutchouc
	Chimie/Parapharmacie
	Fooderie/Travail des métaux
	Mécanique
	Métallurgie (sables de fonderie inclus)
	Peopeterie/Imprimerie/Textile
	Traitement de surface
	Raffinage

1 Il s'agit ici de la production de déchets des entreprises soumises à déclaration trimestrielle. Parmi ces déchets, les laitiers, les sidérurgiques et les scories sont à distinguer du fait de la masse importante qu'ils représentent : 2 911 600 t.

Pour obtenir les quantités de déchets de l'industrie productive dans le Nord-Pas-de-Calais, il convient de rajouter 235 100 t de déchets de production non déclarés et 164 700 t de cendres de centrales thermiques à charbon et autres cendres de charbon, ce qui représente au total, 4 819 800 t de déchets de l'industrie.

2 Il s'agit ici de la production de déchets des entreprises soumises à déclaration trimestrielle (données Arthuit\*).

\* définition cf. glossaire

Ci-dessous un tableau issu des mêmes données de l'ADEME en 1998 qui reprend par type de déchet et par code (voir ancienne classification des DIS française en ANNEXE A) le tonnage annuel en 1993 et en 1998.

Ces chiffres montrent également que les déchets organiques de synthèse sont comptabilisés dans le gisement global des DIS.

Type de déchets	Code Déchets	Tonnage annuel en 93	%	Tonnage annuel en 98	%
Déchets de fusion, cuisson, incinération	C 200	1500000	25,3	1722000	24,6
Déchets de traitement de dépollution et de préparation d'eau	C 280	1400000	23,6	1638000	23,4
Matériaux et matériels souillés	C 300	450000	7,6	532000	7,6
Déchets minéraux solides de traitement chimiques	C 260	310000	5,2	371000	5,3
Déchets de synthèse et d'autres opérations de chimie organique	C 220	305000	5,1	364000	5,2
Déchets liquides huileux	C140 C150	290000	4,9	350000	5
Solvants et déchets contenant des solvants	C 120	210000	3,5	245000	3,5
Déchets minéraux solides de traitements mécaniques et thermiques	C 180	150000	2,5	175000	2,5
Déchets de peinture, vernis, colle, mastic, encre, ...	C 160	115000	1,9	133000	1,9
Rebus d'utilisation, loupés, pertes (hors inerte)	C 320	100000	1,7	119000	1,7
Boues d'apprêt et de travail des matériaux (métaux, verre, ...)	C 170	90000	1,5	110500	1,5
Déchets issus de l'incinération ou du traitement par voie physico chimique des déchets	C 290	70000	1,2	84000	1,2
Déchets minéraux contenant des métaux en solution	C 100	50000	1,2	56000	0,8
Non précisé	Non précisé	890000	15,0	1113000	15,9
<b>TOTAL GLOBAL</b>	<b>Total global</b>	<b>5 930 000</b>	<b>100%</b>	<b>7012500</b>	<b>100%</b>

Tableau 9 : Tonnage annuel de 1993 et 1998 par type de déchet et par code

### III.2. Devenir des DIS

Filières	Quantités (tonnes)	
	1997	1998
Produits chimiques de laboratoires	1650	1590
Déchets spéciaux en petits conditionnements	9070	14665
<b>Total tri, reconditionnement, prétraitement des DTQD</b>	<b>10720</b>	<b>16255</b>
Régénération des huiles usagées noires	78585	88120
Régénération des huiles usagées claires	11185	11990
Régénération des solvants	90830	58290
Incorporation au cru, en cimenterie	23965	36430
Boues d'hydroxydes de nickel-cadmium	330	465
Déchets mercuriels	210	160
Régénération des sables de fonderie	3690	11560
<b>Total valorisation matière</b>	<b>208795</b>	<b>207015</b>
Traitements physico-chimiques	300790	301625
En centre spécialisé	560120	618180
En usine d'incinération des ordures ménagères	15995	8975
En cimenterie	481115	542290
En centre d'évapo-incinération	168200	191825
Sous-total incinération	1225430	1361270
Traitements divers	1330	0
<b>Total traitement</b>	<b>2752280</b>	<b>3 024165</b>
REFIOM*	267907	260354
Autres DIS	72133	156056
<b>Total stabilisation</b>	<b>340040</b>	<b>416410</b>
En centre de stockage de déchets ultimes et stabilisés	707350	803140
En mines de sel (exportation en Allemagne)	1445	835
<b>Total stockage</b>	<b>708795</b>	<b>803975</b>

Tableau 10 : Filières de traitement des DID (en tonnes) (source ADEME)

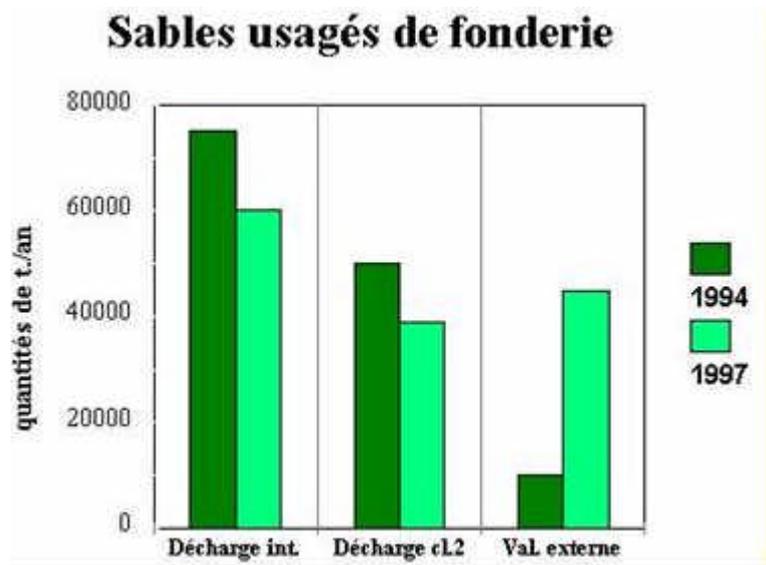
\* définition cf. glossaire

Remarque 1 : Sables de fonderie

La valeur exprimée dans ce tableau ne représente que la part sortante de la régénération, elle n'exprime pas la part du traitement « interne » des sables de fonderie par les producteurs.

En effet, elle est évaluée rien qu'en Champagne Ardenne à environ 150 000 tonnes, en 1997. Néanmoins, la production de sables usagés de fonderie tend à diminuer. Plusieurs facteurs expliquent ce phénomène :

- ◆ diminution de l'activité et disparition de plusieurs établissements,
- ◆ meilleure gestion des circuits "sables" dans les entreprises,
- ◆ accroissement du taux de recyclage des sables,
- ◆ coût d'élimination en augmentation,
- ◆ contraintes d'exploitation des crassiers, au titre de la protection de l'environnement, de plus en plus sévères.



Remarque 2 : Co-incinération avec ordures ménagères

Le chiffre de 15995 t en 1997 de DIS co-incinérées avec des ordures ménagères est éronné. Il s'agit sûrement de DIB assimilés aux ordures ménagères.

En effet, conformément à l'Article 35 de l'arrêté du 10 octobre 1996 relatif aux installations spécialisées d'incinération et aux installations de co-incinération de certains déchets industriels spéciaux :

« La co-incinération de déchets industriels spéciaux dans une installation d'incinération de déchets ménagers et assimilés est interdite. »

## **IV. CAS PARTICULIER : DECHETS ISSUS DES EFFLUENTS DE PAPETERIE**

### **IV.1. La production de déchets**

La fabrication de papiers, carton et cellulose est réalisée en France par 142 usines. Cette production génère au niveau national 1,65 Millions de tonnes de déchets en matière brute (MB) qui se décompose comme suit :

- Boues des stations d'épurations primaires et biologiques 720 000 t de MB/an (Siccité respectivement de 40 à 60 % et de 20 à 55 %),
- Déchets de recyclages 930 000 t de MB/an qui se décompose en :
  - Refus de recyclage 305 000 t de MB/an (Siccité 25 à 85%)
  - Boues de désencrage 625 000 t de MB/an (Siccité 50 à 60%).

A ces quantités de déchets et sous produits des usines papetières, il faut ajouter aussi les :

- Ecorces (plus de 331 000 t de MB/an) avec une siccité de 45 à 55%,
- Sciures (plus de 23 000 t de MB/ an) avec une siccité de 45 à 55%,
- Déchets de parcs à bois (plus de 21000 t de MB /an) avec une siccité de 45 à 55%.

La valorisation énergétique par incinération des écorces et des boues génère 125 000 t/an de cendres.

La composition des boues de station d'épuration (boues mixtes c'est à dire le mélange des boues primaires et secondaires) est grosso modo à 50% organiques et 50 % minérales, et les boues de désencrage sont 75% minérales et 25 % organiques (*Frédéric Guillet CTP Grenoble communication personnelle*).

### **IV.2. Devenir des boues de papèteries**

La valorisation agricole absorbe 42% des déchets papetiers. Cela représente 62 % des boues et 34 % des cendres. La valorisation énergétique en chaudière en absorbe 22 % (écorces, boues de désencrage et de stations d'épuration).

Les centres d'enfouissement techniques de classe 2 en reçoivent 18 % (soit 490 000 t/an), 5% vont dans des centres de stockage dédiés ou des décharges internes, 4% vont en cimenterie, 2% vont en briqueterie et 7% dans d'autres sites comme valorisation en litière animale, vente d'écorces...

Le coût de l'épandage est de 8 à 23 €/t de MB.

#### **IV. DECHETS DE L'AGRICULTURE ET AGRO-ALIMENTAIRE**

Les déchets de l'agriculture et des industries agro-alimentaires représentent 410 millions de tonnes de « déchets » organiques par an. D'une façon générale, ils sont facilement valorisés. (Épandage, valorisation énergétique, alimentation animale, voire humaine, industrie cosmétique, pharmaceutique...)

En France, les effluents d'élevages sont estimés à 250-280 millions de tonnes produits par les bovins, (87%) porcins, volailles de chair et poules pondeuses. La quantité de paille d'orges et de blé s'élève à plus de 22 millions de tonnes qui se répartissent en 14,5 millions de tonnes récupérées et 7,5 millions de tonnes enfouies en terre ou brûlées. Pour les industries agro-alimentaires c'est donc environ 45 millions de tonnes qui sont produits (chiffres 1998).

Le tableau 11, ci dessous représente les volumes de déchets de l'agriculture et des industries agro-alimentaires [10].

<b>Filières</b>	<b>Quantités totales de déchets et sous-produits</b>	<b>Quantités valorisées</b>	<b>Remarques</b>
<b>Agriculture et sylviculture</b>			
Exploitation agricole	Cannes et pailles : 38 Mt Sarments : 0,56 Mt Feuilles et collets de betteraves : 16 Mt		Laissés sur place
Bois	Exploitation forestière : 35 Mt Industries de bois : 7 Mt	10 % Majeure partie	Avec un ratio de déchets de 50 % pour l'exploitation Valorisation à 80 %
Elevage	Fumiers et lisiers : 280 Mt		
<b>Industries agro-alimentaires</b>			
Viande : abattage – découpe, 5 <sup>ème</sup> quartier, équarrissage	Total de 3,6 Mt, dont : Graisses : 1,4 Mt Os : 430 kt Déchets de découpe : env. 500 kt Sang : 200 kt / 215 kt Cuirs et peaux : 75 / 80 kt Poils, cornes : 160 / 180 Plumes : 130 / 150 kt	400 kt Quasi-totalité 300 kt Env. 150kt Majeure partie	
Tannerie – Mégisserie	Total de 120 kt, réparties entre : Pertes de cuirs et peaux : 80 kt Déchets de tannerie : 27,1 kt Déchets de mégisserie : 7,7 kt	Quasi-totalité Majeure partie	
Charcuterie – Salaisonnerie	Saindoux : 75 kt Os (désossage découpe) : 32/80 kt	Majeure partie Quasi-totalité	
Accoupage et ovoproduits	Fumiers et lisiers : 4,3 Mt		
Produits aquatiques	Algues épaves : 70 kt Déchets de transformation : 310 kt (à 2 % de MS)		
Poissons	50 à 75 kt de « faux poissons » conserverie : 210 kt industrie des farines : 40 à 50 kt	160 kt	Quasi-totalité des « faux poissons » rejetée en mer

Mollusques et crustacés	Refus de distribution et de production : plusieurs kt		
Laiteries – fromageries	Lactosérum : 9 Mt Babeurre : 507 kt (à 7 % de MS)	8,48 Mt	Recyclé à 70 %
Stockage de céréales Meunerie	Déchets collecte et stockage : 304 kt Déchets de meunerie : 1,56 Mt	Quasi-totalité	Font l'objet d'une cotisation
Sucrierie – Distillerie de betterave	Total de 5,75 Mt dont : Mélasses : 1,16 Mt, pulpes : 1,53 Mt Ecumes : 1,386 Mt Vinasses concentrées : 465 kt	La totalité La totalité 444 kt	
Transformation industrielle des oléoprotéagineux	Total de 2,18 Mt dont : tourteaux de colza, tournesol, soja, lin : 1,4 Mt Coques de tournesol : 500 kt	La totalité 50 à 100 kt	
Fruits et légumes	Total de 2,56 Mt dont : 1,42 Mt de déchets de récolte 720 kt issues de la transformation 425 kt retirées de commercialisation	174 kt	
Brasseries	Drêches : 370 kt et levures : 30 kt		
Viticulture et distillation vinicole	Total de 2,5 Mt de marcs alcoolisés et épuisés	Quasi-totalité	

Tableau 11 : Les déchets de l'agriculture et des Industries agro-alimentaires - Source ADEME (99)

## CONCLUSION

Il résulte de l'analyse des données disponibles concernant le gisement des déchets en France, une difficulté de classement de l'information, qui s'explique essentiellement par une définition imprécise du champ de prise en compte des déchets et d'une nomenclature ambiguë. Ceci conduit à une forte hétérogénéité des déchets pris en compte dans une même rubrique.

«Ce constat conduit à l'impossibilité de produire une vraie synthèse nationale en termes de production de déchets et de disponibilité des capacités de traitement » selon le Bilan des plans régionaux d'élimination des déchets – Document ADEME & Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement 1998.

Néanmoins concernant les déchets municipaux, aujourd'hui la production moyenne par habitant est de 450 kg de déchets ménagers par an, soit 1,2 kg par jour. En 25 ans, la quantité de déchets ménagers reçus par les installations collectives de traitement a triplé. Cette augmentation s'accompagne, ces dernières années, d'une diversification des modes de traitement avec en particulier l'éclosion du tri de matériaux recyclables issus des ordures ménagères.

Concernant les boues d'épuration urbaines, la quantité annuelle de boues produites par habitant oscille entre 10 et 25 kg ; elle a représenté 850 000 tonnes de matière sèche en 1999. L'augmentation de la population et de son taux de raccordement aux réseaux collectifs desservant les stations d'épuration, comme l'efficacité croissante des processus d'épuration induite par l'évolution de la législation sur l'eau, conduiront à un tonnage des boues estimé à 1,3 millions de tonnes en 2005.

## GLOSSAIRE

### A

**Arthuit** : procédure, entrée en fonction en 1985, qui repose sur une saisie informatique en DRIR ou dans les centres d'élimination, des déclarations trimestrielles des entreprises productrices sélectionnées par les DRIR (et figurant sur un arrêté préfectoral), des transporteurs et des éliminateurs agréés et contrôlés.

### D

**DBO<sub>5</sub> (Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours)** : quantité d'oxygène consommée par l'effluent en cinq jours, dans des conditions définies par l'oxydation biologique des matières organiques et/ou inorganiques contenues dans l'eau. La DBO<sub>5</sub> est représentative de la pollution organique carbonée biodégradable.

**DCO (Demande Chimique en Oxygène)** : quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation, par voie chimique, des matières organiques et matières minérales oxydables.

### E

**Equivalent habitant** : un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est censé utiliser 200 à 300 litres d'eau par jour et, par voie de conséquence, produire le même niveau de pollution à travers les eaux ménagères (détergents, graisses ...) et les eaux vannes (matières organiques et azotées, germes et matières fécales...). La quantité de pollution journalière d'un individu est estimée à 57 g de matières oxydables, 90 g de matières en suspension, 15 g de matières azotées et 4 g de matières phosphorées. Enfin, la concentration en germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml.

La directive européenne du 21 mai 1991 "eaux résiduaires urbaines" donne la définition suivante pour l'équivalent habitant : c'est "la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO<sub>5</sub>) de 60 grammes d'oxygène par jour."

### M

**MS (Matières Sèches)** : matières organiques ou minérales exemptes d'eau.

### N

**NTK (Azote Total Kjeldhal)** : il représente l'ensemble des formes réduites de l'azote (azote organique et azote ammoniacal).

### P

**PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)** : le PCI s'exprime en kJ/kg de déchets. C'est la quantité d'énergie que va dégager la combustion d'un kilo de déchets, en considérant toute l'eau évaporée.

Le PCI se définit en supposant que toute l'eau provenant du combustible, ou formée en cours de combustion, reste, au stade final, à l'état de vapeur dans les produits de combustion. Il ne comprend donc pas la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les produits de combustion.

**R**

**REFIOM** : Résidu de fumée d'incinération d'ordures ménagères

**S**

**Siccité** : elle définit le pourcentage de matières sèches (MS) contenu dans une boue.

## BIBLIOGRAPHIE

1. ADEME, *Données et références : Déchets municipaux : Les chiffres clés*. Avril 2000.
2. *Des boues sans nuisances*. Point sciences et Techniques, vol.5, N°1, Décembre 1994. 5(1).
3. Merillot J.M., *Déchets*, in *Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agro-alimentaires*, R. Moletta coordonnateur, ISBN : 2-7430-0461-4. 2002.
4. OTV, *Traiter et valoriser les boues*. Collection OTV. Vol. 2. 1997, Paris: Lavoisier. 457.
5. Guibelin Eric, *Elimination finale des boues d'épuration*. Les Techniques de l'Ingénieur, 2000. **G 1 451**: p. 1-10.
6. APESA. *Les boues Quels enjeux? Quelles solutions?* in *Qu'est ce qu'une boue?* 2000. Centre des Congrès de Pau.
7. *Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés*. 1999.
8. ADEME, *Données et références : Déchets industriels banals : quel tonnage?* - ISBN 2-86817-277-6. 1998.
9. ADEME, *Données et Références : Bilan des plans régionaux d'élimination des déchets* - ISBN 2-86817-343-8. 1998.
10. Whtwham M., *La biomasse d'origine agricole*. Les cahiers du CLIP, Septembre 1999(N°10): p. 5-28.

## ANNEXE : CLASSIFICATION DES DIS

<b>Regroupement de repérage 1 (C 10)</b> <b>Déchets minéraux contenant des métaux en solution</b>		il s'agit de bains de traitements de surface de métaux ou de plastiques, en général corrosifs et toxiques. Ils sont éliminés dans des filières physico-chimiques.
C 1010	Liquides, bains et boues acides non chromiques	
C 1020	Liquides, bains et boues acides non chromiques scalins, non chromiques, non cyanurés	
C 1030	Liquides, bains et boues cadmiés cyanurés	
C 1040	Liquides, bains et boues cadmiés non cyanurés	
C 1050	Liquides, bains et boues chromiques acides	
C 1060	Liquides, bains et boues chromiques non acides	
C 1070	Liquides, bains et boues acides cyanurés	
C 1080	Autres liquides, bains et boues contenant des métaux dangereux non précipités	
<b>Regroupement de repérage 2 (C 12)</b> <b>Solvants et déchets contenant des solvants</b>		ce sont des déchets, liquides ou boueux, qui proviennent de la chimie, de l'imprimerie, du nettoyage de pièces. Ils sont inflammables et plus ou moins toxiques. Ils sont incinérables avec récupération éventuelle de l'énergie. Certains de ces déchets peuvent être traités en vue de la régénération des solvants contenus.
C 1210	Solvants halogénés	
C 1220	Solvants non halogénés	
C 1230	Déchets aqueux souillés de solvants et halogénés	
C 1240	Déchets aqueux souillés de solvants et non halogénés	
C 1250	Culots non aqueux halogénés de régénération de solvants	
C 1260	Culots non aqueux non halogénés de régénération de solvants	
<b>Regroupement de repérage 3 (C 14 et C 15)</b> <b>Déchets liquides huileux</b>		cette catégorie regroupe tous les déchets d'hydrocarbures (huiles, graisses, émulsions, fluides de coupe). Ils sont couramment incinérables, éventuellement avec récupération d'énergie. Certaines huiles peuvent être régénérées.
C 1410	Fluides d'usinage aqueux (huiles solubles, eau de savon, etc.) : émissions huileuses	
C 1420	Fluides d'usinage aqueux (huiles solubles, ...) : solutions vraies	
C 1430	Huiles entières d'usinage et de trempe	
C 1440	Huiles de transmission hydraulique (sauf C1510)	
C 1450	Huiles isolantes chlorées (sauf C1510)	
C 1460	Huiles isolantes non chlorées	
C 1470	Huiles moteurs et de mécanismes	
C 1480	Huiles minérales entières mélangées	
C 1490	Eaux souillées de machines à laver les pièces usinées	
C 1510	Mélange liquide eau / hydrocarbures	
C 1520	Huiles contenant des diphényles polychlorés (PCB) ou des terphényles polychlorés (PCT)	
<b>Regroupement de repérage 4 (C 16)</b> <b>Déchets de peinture, vernis, colle, peinture, mastic, encre ...</b>		plus ou moins liquides, ils proviennent de l'imprimerie, de la chimie, des fabrications ou de la mise en oeuvre de peintures. Ils sont composés de substances organiques avec éventuellement des pigments organiques ou minéraux, et sont incinérables.
C 1610	Boues de peinture, vernis, colle avec phase aqueuse	
C 1611	Bains de décapage acide ou alcalin	
C 1620	Boues de peinture, vernis, colle avec phase organique	
C 1621	Solvants halogénés souillés de peinture	
C 1622	Solvants non halogénés souillés de peinture	
C 1623	Boues de solvants de peinture régénérées par entraînement à la vapeur	
C 1624	Boues issues d'autres procédés de régénération de solvants de peinture	
C 1630	Déchets de peinture, vernis, colle sans phase liquide	
C 1631	Déchets de peinture et de solvants	
C 1632	Déchets de peinture sèche (solvant évaporé)	
C 1633	Peinture non solvantée en poudre	
C 1640	Déchets d'encre ou de colorants avec phase organique	
C 1650	Déchets d'encre ou de colorants sans phase organique	
<b>Regroupement de repérage 5 (C 17)</b> <b>Boues d'apprêt et de travail des matériaux (métaux, verre, ...)</b>		ces déchets sont composés de copeaux et chutes d'usinage plus ou moins souillés par des lubrifiants. Généralement multiphasiques, ils doivent être prétraités avant élimination ou valorisation
C 1710	Boues d'usinage avec hydrocarbures	
C 1720	Boues d'usinage sans hydrocarbures	
C 1730	Graisses, corps gras, lubrifiants ou filmants d'origine minérale (sauf C 1470 et C 1480)	
C 1740	Graisses, corps gras, lubrifiants ou filmants d'origine végétale ou animale	
<b>Regroupement de repérage 6 (C 18)</b> <b>Déchets minéraux solides de traitements mécaniques et thermiques</b>		Cette catégorie disparate regroupe des déchets solides généralement toxiques ou dangereux. Selon le cas, ils doivent être stabilisés avant mise en décharge, incinérés, ou traités en filière physico-chimique.

## ANNEXE A (SUITE)

<b>Regroupement de repérage 8 (C 22)</b> <b>Déchets de synthèse et d'autres opérations de chimie organique</b>		ce sont des déchets variés, de nature disparate, souvent multiphasiques de par leur origine. Ils doivent généralement être prétraités avant élimination.
C 2210	Eaux mères de fabrication salines	
C 2220	Eaux mères de fabrication non salines	
C 2230	Résidus liquides de distillation de fabrication	
C 2240	Brais, goudrons, bitumes (sauf C 2870)	
C 2250	Loupés et rebus de fabrication issus de synthèse organique (sauf C 2210 à C 2240)	
C 2260	Eaux de lavage de matériel d'industrie chimique ou parachimique	
<b>Regroupement de repérage 9 (C 24)</b> <b>Déchets minéraux liquides et boueux de traitements chimiques</b>		
<b>Regroupement de repérage 10 (C 26)</b> <b>Déchets minéraux solides de traitements chimiques</b>		
<b>Regroupement de repérage 11 (C 28)</b> <b>Déchets de traitement de dépollution et de préparation d'eau</b>		
C 2810	Boues d'hydroxydes métalliques ayant subi un traitement de déshydratation	
C 2820	Boues d'hydroxydes métalliques n'ayant pas subi un traitement de déshydratation	
C 2830	Boues de station d'épuration biologique	
C 2831	Boues de station d'épuration biologique non déshydratées	
C 2832	Boues de station d'épuration biologique déshydratées en vue de la décharge	
C 2840	Résidus de décantation, filtration, centrifugation (sauf C 1510, C 2450, C 2810, C 2820, C 3020, C 3030)	
C 2850	Résines échangeuses d'ions saturées ou usagées	
C 2860	Eluats et boues de régénération de résines échangeuses d'ions non classables de C 1010 à C 1080)	
C 2870	Goudrons sulfuriques	
C 2880	Boues de lavage des gaz	
C 2890	Boues de décarbonatation	
<b>Regroupement de repérage 12 (C 29)</b> <b>Déchets ultimes / Déchets issus de l'incinération ou du traitement par voie physico-chimique des déchets</b>		il s'agit d'une catégorie disparate comprenant des boues de diverses natures. Ces déchets, selon leur nature, peuvent subir pratiquement tous les traitements possibles d'élimination ou de valorisation.
C 2910	Résidus du traitement des déchets par incinération	
C 2911	Mâchefers (sans cendre)	
C 2912	Poussières, cendres de foyer, cendres volantes	
C 2913	Résidus de la neutralisation par voie sèche, semi-sèche ou smei-humide	
C 2914	Résidus de la neutralisation par voie humide : gâteaux de filtre-pressé	
C 2915	Boues de traitement des eaux des unités d'incinération	
C 2920	Boues issues du traitement des déchets par des procédés physico-chimiques (ex : boues d'hydroxydes métalliques)	
C 2921	Boues solidifiées	
C 2922	Boues de traitement des déchets par voie physico-chimique	
<b>Regroupement de repérage 13 (C 30)</b> <b>Matériaux, matériels et eaux souillés</b>		très divers, ils doivent en général être préparés (broyage, séparation), avant incinération ou mise en décharge
C 3010	Boues de forage	
C 3020	Absorbants, adsorbants, matériaux souillés notamment de produits organiques (sauf C 2850, C 3060)	
C 3021	Terres, agents de filtration	
C 3030	Absorbants, adsorbants, matériaux souillés uniquement de produits inorganiques (sauf C 2850)	
C 3031	Terres, agents de filtration de produits inorganiques	
C 3040	Matériels souillés (sauf C 3060)	
C 3050	Emballages souillés de constituants dangereux	
C 3051	Emballages souples	
C 3052	Emballages rigides	
C 3060	Matériels et matériaux souillés de PCB ou PCT	
C 3070	Eaux de lavage souillées de matériel industriel	
C 3080	Eaux de lavage souillées de matériel de transport (bonbonnes, containers, ...)	
<b>Regroupement de repérage 14 (C 32)</b> <b>Rebuts d'utilisation, loupés, pertes (hors inertes)</b>		comme pour le cas précédent, cette catégorie regroupe des déchets disparates. Ils doivent en général être prétraités avant incinération ou mise en décharge.
C 3210	Loupés et chutes de fabrication non inertes non pris en compte ailleurs	
C 3220	Piles, batteries et accumulateurs usagés	

**Mots-clés :**

pyrolyse, gazéification, oxydation hydrothermale, boues, biomasse, déchets organiques de synthèse.

**Keywords:**

pyrolysis, gasification, hydrothermal oxidation, sludge, biomass, organic waste of synthesis.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>PYROLYSE</b> .....	<b>2</b>
<b>I. Généralités</b> .....	<b>2</b>
<b>II. Spécialistes du domaine</b> .....	<b>7</b>
<b>II.1. Traidec</b> .....	<b>10</b>
Le procédé.....	10
Capacité de traitement.....	12
Types de déchets traités .....	12
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	13
Valorisation.....	14
Aspect économique.....	14
Unités en fonctionnement .....	14
<b>II.2. Pyrovac</b> .....	<b>15</b>
Le procédé.....	15
Capacité de traitement.....	16
Types de déchets traités .....	16
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	16
Valorisation.....	16
Aspect économique.....	16
Unités en fonctionnement .....	16
<b>II.3. Eisenman</b> .....	<b>17</b>
Le procédé.....	17
Capacité de traitement.....	18
Types de déchets traités .....	18
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	18
Valorisation.....	18
Aspect économique.....	19
Unités en fonctionnement .....	19

<b>II.4. Thide.....</b>	<b>20</b>
Le procédé.....	20
Capacité de traitement.....	21
Types de déchets traités .....	21
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	22
Valorisation.....	22
Aspect réglementaire .....	22
Aspect économique.....	23
HITACHI (brevet THIDE - IFP) .....	23
<b>II.5. Nesa.....</b>	<b>25</b>
Le procédé.....	25
Capacité de traitement.....	25
Types de déchets traités .....	25
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	26
Valorisation.....	26
Aspect économique.....	26
Aspect réglementaire .....	26
Unités en fonctionnement .....	26
<b>II.6. Autres .....</b>	<b>27</b>
<b>III. Conclusion .....</b>	<b>28</b>
<b><i>PYROLYSE - GAZEIFICATION.....</i></b>	<b>30</b>
<b>I. Généralités.....</b>	<b>30</b>
<b>II. Spécialistes du domaine .....</b>	<b>32</b>
<b>II.1. Thermoselect.....</b>	<b>33</b>
Le procédé.....	33
Capacité de traitement.....	35
Types de déchets traités .....	35
Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets.....	36
Valorisation.....	36
Aspect économique.....	37

Unités en fonctionnement .....	37
<b>II.2. Kemestrie inc. ....</b>	<b>38</b>
Le procédé.....	38
Capacité de traitement.....	38
Types de déchets traités .....	39
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	39
Valorisation.....	39
Aspect économique.....	39
Unités en fonctionnement .....	39
<b>II.3. Autres .....</b>	<b>40</b>
<b>III. Conclusion .....</b>	<b>43</b>
<b><i>L'OXYDATION HYDROTHERMALE.....</i></b>	<b>44</b>
<b>I. Generalites.....</b>	<b>44</b>
<b>II. Spécialistes du domaine .....</b>	<b>48</b>
<b>III. OXYDATION HYDROTHERMALE DIPHASIQUE.....</b>	<b>51</b>
<b>III.1. Procédé Zimpro – Vivendi Environnement .....</b>	<b>51</b>
Le procédé.....	51
Capacité de traitement.....	51
Types de déchets traités .....	51
Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets.....	52
Unités en fonctionnement .....	52
<b>III.2. Procédé Athos – OTV – Vivendi Environnement.....</b>	<b>53</b>
Le procédé.....	53
Capacité de traitement.....	53
Types de déchets traités .....	53
Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets.....	54
Valorisation.....	54
Aspect économique.....	54
Aspect réglementaire .....	54

Unités en fonctionnement .....	54
<b>III.3. Procédé Mineralis – Ondeo Degremont (Granit) .....</b>	<b>55</b>
Le procédé.....	55
Capacité de traitement.....	55
Types de déchets traités .....	55
Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets.....	56
Valorisation.....	56
Aspect économique.....	56
Aspect réglementaire .....	56
Unités en fonctionnement .....	56
<b>III.4. Ciba Geigy .....</b>	<b>57</b>
Le procédé.....	57
Capacité de traitement.....	57
Types de déchets traités .....	57
Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets.....	57
Valorisation.....	57
Aspect économique.....	57
Aspect réglementaire .....	57
<b>IV. OXYDATION HYDROTHERMALE MONOPHASIQUE.....</b>	<b>58</b>
<b>IV.1. Chematür Engineering USA -Austin (Hunstammn – Université du Texas) .....</b>	<b>58</b>
Le procédé – Unité Huntsmann .....	58
Capacité de traitement.....	58
Types de déchets traités .....	59
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	59
Valorisation.....	59
Aspect économique.....	60
Aspect réglementaire .....	60
Unités en fonctionnement .....	60
<b>IV.2. Chematur Engineering – Suède - Karlskoga.....</b>	<b>61</b>
Le procédé.....	61
Capacité de traitement.....	61

Types de déchets traités .....	61
Unités en fonctionnement .....	61
<b>IV.3. General Atomic</b> .....	<b>62</b>
Le procédé.....	62
Capacité de traitement.....	62
Types de déchets traités .....	62
Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets.....	63
Valorisation.....	63
Aspect économique.....	63
Aspect réglementaire .....	63
Unités en fonctionnement .....	63
<b>IV.4. Autres</b> .....	<b>64</b>
<b>V. Conclusion</b> .....	<b>69</b>
<b><i>L'HYDROGENATION</i></b> .....	<b>70</b>
<b><i>LE VAPOCRAQUAGE</i></b> .....	<b>71</b>
<b><i>CONCLUSION FINALE</i></b> .....	<b>72</b>
<b><i>BIBLIOGRAPHIE</i></b> .....	<b>73</b>

# INTRODUCTION

Ce rapport a pour objectif de faire un état de l'art technico-économique des procédés de traitement thermique à l'exception de l'incinération.

Ce rapport est consacré aux procédés de traitement thermique suivants :

- la pyrolyse,
- la pyrolyse-gazéification,
- l'oxydation hydrothermale,
- l'hydrogénation,
- le vapocraquage.

Une présentation uniforme de chacun des procédés a été adoptée.

Nous commencerons par les généralités relatives aux principes de fonctionnement du procédé :

- types de déchets
- la nature et le devenir des résidus issus du procédé
- l'impact environnemental
- le cadre économique et réglementaire de chaque procédé.

Ensuite un paragraphe sur les principaux spécialistes du domaine sera présenté, suivi, pour chaque type de procédé, d'un ou plusieurs exemples industriels.

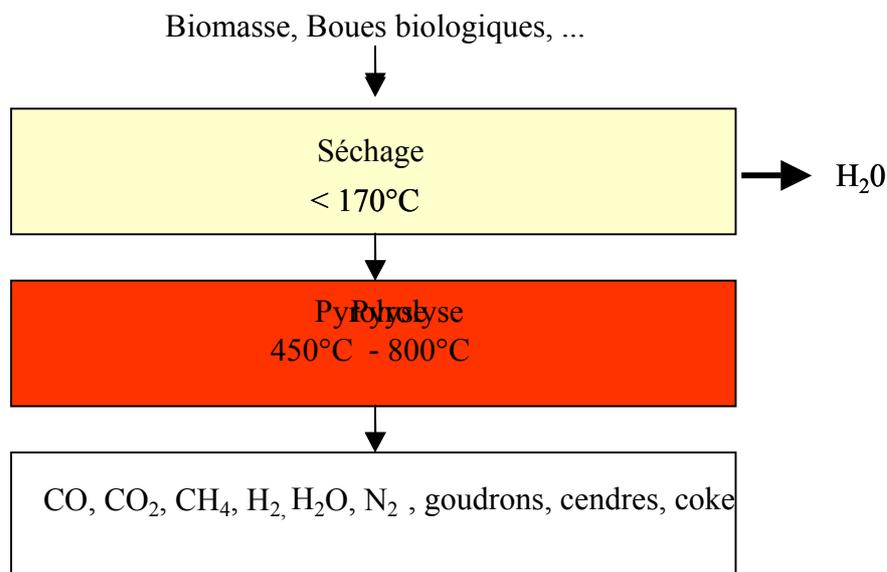
# PYROLYSE

## I. GENERALITES

La pyrolyse consiste en un traitement thermique, à température modérée (450 à 800°C) et en absence d'air. La pyrolyse constitue une décomposition chimique sous l'action de la chaleur en absence d'oxygène. La matière organique est décomposée (cracking) en une phase solide (semi-coke) et une phase gaz. La phase gaz contient une part d'incondensables à température ambiante (hydrogène, méthane, oxydes de carbone, hydrocarbures gazeux, azote) et une part de condensables constituée essentiellement d'eau, de goudrons et d'huiles. La phase solide est constituée de résidus carbonés, fortement cendreuse.

Cette technique encore peu développée, paraît adaptée pour de petites capacités, grâce notamment au faible coût du traitement des fumées (dans le cas d'une combustion du gaz et non des résidus carbonés) et à la polyvalence du procédé permettant de traiter conjointement divers type de déchets [2].

Le schéma de principe du procédé est reporté ci-après :



Les caractéristiques de fonctionnement des différents types de pyrolyse sont reportées ci-dessous [16]:

<b>Pyrolyse</b>	<b>Temps de séjour</b>	<b>Vitesse de Chauffage</b>	<b>P (MPa)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Sous-produits majeurs (état physique)</b>
Carbonisation	qq heures	Très lente	0,1	400	Solides carbonés
Conventionnelle	10 s – 10 min	Moyenne	0,1	< 600	Gaz, solides, liq.
Flash Liquide	< 1s	Rapide	0,1	< 600	Liq (huiles, goudrons)
Flash Gaz	< 1s	Rapide	0,1	> 700	Gaz
Eclair	< 0,5s	Très rapide	0,1	1000	Gaz
<i>Autres Pyrolyses</i> Sous vide Hydropyrolyse (H <sub>2</sub> + déchets)	2 – 30 s < 10s	Moyenne Rapide	< 0,01 ~ 2	400 500	Liq Liq

Même si la technologie de base est la même pour tous les constructeurs d'unités de pyrolyse, chaque application diffère en fonction du résultat souhaité. Ainsi, avant l'opération de pyrolyse proprement dite, un pré-traitement de la charge peut être effectué tel que : séchage, broyage, séparation, tri par flottation .... Afin de limiter l'apport d'O<sub>2</sub> via l'entrée des déchets, les déchets sont toujours tassés avant l'enfournement mais le système peut varier : vis sans fin, piston, wagonnets [3].

La pyrolyse est réalisée dans un four étanche, en absence d'air, à 450-800°C. Certains fours sont rotatifs, d'autres fixes, ils sont horizontaux ou verticaux, ronds ou cylindriques. Le chauffage extérieur du four est réalisé, au démarrage, par un apport extérieur de combustible. Compte-tenu de la fraction condensable (goudrons) incluse dans les gaz issus de la réaction de pyrolyse, leur valorisation est difficile et il est préférable de les brûler sur place.

Le temps de séjour et la vitesse de chauffage sont également des paramètres opératoires importants. Une vitesse de chauffage rapide diminue la fraction des sous-produits solides au profit des gaz et liquides produits comme on peut le voir sur le tableau suivant [16] :

Déchets	Pyrolyse	Vitesse de Chauffage	T (°C)	Sous-produits		
				Solides % <sub>w</sub>	Liquides % <sub>w</sub>	Gaz % <sub>w</sub>
Bois	Moyenne (batch)	20°C/min	600	<b>22,6</b>	50,4	27,0
Bois	Rapide (Lit Fluidisé)	~300°C/min	550	<b>17,3</b>	67,0	14,9
Pneus	Lente (Batch)	~ 5°C/min	850	<b>49,5</b>	32,5	18,0
Pneus	Moyenne (batch)	20°C/min	600	<b>39,2</b>	54,0	6,8
Pneus	Rapide (Lit Fluidisé)	-	640	<b>38</b>	40	18
RDF <sup>1</sup>	Moyenne (batch)	20°C/min	600	<b>35,2</b>	49,2	18,8
RDF	Moyenne (batch)	-	700	<b>30</b>	49	22
Plastiques (mélanges)	Moyenne	25°C/min	700	2,9	75,1	9,6

Les différents procédés peuvent se classer comme suit [3]:

- Les procédés de pyrolyse seule :

La problématique réside dans la valorisation énergétique du combustible solide de pyrolyse qui doit être réalisée par exemple dans un haut fourneau ou dans un four de cimenterie en tant que combustible de substitution partiel. Dans cette option, la valorisation énergétique est optimale puisque l'énergie contenue dans les déchets est valorisée sous une forme thermique avec des rendements de l'ordre de 70%. Les modes de combustion et les traitements de fumées en place permettent de prévoir des taux d'émission conformes aux normes en vigueur.

<sup>1</sup> RDF : Résidus Dérivés du Fuel.

Les procédés de pyrolyse peuvent associer un rendement élevé de recyclage des matières, des rendements élevés de valorisation énergétique et des déchets ultimes en quantités réduites par rapport à l'incinération.

- La pyrolyse est considérée au sens strict comme un pré-traitement qui doit être suivi d'une valorisation thermique de ces sous-produits. Cette valorisation peut se faire sur place et dans ce cas, on parle de «pyrolyse intégrée». La pyrolyse intégrée (pyrolyse associée à une unité de valorisation énergétique) qui se développe actuellement, est bâtie en amont de systèmes éprouvés de combustion ou de gazéification destinés à valoriser la fraction solide résiduelle. Ces types de procédés sont pourvus de tous les équipements classiques de traitement des effluents.

### Déchets ciblés

En principe, toutes les matières organiques peuvent être soumises à pyrolyse. Cependant, les produits susceptibles d'être traités en pyrolyse préférentiellement à l'incinération sont [4] :

- les boues,
- les produits subissant des changements de phase comme les plastiques,
- les matériaux qui contiennent des sels ou des métaux fusibles ou volatilisables aux températures classiques de l'incinération (950-1000°C),
- les matériaux à fort taux de chlore, soufre et azote,
- le traitement de terres contaminées est également envisageable en pyrolyse.

### Combustibles secondaires et résidus

Les sous-produits obtenus sont d'une part un composant solide (formé de cendres, de matières minérales et de carbone) et d'autre part des gaz combustibles. Le carbone et les résidus solides (métaux, verre, matériaux inertes) sont généralement séparés par des moyens mécaniques classiques ou par décantation dans un bain d'eau [4].

Les résidus chlorés ont été neutralisés par l'ajout de composés basiques ou soudés ; ils se retrouvent dans les résidus solides après précipitation dans le bain de décantation. La plupart des métaux lourds se retrouvent également sous forme particulières dans le bain de décantation [6].

Le traitement de pyrolyse produit :

- des gaz contrôlés et stockés. Ces gaz peuvent être réutilisés soit dans le convertisseur thermoélectrique pour produire l'électricité nécessaire à l'entretien de la réaction, soit brûlés en postcombustion ;
- des résidus carbonés solides valorisables par combustion ou gazéification ;
- des inertes, non réactifs chimiquement, tels que terre, gravats, sables ;
- du fer non oxydé, de l'aluminium et du verre.

Les résidus de pyrolyse dépendent bien sûr de la constitution chimique de l'effluent à "l'entrée" du procédé. Il dépend aussi de la température de pyrolyse. Les températures élevées favorisent la fragmentation des composés obtenus à plus basses températures.

Pour information, à 1200°C, la pyrolyse éclair du polyéthylène (PE) produit 45% de phase gaz alors qu'à 500°C, il n'y en a que 15%. Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) produit pratiquement 100% de monomère liquide. Dans la plupart des cas, la dépolymérisation s'accompagne de la formation de nombreux sous-produits complexes.

Le polystyrène (PS) fournit une phase gaz et une phase liquide (80%) contenant environ 70% de styrène ainsi que des dimères, trimères et de nombreux hydrocarbures.

Le polychlorure de vinyle (PVC) produit une phase gaz (60%) incombustible, composée essentiellement de HCl (96%), et un résidu charbonneux (40%).

### Impact environnemental

L'avantage de la pyrolyse, par rapport à l'incinération, est de pouvoir maîtriser la production des sous-produits [6].

- Ainsi, lors de la pyrolyse, la pollution inhérente aux déchets ménagers ne se retrouve pas dans les gaz de pyrolyse car la température des gaz est relativement basse. De plus, les volumes de gaz produits sont plus faibles (800 m<sup>3</sup>/t de déchets traités par pyrolyse contre 5000 m<sup>3</sup>/t pour l'incinération). La pollution se retrouve dans les résidus carbonés solides d'où les précautions qu'il faut prendre en terme de valorisation thermique de ces résidus carbonés.

- Concernant la pyrolyse suivie d'une valorisation énergétique (pyrolyse intégrée), pour une vitrification, la pollution est principalement localisée dans le granulat vitrifié qui en ressort. Pour une combustion ou une gazéification la pollution est également transférée en phase gaz.

La pyrolyse peut limiter une pollution due au transport, en ce sens qu'elle se prête bien à la décentralisation. Les zones rurales à faible densité de population ont la possibilité de traiter sur leur commune leurs propres déchets. Idéalement, le transport ultérieur des résidus carbonés à valoriser doit être limité au maximum pour éviter de perdre cet avantage.

Concernant les rejets liquides provenant du lavage de la matrice carbonée, les saumures (composées en majorité de chlorure de calcium) peuvent être vendues à l'industrie chimique.

### Cadre économique et réglementaire

#### ✓ Investissement :

Pyrolyse seule : environ 12 millions d'euros pour une unité d'une capacité de 50 000 tonnes par an, correspondant à environ 125 000 équivalent habitants.

Pyrolyse intégrée : prix plus élevé.

#### ✓ Coût de traitement :

Environ 45 à 75 € à la tonne de déchets pour la pyrolyse seule (à étudier en fonction des possibilités de commercialisation de la matrice carbonée et des métaux).

La pyrolyse a une souplesse de fonctionnement de 40 à 125 % de sa capacité nominale, son rendement thermodynamique étant au maximum quand elle fonctionne à 100% de sa capacité nominale. Cependant, le fractionnement de la combustion rend le procédé complexe et pose donc le problème de la qualification des personnels. De plus, il est encore difficile de trouver une filière de valorisation au résidu carboné qui possède pourtant un pouvoir calorifique élevé (de l'ordre de 17000 kJ/kg). L'acceptation en cimenterie comme combustible de substitution n'est pas encore systématique [6].

A chaque gamme de capacités correspondent des filières préférentielles :

- pour les capacités supérieures à 300 000 t/an, la pyrolyse n'est pas compétitive en comparaison à l'incinération ;

- pour les capacités inférieures à 50 000 t/an, les coûts deviennent équivalents entre pyrolyse intégrée et incinération (136 €/t de déchets pour l'incinération contre 154 €/t de déchets pour la pyrolyse intégrée)

#### ✓ Réglementation :

D'après la Directive 2000/76/CE du Parlement Européen et du Conseil.

D'après l'Article 3 est considérée comme « installation d'incinération »: tout équipement ou unité technique fixe ou mobile destiné spécifiquement au traitement thermique de déchets, avec ou sans récupération de la chaleur produite par la combustion. Le traitement thermique comprend l'incinération par oxydation ou tout autre procédé de traitement thermique, tel que **la pyrolyse**, la gazéification ou le traitement plasmatique, dans la mesure où les substances qui en résultent sont ensuite incinérées.

## II. SPECIALISTES DU DOMAINE

### A. Sociétés

#### ✓ **MAGUIN SA**

2, rue Pierre-Sémard  
02800 Charmes  
Tél : +33 (0)3 23 56 63 00  
Fax : +33 (0)3 23 56 63 05  
E-mail : [maguin@maguin.com](mailto:maguin@maguin.com)

L'activité principale de la société **MAGUIN** concerne le traitement thermique des déchets et notamment la pyrolyse de déchets au travers de sa prise de participation dans la société Thide.

**MAGUIN SA réalise** les fours seuls ou les installations complètes **vendues** montées et **mises en service**.

#### ✓ **THIDE ENVIRONNEMENT**

19 bis avenue Duguay Trouin  
78960 Voisins le Bretonneux  
Tél : +33 (0)1 39 30 94 50  
Fax : +33 (0)1 39 30 94 51  
E-mail : [thide@thide.com](mailto:thide@thide.com)  
Web : [www.thide.com](http://www.thide.com)

**Thide** est spécialisée dans le traitement de déchets par THERMOLYSE.

Thide Environnement S.A. est une société spécialisée dans la **conception, la construction et l'exploitation** d'unités de traitement thermique de déchets ménagers et industriels.

#### ✓ **TRAIDEC SA**

Z.A. de Bellevue – Souzy  
69610 Ste-Foy-L'Argentière  
Tél. +33 (0)4 74 26 11 15  
Fax : +33 (0)4 74 26 12 87  
Web : [www.traidec.com](http://www.traidec.com)

Le métier de la société **TRAIDEC** est l'**ingénierie** dans le domaine de l'environnement, la conception et l'assemblage d'unité mettant en œuvre le procédé DTV (Dissociation Thermique et Valorisation)

#### ✓ **NESA PRODUCT LINE OF UM ENGINEERING SA**

Rue du Bosquet, n°4  
1348 Louvain-La-Neuve  
Tél : +32 10 47 56 11  
Fax : +32 10 45 04 01  
E-mail : [ume@um.be](mailto:ume@um.be)  
Web : [www.um.be](http://www.um.be)

**NESA PRODUCT LINE OF UM ENGINEERING** est une société d'**ingénierie** spécialisée dans les traitements thermiques et dans l'aide à la maîtrise d'ouvrage. Elle propose également certains équipements : four à soles multiples, four à lit fluidisé, four rotatif, chambre de postcombustion, traitement des fumées.

#### ✓ **EISENMANN MASCHINENBAU KG**

Tuebinger Str., 81 – BP 1280  
71032 Boeblingen (Allemagne)  
Tél : +49 7031 78 0  
Fax : +49 7031 78 1000  
E-mail : [info@eisenmann.de](mailto:info@eisenmann.de)  
Web : [www.eisenmann.de](http://www.eisenmann.de)

**EISENMANN** développe et construit des installations clé en main sur mesure. Issue de l'industrie de la peinture, des céramiques et des traitements thermiques de surface, cette société développe le procédé Pyrobustor.

✓ **A&M BREZILLON**

8, rue des Déportés – BP 70156  
60403 NOYON  
Tél : +33 (0)3 44 93 21 30  
Fax : +33 (0)3 44 93 20 99  
E-mail : cedou@brezillon.fr

Entreprise de travaux, **BREZILLON** dispose de **bureaux d'études** dans sa division environnement pour la **R&D**, qu'elle mène en collaboration avec différents partenaires indépendants.

✓ **IFP**

1 et 4, avenue de Bois Préau  
92852 Rueil-Malmaison Cedex  
Tél : +33 (0)1 47 52 60 00  
Fax : +33 (0)1 47 52 70 00  
E-mail : [martine.briard@ifp.fr](mailto:martine.briard@ifp.fr)  
Web : [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

L'**IFP** est un organisme de recherche et développement industriel de formation et d'information au service de l'industrie des hydrocarbures - thèmes qui s'inscrivent également dans une perspective d'économies d'énergie et de développement durable.

✓ **PYROVAC INC**

M. Christian Roy, PDG  
333, rue Franquet  
Parc technologique du  
Québec métropolitain  
Ste-Foy (Québec) GIP 4C7  
Tél : (418) 652-2298  
Fax : (418) 652-2275  
E-mail : groupe@pyrovac.com

**PYROVAC INC** est le regroupement du Groupe Pyrovac et d'Ecotechniek (société hollandaise). Ils **développent** le procédé Pyrocyclage.

✓ **SIEMENS**

KWU F1E1, PO Box 32 20  
D-91050 Erlangen, Germany  
Tel 00 49 9131 18 7651  
Fax: 00 49 9131 18 9166

**SIEMENS** a développé et construit l'usine de Fürth (Allemagne) et développe sous licence au Japon avec Mitsui.

✓ **TECHNIP – BABCOCK - NOELL**

TECHNIP FRANCE  
Paris  
Tour Technip - La Défense 6  
92973 Paris La Défense  
Tel 33-1-47-78-21-21  
Fax 33-1-47-78-36-06

**TECHNIP** est une société d'**ingénierie** de **conception** et de **construction** d'unités industrielles. Elle développe cette technologie pour des déchets industriels et également son application à des déchets municipaux et assimilés.

**B. Laboratoire**

✓ ***PROFESSEUR ANDRE FONTANA, UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES***

50, avenue Fr. D. Roosevelt, CP 165, B-1050 BRUXELLES

Tél. : 00 32 2 650 29 88 - Fax. : 00 32 2 650 35 75

## II.1. TRAIDEC

Les données présentées ci-après ont été fournies par M. Marc FOISSIER, Responsable Bureau d'Etudes, lors du salon Pollutec 2001.

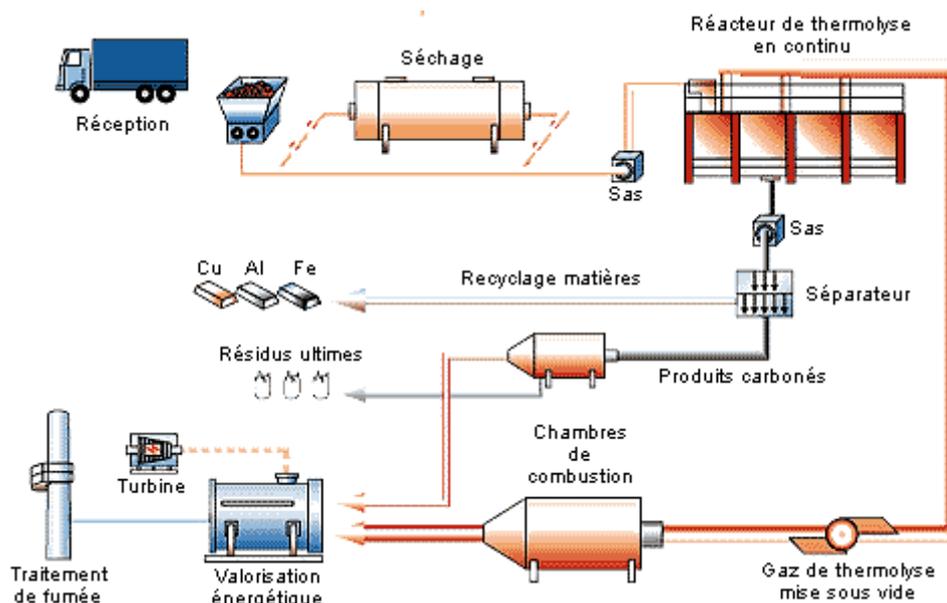
La société Traidec est spécialisée dans le traitement et la valorisation de déchets industriels, de boues, de déchets d'activités de soins et de déchets ménagers.

La société est en phase d'entrée commerciale dans ce domaine.

### Le procédé

Le procédé DTV (Dissociation Thermique et Valorisation) comporte 5 phases principales :

- une préparation du déchet (broyage, séchage, neutralisation,...),
- une dissociation thermique : pyrolyse, produisant un gaz et du produit carboné,
- une récupération des matériaux recyclables (métaux,...) et non combustibles,
- une combustion ou une mise en décharge des sous-produits de pyrolyse (gaz et produit carboné),
- une valorisation de l'énergie issue de la combustion avec production d'eau chaude, de vapeur ou d'électricité.



### 1) Préparation du déchet

Les lignes de traitement DTV acceptent des déchets avec les caractéristiques physiques suivantes :

- une granulométrie jusqu'à 30 centimètres environ,
- un taux d'humidité jusqu'à 15%.

Pour des déchets ne correspondant pas à ces critères, une étape de préparation est nécessaire : broyage, séchage ou ces deux préparations combinées.

Les technologies des équipements de broyage ou de séchage utilisées sont fonction des déchets à traiter (le broyage des résidus de broyage d'automobile diffère de celui de la biomasse). Des équipements d'alimentation étanches (exemple : convoyeur à chaînes)

permettent d'orienter les déchets vers la seconde phase de la ligne de traitement : le réacteur de pyrolyse.

## **2) Pyrolyse**

Le réacteur de pyrolyse a une capacité moyenne de 1t/h (5t/h max par ligne).

Après leur préparation éventuelle, les déchets alimentent en continu le réacteur de pyrolyse.

La pyrolyse consiste en une décomposition thermo-chimique de la matière.

A ce stade, il n'y a pas de combustion, le déchet est simplement chauffé en absence d'oxygène. Les conditions opératoires sont fonction du type de déchet traité : température de 500 °C à 600 °C, temps de séjour entre 35 et 45 minutes, plage de dépression comprise entre 500 et 50 mbar. Il résulte deux sous-produits de la pyrolyse :

- un gaz de pyrolyse constitué de la fraction du déchet "décomposable" sous forme gaz (exemple : plastiques, aliments), et de l'humidité initiale du déchet,
- un produit solide carboné composé de la fraction inorganique du déchet (terres, verre et métaux) et de sa "structure carbonée" (exemple : charbon de bois issu du bois).

La suite du traitement va porter sur ce gaz et ce produit carboné.

## **3) Séparation et valorisation des matériaux recyclables**

La pyrolyse permet un nettoyage thermique non destructeur des matériaux recyclables. A la sortie du réacteur de pyrolyse, des matériaux comme les métaux ferreux et non ferreux sont ainsi aisément extraits de la fraction solide carbonée et orientés vers leurs filières de recyclage. Pour certains types de déchets (exemple les résidus de broyage d'automobiles), la phase de séparation solide permet également d'extraire les matériaux non combustibles. Cette fraction inorganique inerte est utilisable comme matériaux de remblai (mélange de verre et pierres).

En final, après extraction des matériaux recyclables et incombustibles, le produit résultant des opérations de séparation et criblage se présente sous la forme d'une poudre carbonée combustible.



*Le produit carboné avant extraction des métaux recyclables*

#### **4) Combustion avec récupération d'énergie**

La problématique initiale était de traiter un déchet brut. Après la phase de pyrolyse et de séparation solide, cette problématique s'est simplifiée et consiste désormais à traiter :

- un gaz chaud (le gaz de pyrolyse à la sortie du réacteur),
- une poudre carbonée.

Ce gaz chaud et cette poudre carbonée sont tous deux sous-produits combustibles. Ils sont brûlés. Ainsi, la combustion ne porte que sur les fractions combustibles et non pas sur la totalité du déchet (métaux, verre,...). De plus, le gaz et la poudre carbonée étant des combustibles homogènes, la qualité et le rendement des combustions sont améliorés.

Dans la pratique, le gaz et la poudre carbonée sont orientés vers des équipements de combustion dédiés : une chambre de combustion gaz et une chambre de combustion charbon. Lorsque l'installation comprend une phase de séchage, la chambre de combustion gaz sert également à brûler les vapeurs issues de ce séchage.

Les chambres de combustion fonctionnent suivant les conditions imposées par les réglementations en vigueur : 850°C ou 1100°C pendant deux secondes (réglementations européenne et française).

#### **5) Mode de fonctionnement**

Le procédé DTV a un principe unique de mise en veille qui permet de garantir le même niveau de performance quel que soit le mode de fonctionnement : continu (24 h sur 24 h) ou discontinu (8 h ou 16 h par jour par exemple). Les pollutions dues aux phases de mise en route ou d'arrêt sont ainsi évitées.

#### **Capacité de traitement**

Les équipements proposés sont modulaires et se répartissent en plusieurs gammes. Les capacités de traitements sont comprises entre 100 kg/h pour des déchets médicaux par exemple jusqu'à 3,7 t/h pour des gisements traditionnels de déchets industriels ou ménagers.

Avec la possibilité de combiner plusieurs lignes, TRAIDEC propose ainsi des unités avec des capacités de traitement se situant entre 300 tonnes et 60 000 tonnes par an.

#### **Types de déchets traités**

Les installations DTV proposées par TRAIDEC permettent le traitement et la valorisation de nombreux types de déchets :

- Résidus de broyage d'automobile
- Déchets animaux crus et broyage de viandes
- Batteries et accumulateurs nickel-cadmium
- Pneumatiques usagés et déchets de caoutchouc
- Déchets de l'industrie du cuir
- Biomasse
- Déchets de l'industrie pharmaceutique
- Autres déchets industriels spécifiques
- Boues de stations d'épuration et boues industrielles
- Déchets d'activités de soins

- Déchets ménagers

Le procédé DTV permet de traiter de nombreux types de déchets, quelle que soit leur consistance (boues ou solides) ou quel que soit leur pouvoir calorifique.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

#### **1) Qualité des rejets atmosphériques**

Les conditions d'obtention (vide - absence d'oxygène) et les conditions de combustion du gaz de pyrolyse et de la poudre carbonée permettent d'éviter la création de composés polluants et complexes (dioxines et furannes).

Le traitement des fumées est simple à mettre en œuvre et permet de garantir des émissions très inférieures aux différentes normes internationales (Europe et US EPA<sup>2</sup>).

La vitesse de rejet et la température sont contrôlées pour ne pas avoir de panache en sortie de cheminée.

Les critères de performance correspondent aux directives européennes et américaines relatives au traitement des déchets dangereux et des déchets d'activités de soins.

Normes européennes et américaines.

<b>Paramètres</b>	<b>Directives Européennes, déchets dangereux.</b>	<b>US EPA</b>
Vitesse des gaz	12 m/s	-
CO : Monoxyde de Carbone	< 50 mg/Nm <sup>3</sup>	< 50 mg/Nm <sup>3</sup>
Poussières totales	< 10 mg/mN <sup>3</sup>	< 34 mg/Nm <sup>3</sup>
C.O.T. : Carbone Organique	< 10 mg/Nm <sup>3</sup>	-
HCl : Chlorure d'hydrogène	< 10 mg/Nm <sup>3</sup>	< 24.5 mg/Nm <sup>3</sup>
HF : Fluorure d'Hydrogène	< 1 mg/Nm <sup>3</sup>	-
SO <sub>2</sub> : Dioxyde de Soufre	< 50 mg/Nm <sup>3</sup>	< 158 mg/Nm <sup>3</sup>
Cd+Ti : Cadmium + Thallium	< 0.05 mg/Nm <sup>3</sup>	< 0.04 mg/Nm <sup>3</sup>
Hg : Mercure	< 0.05 mg/Nm <sup>3</sup>	< 0.55 mg/Nm <sup>3</sup>
Antimoine+Arsenic+Plomb+Chrome+Cobalt+Cuivre+Manganèse+Nickel+Vanadium+Etain+Sélénium+Tellure	< 0.5 mg/Nm <sup>3</sup>	-
Antimoine+Arsenic+Plomb+Chrome++Cobalt+Cuivre+Manganèse+Nickel+Vanadium+Etain+Sélénium+Tellure+Zinc	< 5 mg/Nm <sup>3</sup>	-
Dioxines et furannes	< 0.1 ng/Nm <sup>3</sup>	< 0.6 ng/Nm <sup>3</sup>

*Toutes les valeurs sont rapportées aux conditions normales de température et de pression, c'est-à-dire de 273°K, pour une pression de 103.3 kPa, avec une teneur en oxygène de 11% sur gaz sec.*

<sup>2</sup> EPA : Environmental Protection Agency

## **2) Les résidus ultimes**

Les résidus ultimes du procédé DTV sont les résidus d'épuration des fumées (neutralisants usagés) et les cendres issues de la combustion de la poudre carbonée. Ces deux résidus rejoignent les filières de disposition traditionnelles :

- stockage agréé ou recyclage pour les neutralisants usagés,
- stockage agréé ou utilisation comme matériaux pour les cendres.

### **Valorisation**

L'énergie issue de la combustion du gaz et de la poudre carbonée de pyrolyse doit être valorisée.

Cette énergie contenue dans les fumées de combustion est récupérée de façon traditionnelle par le biais d'échangeurs de chaleur.

En fonction du pouvoir calorifique des déchets, de la situation géographique et de l'environnement industriel de l'installation, diverses solutions sont ainsi envisageables pour valoriser l'énergie récupérée : eau chaude, vapeur, électricité, combustible, ...

### **Aspect économique**

Pour une usine classique (pyrolyse seule entre 7500 et 10000 t/an), le coût d'investissement est de l'ordre de 1,8 à 2 M€ soit entre 61 et 69 €/t.

Le retour sur investissement n'est pas précisé.

Le pilote a eu un coût d'investissement de 1,5 M€.

### **Unités en fonctionnement**

La société Traidec possède une installation pilote depuis 10 ans située près de Lyon servant de démonstrateur dans le domaine de la Dissociation Thermique et Valorisation.

## II.2. PYROVAC

### Le procédé

Les déchets solides doivent tout d'abord subir un pré-traitement de séchage et de broyage, indépendamment de la nature du rebut que l'on veut pyrolyser.

Les déchets sont par la suite introduits dans le réacteur par un système d'alimentation sous vide. Les déchets sont alors transportés dans le réacteur sur des plateaux horizontaux chauffés par un fluide caloporteur à base de sels fondus.

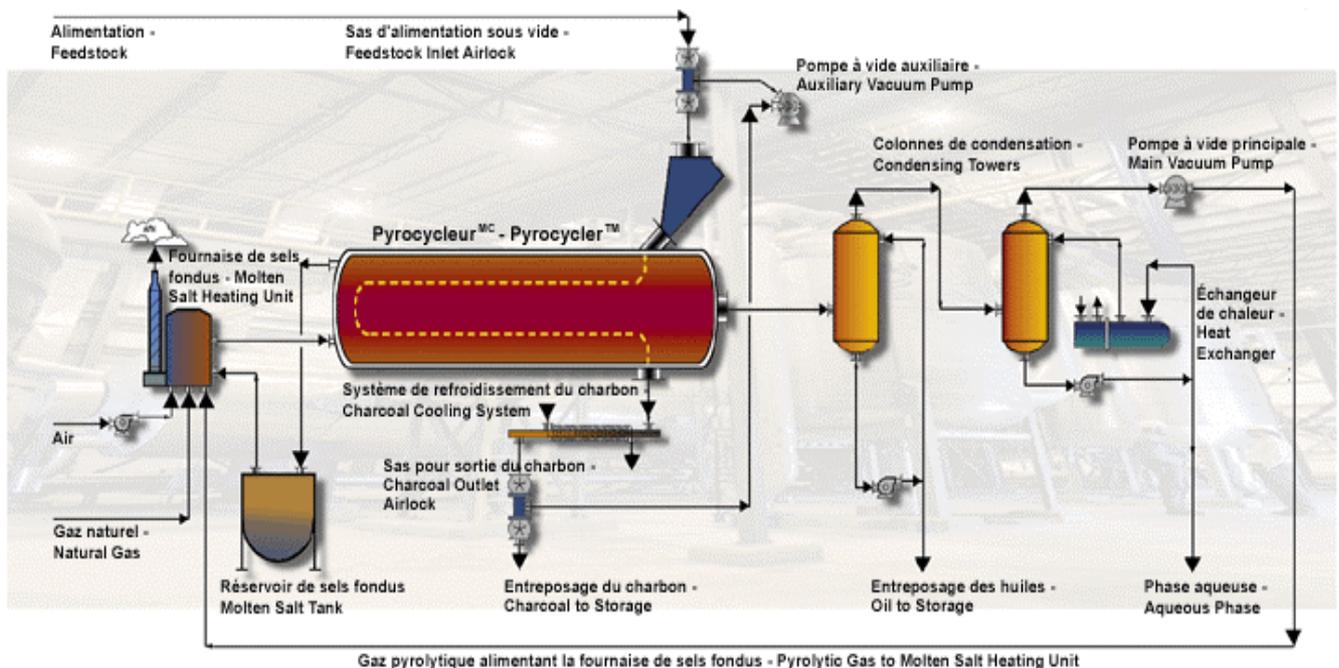
Ces derniers tirent leur énergie des gaz de pyrolyse qui sont brûlés sur place. La température du réacteur est maintenue à 500°C. La technologie du Pyrocycleur<sup>MC</sup> a été brevetée à l'échelle internationale par Pyrovac.

Le brûleur à gaz est alimenté par les gaz incondensables produits par le procédé. Lorsqu'elles sont chauffées, les matières présentes dans le réacteur se décomposent sous forme de gaz de synthèse qui sont rapidement retirés du réacteur au moyen d'une pompe à vide.

Ces gaz de synthèse sont dirigés vers deux tours de condensation dans lesquelles les huiles pyrolytiques et la phase aqueuse sont récupérées. La phase aqueuse sera traitée avant rejet.

Les gaz incondensables sont ensuite dirigés vers le brûleur à gaz et servent à chauffer les sels fondus. Le résidu solide (charbon) est refroidi et récupéré à la sortie du réacteur.

## PROCÉDÉ DE PYROCYCLAGE<sup>MC</sup>



## PYROCYCLING<sup>TM</sup> PROCESS

### **Capacité de traitement**

Pyrovac inc. a construit et développé plusieurs réacteurs de pyrolyse sous vide, qui vont depuis l'échelle laboratoire (15 L) à l'échelle de l'unité de développement de procédé (100 kg/h) jusqu'à l'échelle de démonstration industrielle (3000 kg/h).

### **Types de déchets traités**

Ce sont des déchets industriels ainsi que la biomasse.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

Des combustibles et produits chimiques sont formés.

### **Valorisation**

Dans le cas de biomasse en entrée de procédé, les produits issus du Pyrocyclage, tels que les huiles et les résidus solides peuvent être valorisés en filière énergétique et chimique.

Par exemple, les huiles pyrolytiques produites à partir des résidus d'écorce de bois mou peuvent servir à la fabrication du POSB et du Biophen. (Le POSB fabriqué à partir des huiles de bois issues du Pyrocyclage des écorces sert comme antifongique du bois. Le Biophen est un substitut écologique du phénol et est utilisé pour la fabrication de résines de type phénol-formaldéhyde).

Le charbon de bois pourra être employé comme matière première dans l'industrie métallurgique. Le noir de carbone issu du Pyrocyclage des pneus pourra quant à lui servir dans l'industrie du caoutchouc, dans l'industrie des bitumes routiers et dans l'industrie des encres.

### **Aspect économique**

Pas de données.

### **Unités en fonctionnement**

Une unité de démonstration est située dans le parc industriel de Jonquière (Québec). Elle comporte un réacteur de pyrolyse qui fonctionne en continu avec une capacité de 3 t/h.

Ce réacteur a une longueur de 16,3 mètres et est équipé d'un système de pompage permettant de mettre sous vide toutes les composantes du procédé, de l'alimentation à la sortie des produits.

L'unité de Pyrocyclage comprend aussi un système de manutention et d'alimentation des écorces, un système caloporteur, un système de refroidissement du charbon, un système de récupération des huiles, un système de contrôle et d'automatisation intégrés de tous les équipements ainsi que des réservoirs de stockage pour les huiles et le charbon.

### **II.3. EISENMAN**

Les données présentées ci-après ont été fournies par M. Peter Börgarts, Responsable d’Affaires – département Environnement, lors du salon Pollutec 2001.

La société EISENMANN est un des leaders mondiaux dans les technologies de traitement de surfaces, les procédés d’automatisation, les technologies céramiques ainsi que dans les technologies liées à l’environnement.

EISENMANN développe et construit des installations clé en main adaptées en fonction du besoin de chaque secteur d’activité.

Le traitement thermique des déchets incluant la conversion énergétique et le recyclage font partie des domaines de compétences de l’entreprise.

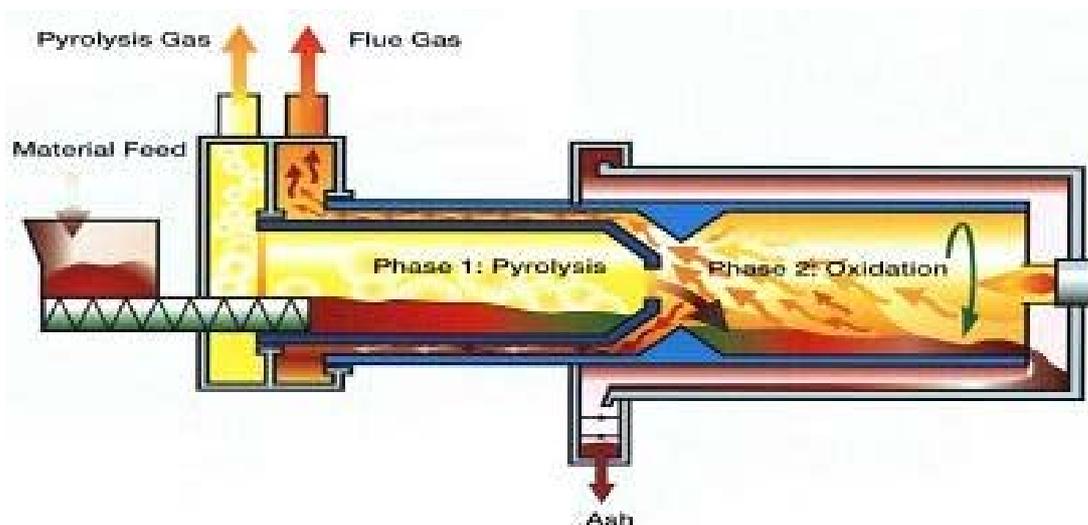
#### **Le procédé**

Pyrolyse et incinération s’effectuent dans la même chambre de combustion : le ‘Pyrobustor’ Dual-Phase Reactor. Après la pyrolyse de la matière dans la première chambre, le coke de pyrolyse est incinéré dans la 2<sup>nd</sup> chambre adjacente.

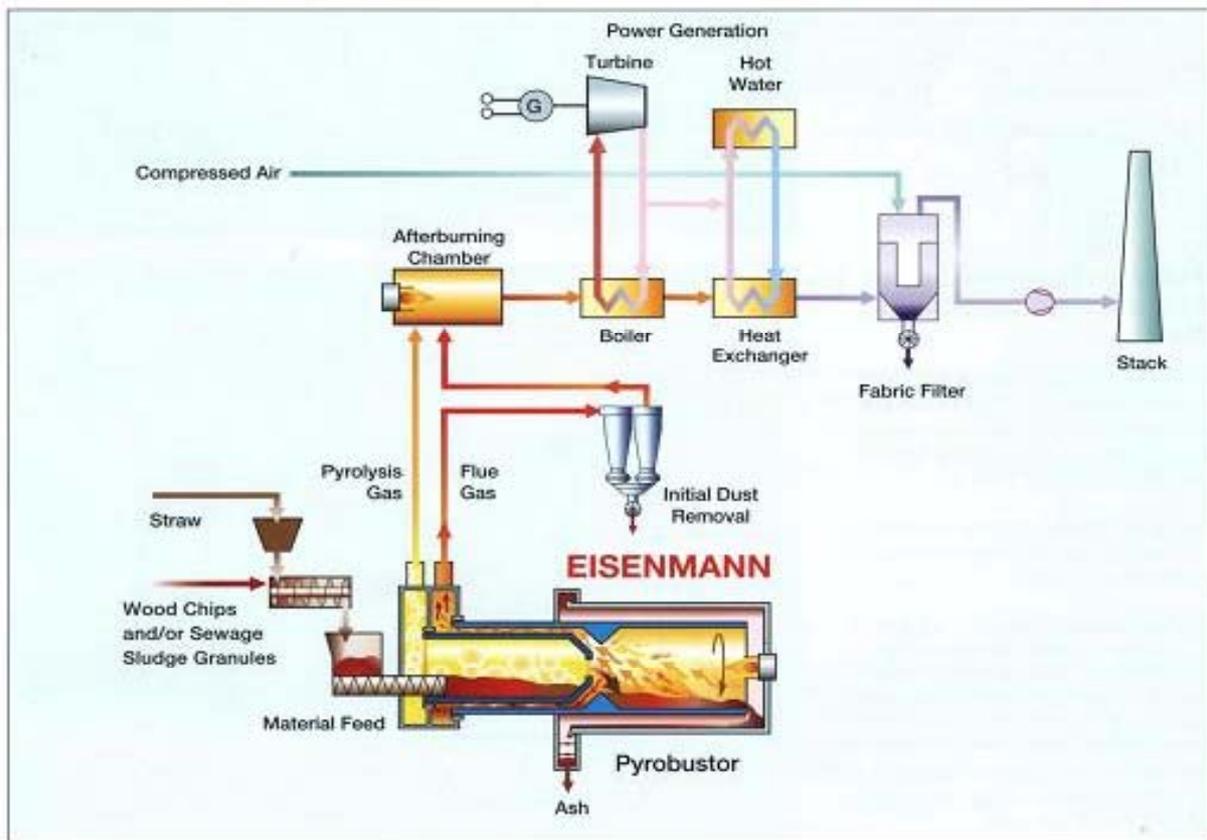
Au cours de ce procédé, le gaz chaud généré durant l’incinération des résidus issus de la pyrolyse transfère partiellement son énergie à la chambre interne de pyrolyse.

Les gaz issus de la pyrolyse sont brûlés dans la chambre d’oxydation, limitant ainsi l’apport de combustible.

Schéma du procédé :



*Principe de fonctionnement du Pyrobustor*



*Exemple industriel*

Rq : Ce procédé se rapproche d'une combustion classique avec une première chambre de pyrolyse. De plus il semble difficile de pouvoir garantir l'étanchéité des 2 chambres et donc la présence d'air à l'intérieur du pyrolyseur.

### **Capacité de traitement**

La capacité de l'équipement est de 3000 à 3600 kg/h suivant la valeur énergétique des éléments d'entrée et la composition de la biomasse.

### **Types de déchets traités**

L'équipement 'Pyrobustor' peut être utilisé pour le traitement des eaux usées et/ou des déchets de la biomasse.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

Aucune donnée.

### **Valorisation**

La chaleur produite est récupérée pour l'alimentation d'une chaudière. De l'eau chaude peut être ainsi produite et servir à diverses applications.

L'installation peut générer jusqu'à 1MW de puissance électrique.

**Aspect économique**

Aucune donnée.

**Unités en fonctionnement**

Aucune donnée.

## **II.4. THIDE**

Thide Environnement S.A. est une société spécialisée dans la conception, la construction et l'exploitation d'unités de traitement thermique de déchets ménagers et industriels. En particulier, la société valorise le procédé de pyrolyse développé conjointement avec l'Institut Français du Pétrole (IFP).

Ce procédé a été validé par une installation au Japon avec capacité nominale 1 t/h, construite avec le Groupe Ltd., qui en a acquis la licence pour ce pays (cf. paragraphe sur Hitachi ci-après).

Thide Environnement s'est vue confier récemment le marché de construction et d'exploitation de l'unité de traitement des déchets ménagers et industriels de la Communauté Urbaine d'Arras, pour la construction et l'exploitation d'une unité de 50 000 tonnes/an. Les études sont en cours, l'unité sera mise en service début 2003. Nom du projet : ARTHELYSE.

La société, créée en 1994, propose une solution originale et économique pour des projets de taille moyenne qui devrait lui permettre de répondre, tant en France qu'à l'étranger, aux attentes d'un marché en forte évolution. Thide Environnement prévoit de réaliser un chiffre d'affaires d'environ 15 millions d'euros dès 2002.

Le groupe Gaz de France fera bénéficier la société de son expérience et de son savoir-faire dans le domaine du traitement des gaz et des déchets et dans les offres de services aux collectivités territoriales et aux industriels.

Maguin S.A. apportera à Thide Environnement ses compétences reconnues d'équipementier, spécialisé en thermique.

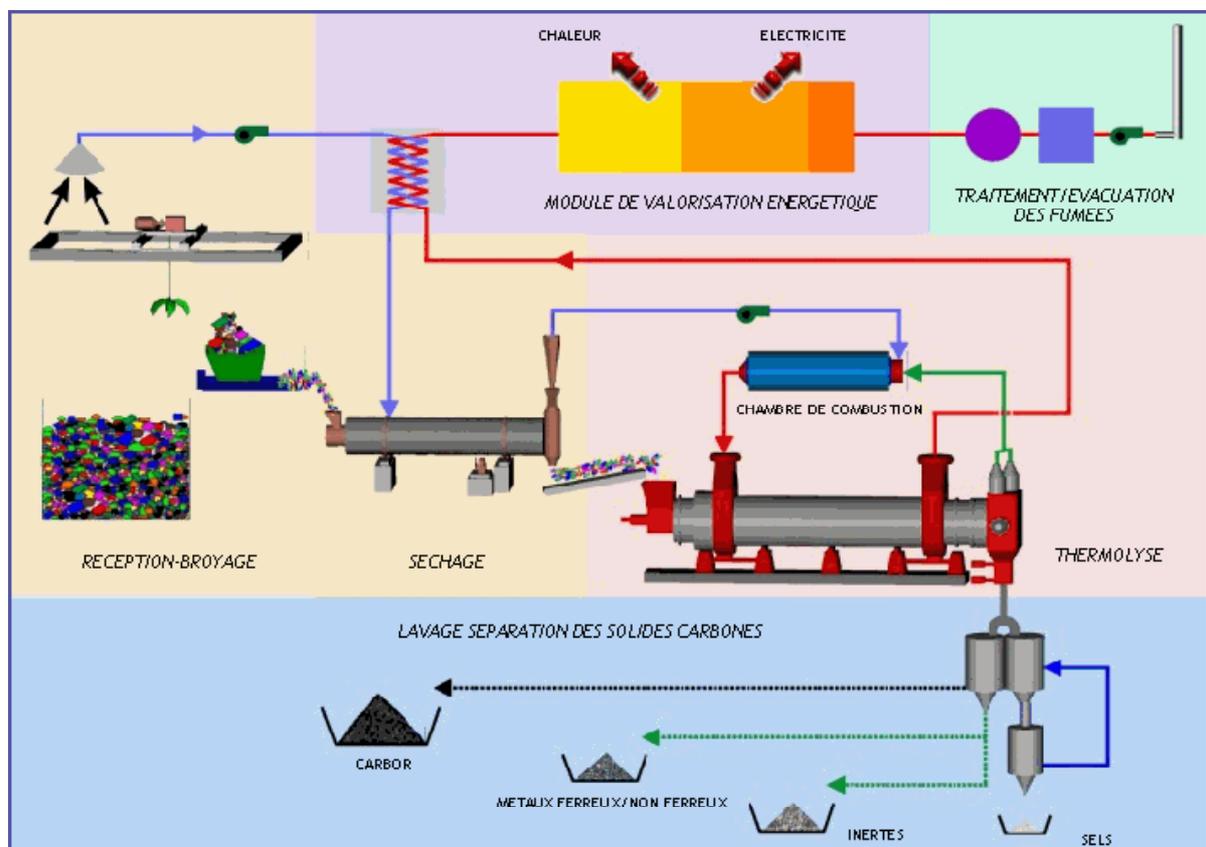
### **Le procédé**

Le procédé a été développé en employant des techniques connues et maîtrisées. L'innovation procède du choix et de la complémentarité des matériels utilisés.

L'emploi des fours tournants permet une parfaite homogénéisation des déchets et de meilleurs échanges thermiques. L'efficacité et la rapidité du traitement sont ainsi favorisées.

L'absence de combustion des déchets permet de réduire les volumes de fumées, excepté pour une combustion du résidu carboné in situ.

## Schéma du procédé



### Capacité de traitement

Le procédé a été spécialement développé pour traiter les moyennes capacités (20 à 60 000 t/an).

### Types de déchets traités

Déchets ménagers et assimilés : toutes les problématiques des collectivités locales et des sites à variation saisonnière,  
Déchets industriels : des DIB bruts et DIS tels que les plastiques souillés,  
Boues urbaines : boues de STEP,  
Déchets de l'automobile, résidus de broyage : les plastiques séparés ou mélangés, PVC et le polypropylène, la fibre de verre des pare-chocs, les pneumatiques usagés, les métaux ferreux et non ferreux,  
Plastiques et caoutchoucs : rebuts et chutes de fabrication, des produits en fin de vie,  
Emballages souillés, bois de démolition, déchets de papeterie, déchets électriques et électroniques,

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

Carbor® n'est pas valorisé sur place. Il est stocké et transporté régulièrement pour une utilisation différée (cimenterie). Il constitue une source d'énergie renouvelable (PCI : + de 4000 kcal/kg) pour les diverses industries. La quantité générée est de 240 kg contenant moins de 0,5% de chlore.

Les métaux ferreux et non ferreux sont de 50 kg et ne subissent aucune altération pendant le traitement thermique et sont séparés des composés organiques. Ils peuvent donc facilement être recyclés dans l'industrie.

Les inertes (80 kg de sables, verre...) sont lavés et leur utilisation dans diverses applications de construction peut être envisagée.

(Les sels sont les résidus ultimes 10 kg)

Le procédé génère moins de 2% de résidus de classe 1 (cas d'une combustion externe du Carbor®).

Dans le cas d'une combustion externe du Carbor®, le volume de fumées est environ deux fois inférieur à celui d'un incinérateur de capacité équivalente. Dans le cas de l'incinération, il faut ajouter une grande quantité d'air pour obtenir une combustion satisfaisante des déchets qui se retrouve bien sûr dans les fumées. Les normes de rejets étant exprimées en concentration, la quantité globale de polluants rejetée sera au minimum deux fois inférieure.

Le traitement des eaux repose sur le principe de l'évapo - cristallisation. Les sels présents dans les eaux de lavage des solides sont cristallisés et représentent généralement moins de 1% du poids des déchets entrants.

Le chlore, impliqué dans la formation des dioxines et furannes est piégé dans le lit carboné. Sa présence dans les fumées est donc limitée dès l'amont du traitement. De plus, l'absence d'oxygène limite également la formation de dioxines. Le séchage permet d'éviter la présence de quantités importantes de vapeur d'eau pendant la phase de pyrolyse et garantit ainsi une captation plus performante des polluants (HCl notamment).

### **Valorisation**

Production de chaleur et d'électricité.

### **Aspect réglementaire**

Obligation de la loi 1992-1995 déchets ménagers et assimilés.

Réglementation sur les ICPE (30 de 96).

Conformité aux plans départementaux / régionaux pour l'élimination des déchets.

Arrêté 10 octobre 1996 : Exigence sur rejets.

Respect des normes anti-sismiques.

### Aspect économique

Vise les petites et les moyennes agglomérations.

1er usine de pyrolyse en France, sur la commune d'Arras :

- Investissement 19 M€ amortissement sur 20 ans +coût d'exploitation +maintenance ;
- Fonctionnement : 81 €/t HT hors subvention ;
- 23 personnes sur Arras.

### HITACHI (brevet THIDE - IFP)

Compte rendu de la visite de l'unité d'HITASHI à ITO IGAWA (Japon) lors d'une mission d'évaluation sur la technologie de l'oxydation hydrothermale en Février 2002.

PARTICIPANTS A LA VISITE : MANUEL BOTTREAU (HOO), BENOIT DE GUILLEBON (APESA)

CORRESPONDANT : TOSHIO NAKAHIRA

(brevet THIDE - IFP) 2 installations en cours de finalisation : celle de ITO IGAWA (voir plus loin) et une unité de 218 T/jour (2 lignes de 109 T/jour) avec vitrification des cendres à IZUMO qui doit démarrer en décembre 2002.

### **Le procédé**

L'unité que nous avons visitée était en phase de démarrage à froid. Elle devait recevoir les premiers déchets en mars 2002. Il s'agit d'une unité de deux lignes de 35 T/jour pour une capacité totale de 17 500 T/an (fonctionnement uniquement les jours de semaine).

Après un stockage dans une fosse de réception, les déchets sont broyés puis séchés (séchage direct de 50% à 10% en masse d'eau) avant d'être passés dans le four de pyrolyse. Les résidus solides sont séparés par flottation et séparation magnétique pour donner 6,8 T/jour de « charbon », 0,5 T/jour d'acier, 0,3 T/jour d'aluminium et 1 T/jour de résidus non valorisables.

Le charbon est récupéré humide, déshydraté par centrifugation, puis aggloméré pour être livré à une cimenterie (8,8 T/jour de boulets de charbon à environ 30 % d'humidité).

Le gaz produit est brûlé dans un brûleur. Les fumées donnent leur énergie successivement au four de pyrolyse (maintien en température) et au sécheur des déchets (qui les passe de 50% à 10% d'humidité) puis chauffe de l'eau qui est fournie au centre de remise en forme voisin.

Les fumées sont envoyées dans un circuit de traitement des gaz extrêmement complet : quench (à 170°C), ajout de charbon actif et de chaux, filtre à manche, traitement des NOx et des dioxines au NH<sub>4</sub>OH sur catalyseur à 300°C.

Les eaux de lavage subissent un traitement classique physico-chimique couplé à de la filtration électromembranaire.

### **Capacité de traitement**

17 500 t/an

### **Types de déchets traités**

Ordures Ménagères en remplacement d'un incinérateur.

### **Résidus secondaires - Rejets**

Matières minérales

Carbone

### **Valorisation**

Au niveau énergétique, la seule valorisation énergétique est la production d'eau chaude pour un centre de remise en forme proche de l'usine.

### **Aspect Economique**

Le prix global de l'installation bâtiment compris est de 24,4 à 31 M€.

Par contre, il nous a été indiqué une consommation électrique importante soit 70% des coûts de fonctionnement de 82 €/T hors coûts salariaux. Le coût de l'électricité est beaucoup plus élevé qu'en France, 0,13 €/kWh.

### **Aspect Réglementaire**

Pas de données.

### **Autres unités en fonctionnement au Japon**

MITSUI ZOZEN (brevet SIEMENS) qui a une unité en fonctionnement dans l'île de KIUSHU depuis 2 ans (2 lignes de 110 T/jour) et une unité de 2 x 200 T/jour qui doit démarrer en août 2002.

Les autres intervenants sont IHI, TAKUMA (brevet SIEMENS), TOSHIBA (brevet PKA) mais nous ne savons pas combien d'unités de Pyrolyse sont aujourd'hui en fonctionnement au Japon.

## **II.5. NESA**

NESA est une ligne de produit d'Umicore Engineering qui est filiale d'Union minière, groupe international des matériaux et métaux. Cette ligne est dédiée aux traitements thermiques pour une gamme d'application très étendue. L'expérience de NESA s'appuie sur de 2000 fours construits sur une période de plus de 100 ans.

Depuis 1932, NESA travaille dans le domaine de l'incinération classique et fabrique différents types de fours : fours à étages, fours à lit fluidisé, et fours rotatifs.

Confronté aux restrictions énergétiques des années 70 et aux prescriptions de l'environnement qui s'annonçaient sévères, l'accent s'est porté sur l'aspect énergétique et sur l'amélioration du bilan thermique de l'incinération.

NESA a développé dans sa station pilote située à Louvain la Neuve, un procédé de pyrolyse avec ou sans combustion du carbone fixe.

### **Le procédé**

La pyrolyse peut être définie comme un procédé thermique de transformation de matières solides et liquides en composés gazeux et en résidus solides composés de carbone fixe et de matières minérales.

Le procédé de pyrolyse comprend les étapes suivantes :

- zone de séchage des produits ;
- une étape de gazéification pyrolytique des matières volatiles ;
- récupération des matières volatiles et utilisation comme combustible ou oxydation directe de celles-ci dans une chambre séparée avec un excès d'air mesuré, un temps de séjour défini et une température contrôlée ;
- oxydation possible du carbone fixe dans les étapes inférieures du pyrolyseur.

Le procédé de pyrolyse développé par NESA est basé sur l'utilisation d'un réacteur à étages multiples.

Chaque installation comprend :

- un réacteur de pyrolyse à étage multiple ( respectivement 5,1 et 5,7 m de diamètre extérieur à 7 étages),
- une chambre de post-combustion,
- un échangeur de chaleur air/fumée de type radiant,
- une chaudière de récupération,
- un dispositif de dépoussiérage humide par venturi suivi d'une tour de lavage avec plateau de neutralisation,
- un ventilateur de tirage,
- une cheminée.

### **Capacité de traitement**

Aucune donnée.

### **Types de déchets traités**

Différents produits ont été traités avec succès afin de démontrer la faisabilité du procédé NESA de pyrolyse. Il s'agit notamment de :

- boues de dragage,

- fientes de poulets,
- déjections de porcs,
- fluffs (fraction légère provenant du tri des ordures ménagères),
- résidus de broyages légers provenant du recyclage de véhicules automobiles,
- pneus usés,
- boues et sous-produits provenant du secteur de la sidérurgie,
- farines animales et viandes crues.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

- matières minérales,
- carbone,
- FeO, silice,
- résidus de boues d'usinage,
- les fumées provenant de chacune des unités sont conformes aux normes allemandes qui sont particulièrement strictes en la matière.

### **Valorisation**

Aucune donnée.

### **Aspect économique**

- investissement : 2 à 30 M€ (selon capacité),
- coût d'exploitation <60 €/t.

### **Aspect réglementaire**

Aucune donnée.

### **Unités en fonctionnement**

Le procédé de pyrolyse-incinération a été industriellement appliqué pour la première fois à la papeterie Zanders à Bergisch Gladbach en 1980.

Cette installation traite trois produits d'origine différente : des boues produites par la station d'épuration d'eaux résiduaires industrielles (3970 kg/h à 34 % MS), des solvants résiduaires (120 à 250 kg/h) et des déchets de papier de bois à une température de 200°C et une pression de 15 MPa.

En 1990, la papeterie a passé commande d'une nouvelle installation pour le traitement de 5476 kg à 45% MS de boues industrielles et de 360 kg/h d'eau contenant des solvants à une température de 500°C et une pression de 16 bars.

En 1992, la firme suisse de CIBA-GEIGI a également passé commande pour équiper son usine de Monthey d'une installation de pyrolyse-incinération (opérant à 900°C) de boues résiduaires provenant de sa nouvelle station d'épuration.

Deux modes de fonctionnement sont prévus :

- Alimentation de boues humides venant directement des centrifugeuses : 1826 kg/h de boues humides à 20% MS,
- Alimentation de boues pré-séchées : 1520 kg/h de boues humides à 40% MS.

## **II.6. AUTRES**

### **Procédé GREENFIX**

C'est un procédé développé par Sotraip.

### **Procédé SOFTER (NEXUS)**

Nexus a développé le procédé Softer à l'échelle pilote à Châteaurenard avec une capacité de 100 kg/h. Le projet industriel de Digny d'une capacité de 50 000 t/an constitue une extrapolation inhabituelle.

Lors de la construction de cette première unité industrielle, il est apparu des coûts d'équipements supérieurs à ceux qui étaient prévus initialement. Par ailleurs, certaines solutions technologiques originales n'avaient pas été testées à l'échelle pilote.

### **III. CONCLUSION**

Une grande variété de procédé de pyrolyse de déchets est présente sur le marché. La plupart sont toujours à l'état de pilote, certains comme THIDE sont à un état de commercialisation du procédé notamment sous forme de vente de licence au Japon. Si l'avenir des procédés de pyrolyse pour le traitement des déchets semblait compromis à l'issu des projets lancés dans les années 80 au Japon, il en est tout autrement aujourd'hui.

En effet, les limites de la mise en décharge, les inconvénients de l'incinération que sont les émissions polluantes et les résidus (cendres et mâchefers) suscitent un nouvel intérêt des industriels et autorités compétentes pour les techniques de pyrolyse. Ainsi, malgré une pause à la fin des années 80, les entreprises japonaises, ont repris leurs efforts de recherche afin de mettre au point des installations de pyrolyse commercialement viables. La plupart des expériences sont très avancées et, dans les années qui viennent, de nouvelles sociétés devraient faire leur apparition dans ce domaine.

Les limitations techniques sont principalement la teneur en oxygène et en eau dans les déchets d'entrée. En effet, les déchets doivent être séchés puis tassés pour un fonctionnement optimum de la pyrolyse.

Le tableau suivant résume les principales données citées précédemment. Les coûts de traitement sont relativement bas par rapport à l'incinération et sont valables pour une pyrolyse seule. Ces coûts ne prennent pas en compte la combustion externe des résidus carbonés.

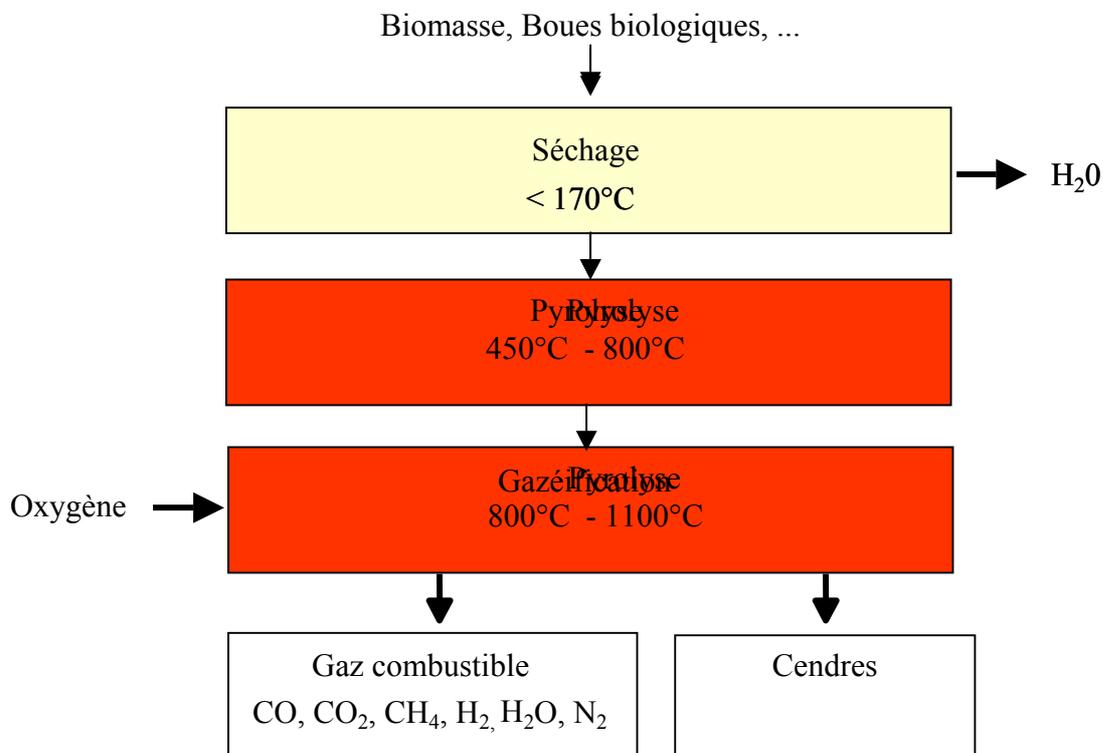
DEFINITION DU PROCEDE			COUTS et CAPACITE		
PROCEDE	CAPACITE DE TRAITEMENT	TYPE DE DECHETS VISES	INVESTISSEMENT	TRAITEMENT	UNITES EN FONCTIONNEMENT
<b>TRAIDEC</b> Procédé DTV	100 kg/h à 3700 kg/h	Résidus d'automobile Déchets d'animaux Batteries nickel-cadmium Pneumatiques Déchets du cuir Biomasse Déchets de l'ind pharma. Boues de stations d'épuration Déchets d'activités de soins Déchets ménagers Boues industrielles	Pour une Unité de 7500 à 10000 t/an  <b>1,8 à 2 M€</b>	<b>61 à 69 €/t</b>	1992 : Pilote  1999 : Unité de démonstration (Lyon)
<b>THIDE</b> (réacteur tournant)	20 à 60 000 t/an	Déchets ménagers et assimilés DIB et DIS Boues traitement eaux usées Résidus d'automobile Plastiques, caoutchouc Bois, déchets de papèteries	Unité d'ARRAS 50000 t/an  <b>19 M€</b>  (RI à 20 ans)	<b>81 €/t</b>	Unité d'ARRAS  Mise en service en 2003
<b>HITASHI</b> Brevet Thide - IFP	17 500 t/an	Ordures ménagères (remplacement d'incinérateur)	Pour une unité de 17 500 t/an  <b>24,4 à 31 M€</b>	<b>82 €/t</b>  (consommation électrique importante - 70%)	ITO IGAWA (Japon)  Réception des premiers déchets à ITO IGAWA en mars 2002
<b>NESA</b>	Pas de données	Boues de dragage Boues industrielles  Fientes de poulets Lisier de porc Résidus de tri d'OM Pneus Farines animales	Selon capacité  <b>2 à 30 M€</b>	<b>&lt; 60 €/t</b>	Bergisch Gladbach (All) 1980 : Unité ~ 4000 kg/h (eaux résiduaire de papèteries, 1990 : Unité ~ 5500 kg/h (boues industrielles)  Monthey (Suisse) 1992 ~ 2000 kg/h
<b>PYROVAC</b> Procédé <b>PYROCYCLAGE</b> (réacteur à plateaux) Fluide caloporteur à sels fondus	100 kg/h à 3000 kg/h	Déchets Industriels / Biomasse Prétraitement Broyage	Pas de données	Pas de données	Pilote Labo 15 Litres  Jonquière (Québec) 3000 kg/h

# PYROLYSE - GAZEIFICATION

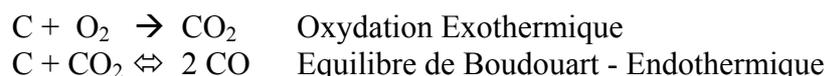
## I. GENERALITES

La gazéification a pour objet la conversion totale de la charge organique en gaz combustible. Le gaz combustible produit est ensuite brûlé en milieu oxydant qui peut être de l'air, de l'air enrichi à l'oxygène ou de l'oxygène pur. Les températures nécessaires sont relativement élevées, 900-1100°C à l'air, 1100-2000°C à l'oxygène [4]. A l'origine, les procédés de gazéification ont été développés afin de fabriquer du gaz à partir du charbon et ainsi transformer ce gaz en produits chimiques ou essence.

La gazéification est envisagée dans des opérations couplées de pyrolyse/gazéification, le coke de pyrolyse étant produit puis gazéifié dans deux étages de procédés en série. De plus, la gazéification peut être suivie d'une étape de vitrification de la fraction minérale résiduelle, compte tenu des températures élevées atteintes pour les procédés utilisant l'oxygène. Le schéma de principe de ce procédé est représenté ci-après :

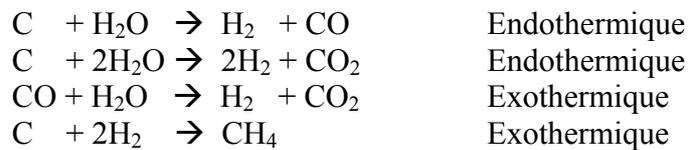


Les principales réactions mises en œuvre sont :



Le bilan de ces 2 réactions est exothermique.

Il arrive que l'eau sous forme de vapeur intervienne également dans la gazéification par sa présence dans les déchets. D'autres réaction sont alors observées lors de gazéification en présence de vapeur d'eau :



#### Combustibles secondaires et résidus

La gazéification à l'air, la plus répandue, conduit à un gaz pauvre contenant 55-60% d'azote avec un PCI de 4-7 MJ/Nm<sup>3</sup>.

La gazéification à l'oxygène pur améliore le pouvoir calorifique du gaz de synthèse produit jusqu'à des valeurs de 10-20 MJ/Nm<sup>3</sup> nécessitant en retour des consommations importantes d'oxygène.

Dans tous les cas, les gaz de réaction, après un système d'épuration par filtre électrostatique, sont brûlés pour générer de l'énergie.

Les résidus solides sont des cendres inertes qui peuvent être recyclées ou éliminées. Les résidus solides sont des scories dont les tests de lixiviation sont inférieurs à la norme de toxicité (Pour le Pb < 5 mg/L et pour le Ba < 100 mg/L) [9].

Outre la fraction d'huile pyrolitique (~1% des effluents) et les eaux de lavages des gaz, il n'y a aucun effluent liquide. Ces eaux sont traitées en épuration physico-chimique avant rejet.

#### Impact environnemental

L'impact sur l'environnement est difficile à évaluer à ce jour. De l'énergie est produite à partir de la biomasse et de boues biologiques. L'évaluation de la production de sous-produits toxiques est difficile à quantifiée.

#### Cadre économique et réglementaire

##### ✓ Coût de traitement :

Les coûts d'investissement et de fonctionnement de ce type d'unité sont assez diverses et sont détaillés ultérieurement par type de procédé.

##### ✓ Réglementation :

D'après la Directive 2000/76/CE du Parlement Européen et du Conseil.

D'après l'Article 3 est considérée comme « installation d'incinération »: tout équipement ou unité technique fixe ou mobile destiné spécifiquement au traitement thermique de déchets, avec ou sans récupération de la chaleur produite par la combustion. Le traitement thermique comprend l'incinération par oxydation ou tout autre procédé de traitement thermique, tel que la pyrolyse, **la gazéification** ou le traitement plasmatique, dans la mesure où les substances qui en résultent sont ensuite incinérées.

## **II. SPECIALISTES DU DOMAINE**

### ✓ **KEMESTRIE INC.**

4220, rue Garlock  
Sherbrooke, Québec – J1L 2P4  
Tél : (819) 569-4888  
Fax : (819) 569-8411  
<http://www.enerkem.com>  
E-mail : kem@interlinx.qc.ca

**KEMESTRIE INC** est une compagnie de recherche et développement sur la valorisation et les procédés utilisant la biomasse. Avec sa filiale Enerkem, ils développent le procédé Biosyn.

### ✓ **LURGI AG**

Lurgiallee 5  
60295 Frankfurt  
Tél : +49 (69) 58 08-0  
Fax : +49 (69) 58 08-38 88  
E-mail : [kommunikation@lurgi.de](mailto:kommunikation@lurgi.de)  
Internet : [www.lurgi.com](http://www.lurgi.com)

**LURGI** est une société d'ingénierie, de conception et de réalisation d'usines de traitement de déchets (fours à grille, incinération à lit fluidisé). **LURGI** intervient également dans l'aide à la maîtrise d'ouvrage.

### ✓ **ITEA**

Claudio RAFFAELLI  
Sede Operativa  
Via Balzani 22  
40069 Zola Predosa, Bologne, ITALIE

**ITEA** développe le procédé DISMO.

### ✓ **THERMOSELECT SA**

Piazza Pedrazzini 11  
CH-6600 LOCARNO, Suisse  
Tel : 00 41 93 31 67 92  
Fax : 00 41 93 32 23 70.

**THERMOSELECT SA** : optimisation et développement de procédé de traitement thermique des déchets.

### ✓ **NESA PRODUCT LINE OF UM ENGINEERING SA**

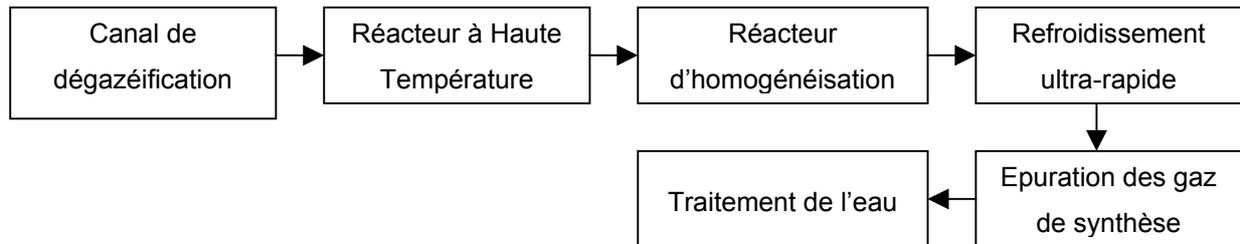
Rue du Bosquet, n°4  
1348 Louvain-La-Neuve  
Tél : +32 10 47 56 11  
Fax : +32 10 45 04 01  
E-mail : [ume@um.be](mailto:ume@um.be)  
Web : [www.um.be](http://www.um.be)

**NESA PRODUCT LINE OF UM ENGINEERING** est une société d'ingénierie spécialisée dans les traitements thermiques et dans l'aide à la maîtrise d'œuvre. Elle propose également certains équipements : fours à soles multiples, fours à lit fluidisé, fours rotatif, chambres de postcombustion, traitement des fumées.

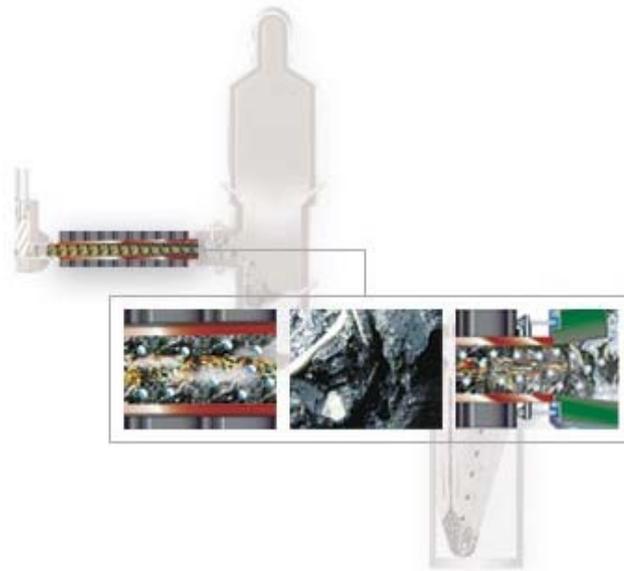
## II.1. THERMOSELECT

### Le procédé

Thermoselect combine et optimise des techniques connues et éprouvées de l'extraction des gaz, de la gazéification et de la refonte directe dans un procédé ininterrompu pour le recyclage matériel, énergétique et chimique des déchets.



### 1) Canal de dégazéification :



Dans le canal de dégazéification, les constituants organiques des déchets sont dégazéifiés et transformés en charbon en milieu clos.

Les métaux et substances minérales emprisonnés sont acheminés, avec le charbon et les composants organiques et inorganiques (sous forme liquide ou gaz) dans le réacteur à haute température.

### 2) Réacteur à haute température :

Par addition dosée d'oxygène, tous les constituants contenant du carbone sont gazéifiés à des températures dépassant 2000°C.

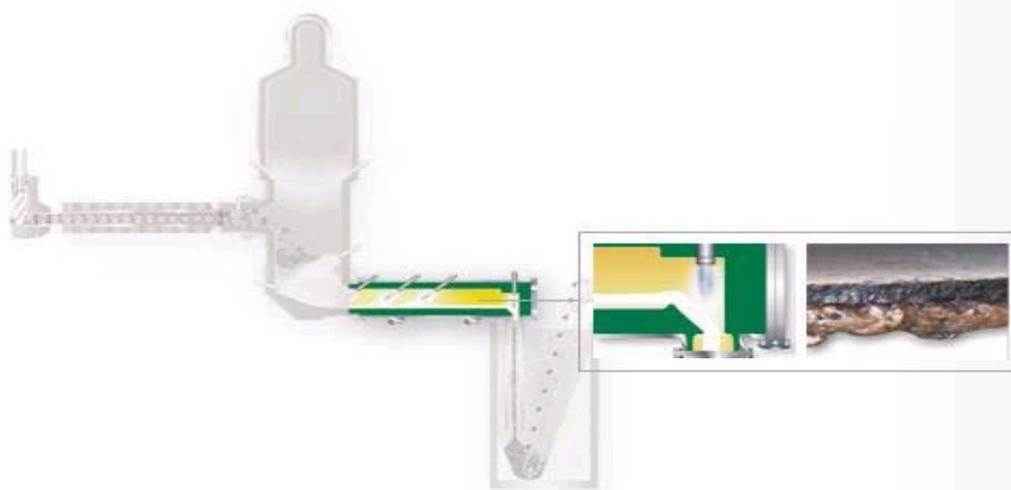
Dioxines, furannes et autres composants organiques sont détruits par craquage à des températures comprises entre 1200°C et 2000°C. On obtient ainsi des molécules inorganiques simples (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HCl, H<sub>2</sub>O).

Toute nouvelle recombinaison chimique est exclue, étant donné que les conditions stables d'équilibre à haute température sont solidifiées par le refroidissement ultra-rapide directement en amont. Les constituants métalliques et minéraux sont lingotés.



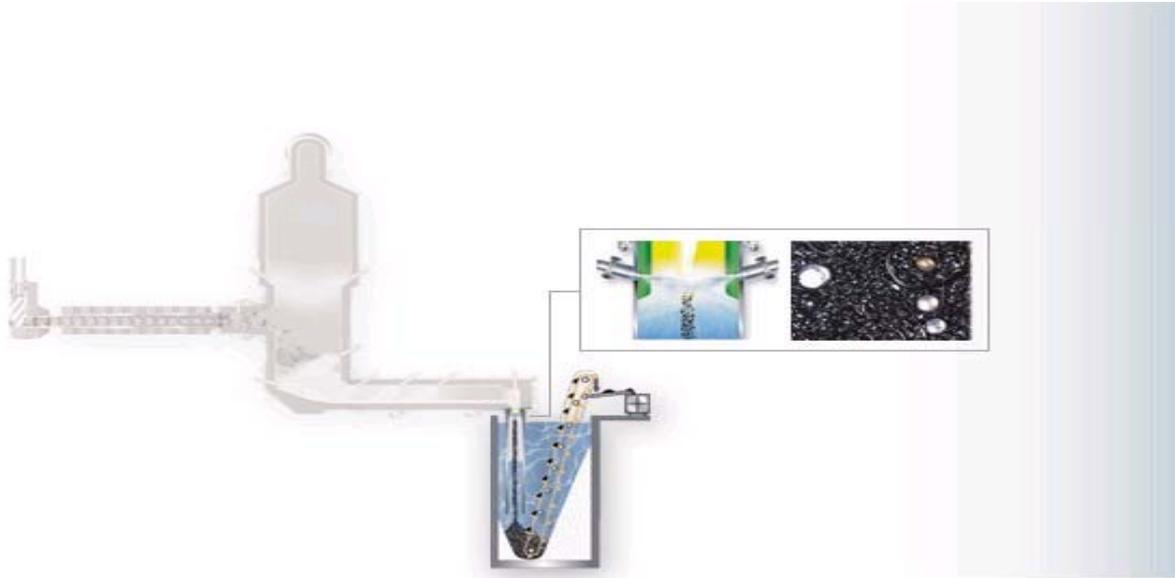
### 3) Réacteur d'homogénéisation :

Par adjonction d'oxygène et de gaz naturel, les constituants métalliques et minéraux fluidifiés sont homogénéisés à une température de 1600°C. Les coulées se séparent en raison de leur densité différente.



#### 4) Refroidissement ultra-rapide :

Sous l'effet du refroidissement ultra-rapide (bain à l'eau), les métaux et les substances minérales se séparent et sont de nouveau disponibles sous forme de matières premières (granulées ou séparées) directement réutilisables par l'industrie sidérurgique ou les BTP.



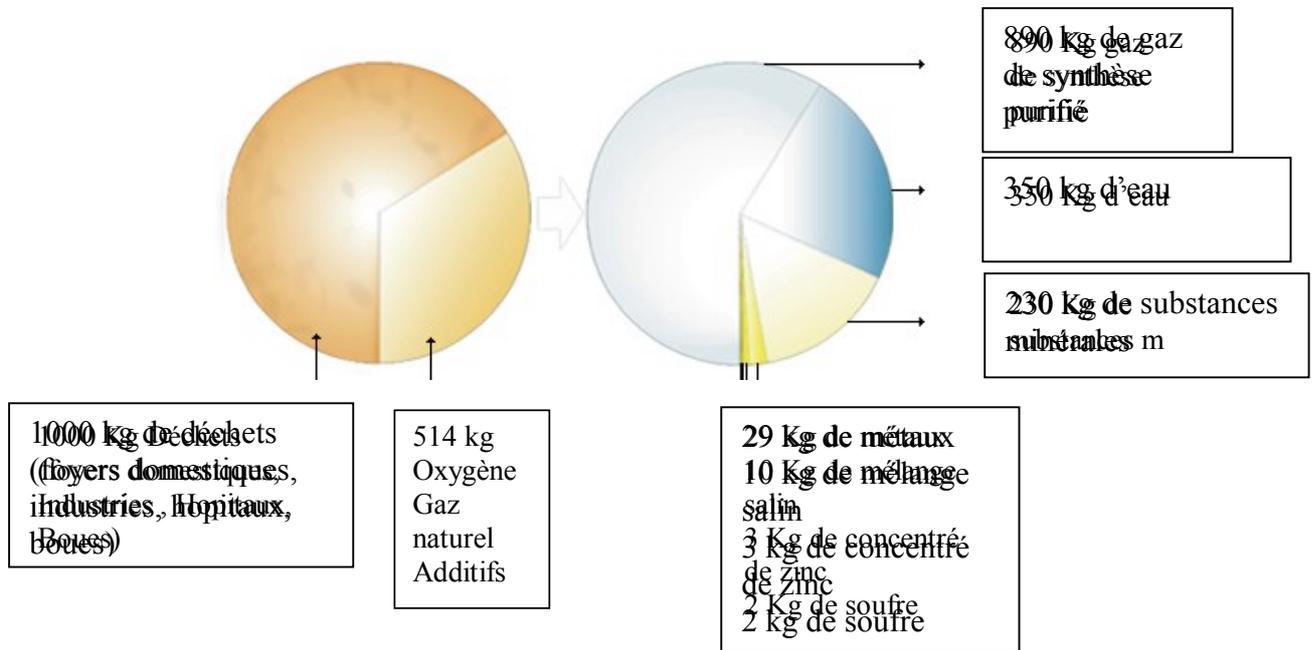
#### Capacité de traitement

La capacité de traitement de l'installation pilote est de 100 t/j. Les installations industrielles ont des capacités de traitement de 300 à 720 t/j.

#### Types de déchets traités

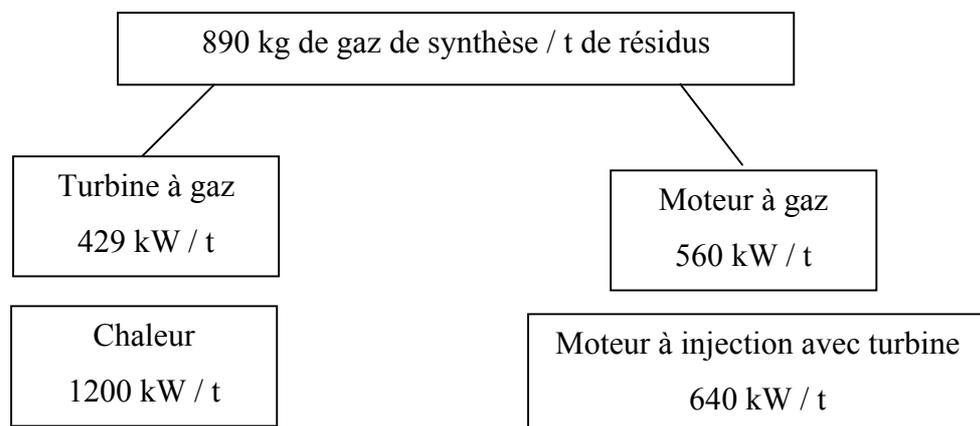
- Déchets foyers domestiques, industries,
- Déchets hospitaliers,
- Boues.

## Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets



## Valorisation

Le gaz de synthèse sert à obtenir de l'énergie et à synthétiser des produits chimiques.



Le gaz de synthèse est utilisé pour obtenir de l'énergie et synthétiser des produits chimiques (il faut noter que ces produits chimiques sont des sous produits de déchets, d'où la difficulté rencontrée en terme de valorisation matière postérieure).

Contrairement à Thermoselect, l'incinération conventionnelle des ordures n'autorise qu'un gain d'énergie. Il se forme des poussières de filtration hautement toxiques, des cendres, des boues et des gaz non ré-utilisables. La synthèse des produits chimiques est impossible dans le procédé d'incinération des déchets.

### **Aspect économique**

Aucune donnée.

### **Unités en fonctionnement**

La société Thermoselect S.A. possède une unité pilote en Italie et des unités industrielles en Allemagne, Japon (en partenariat avec Kawasaki Steel) et Corée du Sud (en partenariat avec Daewoo). D'autres installations de différentes capacités sont planifiées ou en cours de construction en Suisse, aux Etats-Unis et en Allemagne.

## **II.2. KEMESTRIE INC.**

### **Le procédé**

Gazéification en réacteur à lit fluidisé pour valorisation énergétique de résidus organiques (Biosyn).

La biomasse et les résidus constituant la matière première subissent d'abord une étape de conditionnement visant à assurer l'obtention d'un mélange homogène à l'entrée du réacteur et une granulométrie réduite. La matière première pourra être partiellement séchée si le taux d'humidité est trop élevé.

La matière première ainsi conditionnée est acheminée dans l'unité principale, le gazogène, composé de trois sections :

- la grille d'injection,
- le lit fluidisé,
- la zone de désengagement gaz/solides.

L'alimentation se fait dans le lit fluidisé, habituellement composé de sable. L'injection d'air ou d'air enrichi en oxygène à travers la grille provoque la mise en suspension du sable, favorisant ainsi les transferts de masse et de chaleur.

La quantité d'air ou d'air enrichi utilisée dépend de la composition de la biomasse et correspond habituellement à 30 % de la quantité nécessaire pour brûler stoechiométriquement la matière première. La gazéification a lieu à des températures de 700°C à 900°C, selon les caractéristiques physico-chimiques de la matière première.

La composition du gaz obtenu varie en fonction de l'agent de gazéification (air ou air enrichi). Le gaz obtenu est généralement constitué d'azote (de l'ordre de 55 % en volume), de dioxyde de carbone (de l'ordre de 16 % en volume), de monoxyde de carbone (de 12 % à 30 % en volume) et d'hydrogène (de 2 % à 10 % en volume).

Il contient également, en proportions moindres, des hydrocarbures légers, de l'oxygène, des particules solides (cendres volantes), du goudron et certains autres éléments selon le cas. Après séparation des particules solides résiduelles, le goudron et les polluants organiques présents dans le gaz sont ensuite reformés en molécules organiques simples (H<sub>2</sub>).

### **Capacité de traitement**

L'unité pilote du Groupe de Recherche sur les Technologies et Procédés de Conversion (GRTPC) de l'Université de Sherbrooke a une capacité nominale de 50 kg/h. Les unités commerciales pourront traiter de 1 à 5 tonnes de matière première à l'heure.

### **Types de déchets traités**

La technologie est applicable aux résidus organiques de toutes provenances, tels que les déchets urbains triés, la tourbe et la paille, ainsi qu'aux résidus de nombreuses industries, dont celles du bois, du pétrole, du caoutchouc et de l'agroalimentaire.

Il existe toutefois certaines limites :

- les déchets doivent être préalablement triés pour enlever les métaux, le verre et la matière inorganique. Pour conserver un rendement énergétique élevé, il est préférable de maintenir une proportion de matière inorganique inférieure à 10 %.
- le diamètre des particules ne doit pas excéder 2 cm et le taux d'humidité maximal se situe entre 20 % et 25 % (en poids).
- dans le cas de biomasse à haut pouvoir calorifique, l'humidité peut atteindre entre 30% et 40 %.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

Les résidus solides sont des cendres inertes qui peuvent être recyclées ou éliminées. Il n'y a aucun effluent liquide, à l'exception des eaux de lavage du gaz. Au besoin, pour répondre aux exigences gouvernementales, ces eaux de lavage sont aussi traitées avant leur rejet.

### **Valorisation**

Le gaz de synthèse peut alors être valorisé énergétiquement des façons suivantes :

- brûlé tel quel ou mélangé avec du gaz naturel et cocrûlé dans des chaudières commerciales pour la production de chaleur (vapeur) ;
- utilisé comme carburant, tel quel ou avec du gaz naturel, dans des moteurs diesel pour la production d'énergie électrique ;
- utilisé comme carburant, tel quel ou avec du gaz naturel, dans des turbines à gaz pour la production d'énergie électrique, ou en cycle combiné (cogénération) pour la production de vapeur et d'énergie électrique.

### **Aspect économique**

Coût d'investissement (avec système de production d'énergie) : 500 à 2200 €/kW installé.

Coût de fonctionnement (Unité 5000 kW, 24h/24h, Equipe de 8 à 12 pers) : 0,02 à 0,03 €/kWh thermique produit [7].

La taille de l'unité, la capacité de traitement, la nature des matières à traiter et le mode de valorisation énergétique du gaz choisi déterminent le coût d'achat et d'installation d'un système de gazéification de biomasse en réacteur à lit fluidisé.

### **Unités en fonctionnement**

Outre l'unité pilote Biosyn en fonctionnement à l'Université de Sherbrooke, une unité de démonstration se trouve au centre de recherches de la compagnie Alcan à Arvida (Québec). Une autre unité fonctionne également en Espagne (Castellan).

## II.3. AUTRES

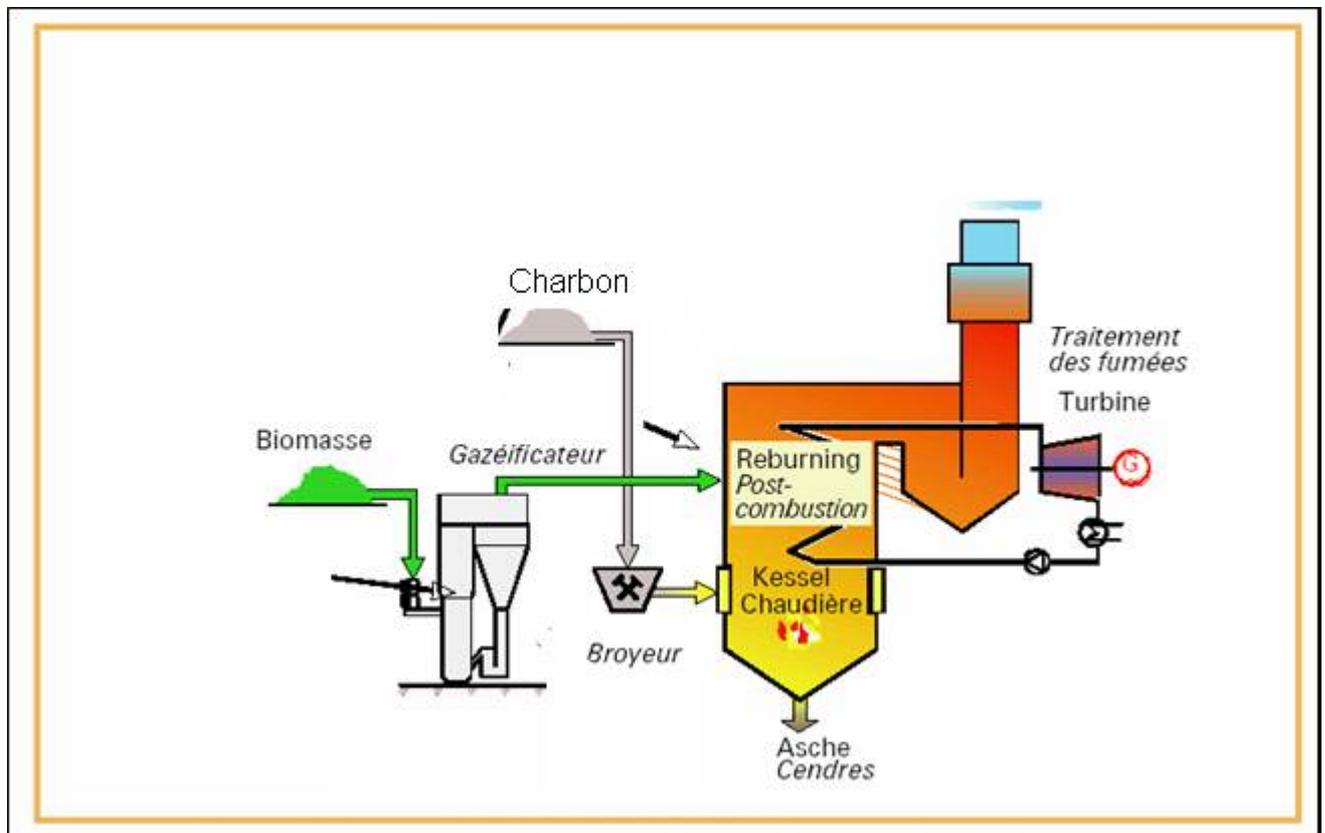
Plusieurs noms de procédés sont également associés à la pyrolyse/gazéification, nous citerons notamment :

### 1) Procédé LURGI – SWS / LCF (Lurgi Circulated Fluidised-bed)

Le procédé Lurgi à lit fluidisé circulant a été développé pour traiter des déchets municipaux, de la biomasse (déchets du bois), du charbon et des résidus pétroliers. La capacité du procédé est de 6500 kg/h. Le réacteur de gazéification fonctionne à  $T = 800^{\circ}\text{C}$  et à pression atmosphérique. Les déchets sont d'abord séchés à 10% d'humidité dans un sécheur rotatif puis gazéifiés à l'air dans un réacteur à lit fluidisé circulant. Le gaz produit a un PCI d'environ 4 à 6  $\text{MJ}/\text{m}^3$  et se compose en moyenne de :  $\text{H}_2$  : 20,2%,  $\text{CO}$  : 19,6%,  $\text{CO}_2$  : 13,5%, le reste étant majoritairement de l'azote  $\text{N}_2$ .

Des applications de gazéification de la biomasse selon ce procédé fonctionnent actuellement notamment une unité depuis 1997 qui est rattaché à la centrale électrique à charbon de Zeltweg (Autriche). La gazéification de la biomasse produit des gaz qui sont brûlés dans la chaudière à charbon. Cette gazéification de la biomasse sur site de production d'énergie produit 10  $\text{MW}_{\text{th}}$  pour la centrale à charbon de Zeltweg qui produit elle 137  $\text{MW}_{\text{el}}$ . [17].

Exemple de la gazéification de la biomasse (projet Biococomb)



## 2) Procédé LURGI - LR

C'est un procédé développé par Lurgi pour des charbons et des lignites. Il est exploité industriellement pour des sables et des résidus de raffinage [8].

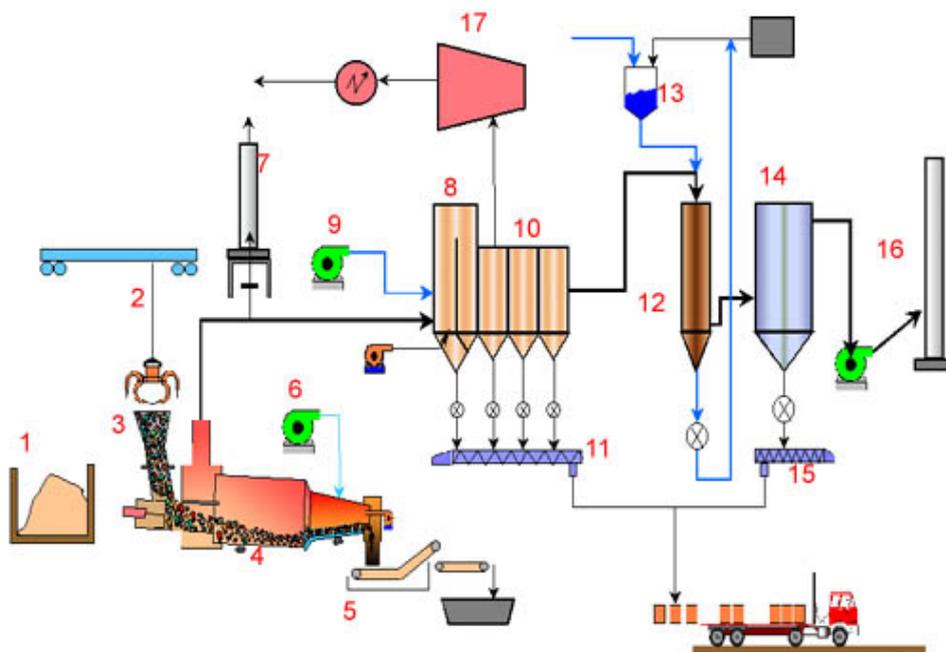
Northumbrian Water, la filiale anglaise de Lyonnaise des Eaux a initié avec Lurgi un projet de démonstration de ce procédé pour le traitement de 5t/h de boues séchées à l'usine de Bran-Sands. Cette usine produit actuellement 50 000 t de MS par an et sa capacité est en cours de doublement.

## 3) Procédé PIT Pyroflam

Le procédé P.I.T. Pyroflam, développé au départ par la société industrielle française Serpac Environnement, est un procédé de pyrolyse-gazéification permettant de valoriser et de convertir en énergie divers types de déchets solides, dont les déchets urbains, déchets industriels, boues, déchets animaux et de viande. BS Engineering S.A. a acquis le brevet, la licence d'utilisation du procédé P.I.T. Pyroflam, ainsi que le nom de Serpac Environnement, en juillet 1999.

Le procédé de pyrolyse P.I.T. Pyroflam consiste à chauffer une charge hydrocarbonée, sans apport d'oxygène, à une température assez basse (entre 450° et 750° C). Ce traitement thermique permet d'éliminer les matières organiques et de produire des gaz issus de la thermolyse, ainsi qu'une matière solide à haute teneur en carbone, qui est ensuite transformée en gaz combustible par pyrolyse.

Références : Une usine de 1t/h traitant des déchets ménagers et industriels a été installée en Hongrie [18].



1 = fosse ; 2 = pont à grappin ; 3 = trémie d'alimentation ; 4 = pyrolyseur ; 5 = extracteur des résidus solides valorisables ; 6 = ventilateur d'air de process ; 7 = cheminée de secours ; 8 = chambre de post-combustion ; 9 = ventilateur d'air de combustion ; 10 = chaudière de récupération ; 11 = récupération des cendres sous chaudière ; 12 = réacteur de neutralisation des fumées ; 13 = préparation des réactifs de neutralisation ; 14 = filtre à manches ; 15 = récupération des résidus des fumées ; 16 = cheminée ; 17 = turbo-alternateur ;

#### **4) Procédé DISMO**

Le procédé est développé par la société ITEA, qui possède un démonstrateur de 100 kg/h et qui a mis en service une unité industrielle, de capacité de 750 kg/h, à Bologne. Cette unité fonctionne à des températures de l'ordre de 3000°C. Un système de jet gazeux limite la température des parois à 600°C. Le procédé permet le traitement de "tous types d'effluents" [12].

Coût d'investissement d'une unité 750 kg/h : 3 M€,

Coût de traitement : 500 €/t,

Coût du kWh produit : aucune donnée.

#### **5) Procédé XYLOWATT**

Développé par Xylowatt SA (Suisse), le procédé XYLOWATT est un procédé de gazéification principalement utilisé pour la biomasse et les déchets du bois. Le combustible bois est stocké dans un silo qui assure l'autonomie de l'installation. Il peut intégrer le séchage du bois si son humidité est supérieure à 20%. Le bois alimente le gazogène qui le transforme en gaz combustible. Le gaz produit est ensuite refroidi et traité dans un laveur avant d'être brûlé dans le moteur du groupe de cogénération. Aucune référence d'unités mentionnées spécialisées dans le traitement des déchets [19].

#### **6) Procédé MARTEZO**

MARTEZO est une société française qui développe le générateur à gaz MARTEZO pour transformer le bois, ou certains déchets végétaux en un gaz propre qui peut être utilisé pour alimenter des moteurs à poste fixe. Aucune référence d'unités mentionnées spécialisées dans le traitement des déchets [20].

### **III. CONCLUSION**

La pyrolyse-gazéification des déchets a été développée aux Etats-Unis dans les années 1970 consécutivement à la crise pétrolière.

La pyrolyse-gazéification appliquée au traitement des déchets apparaît comme plus avancée que la pyrolyse ou la thermolyse. Les systèmes de pyrolyse-gazéification sont à un stade commercial de développement. Elles sont en général appliquées aux déchets de la biomasse et du bois. Notamment dans l'association à des centrales thermiques à charbon où le gaz, produit par la gazéification de la biomasse, est brûlé dans la chambre de combustion.

En ce qui concerne les limitations techniques du procédé, elles concernent principalement l'utilisation qui est faite du gaz combustible produit. Si ce gaz est directement brûlé dans un four, le gaz sera épuré par des cyclones et le four devra tolérer les fluctuations de PCI du gazéificateur. Si le gaz est brûlé dans des turbines pour produire de l'électricité, les spécifications de pureté induisent un prétraitement important (filtration, craquage, lavage).

Il y a peu de données accessibles sur les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation.

# L'OXYDATION HYDROTHERMALE

## I. GENERALITES

L'oxydation hydrothermale correspond à un terme générique de minéralisation de la matière organique, en milieu aqueux et en présence d'oxygène, qu'elle convertit exclusivement en gaz carbonique et en eau. Ce procédé traite des charges organiques en milieux aqueux comprises entre 20 et 150 g/l.

Deux grandes familles sont à différencier :

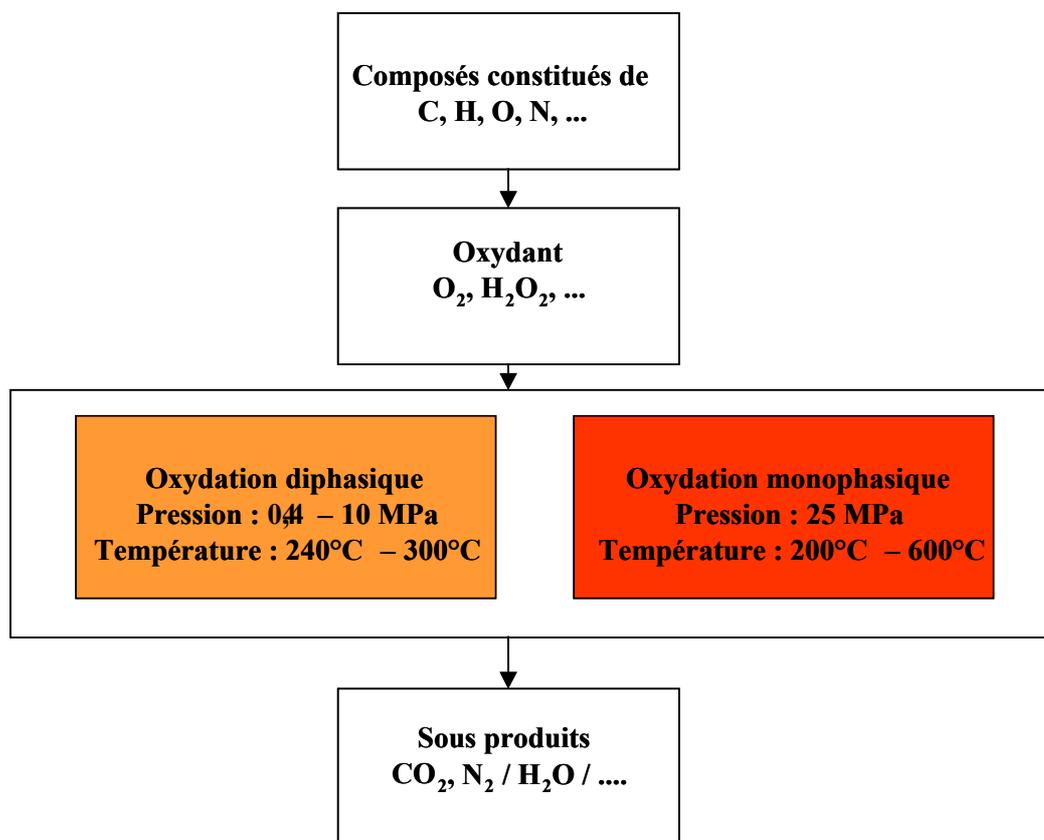
- 1) L'oxydation hydrothermale diphasique ( $P < 15$  MPa et  $T < 300^{\circ}\text{C}$ ). Dans ces conditions, le mélange eau-oxygène est diphasique (équilibre gaz-liquide). Du point de vue réactionnel, le facteur limitant correspond à la diffusion de l'oxygène dans le milieu réactionnel ce qui conduit à des temps de séjour de l'ordre de l'heure pour un abattement de la charge organique de l'ordre de 90%. Par ailleurs, la matière organique est peu soluble et peu se trouver en suspension dans le milieu.
- 2) L'oxydation hydrothermale monophasique ( $P \cong 25$  MPa et  $200^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C}$ ). Dans ces conditions, le mélange eau-oxygène est homogène ce qui conduit à des temps de séjours inférieurs à la minute pour un abattement de la charge organique supérieure à 99%. Par ailleurs, la matière organique devient miscible dans le milieu réactionnel, par contre la matière inorganique devient non-miscible.

Ces solutions technologiques se positionnent sur le marché du traitement thermique des déchets avec des avantages notables du point de vue :

- des coûts :
  - o traitement sur site ;
  - o pas de traitement de fumée (oxydation en phase condensée) ;
  - o adaptation de l'unité au volume de déchets généré ;
- de l'énergie : fonctionnement autogène en énergie du procédé ;
- de l'environnement :
  - o pas de transfert de pollution ;
  - o pas de fumée ;
  - o pas de sous produits toxiques ;
  - o pas de cendres volantes.

La présence d'éléments chlorés ou soufrés, dans les boues initiales, conduit à la production d'acides minéraux entièrement dissous dans la phase liquide et neutralisés en sels inorganiques.

Le schéma de principe est reporté ci-après :



Déchets ciblés :

- Déchets aqueux de synthèse et autres opérations de chimie organique,
- Déchets de traitement de dépollution et de préparation d'eau,
- Boues d'apprêt et de travail des matériaux,
- Déchets liquides huileux,
- Solvants en phase aqueuse,
- Déchets de peinture, vernis, colle, mastic, encre.

Le cahier des charges suivant permet de classer par différents critères ou propriétés les types de déchets qui peuvent être traités par le procédé d'oxydation hydrothermale (Rapport HOO).

Critères		
Physico-Chimiques	- Siccité ou Matières Sèches ( <b>MS en kg/kg de déchet</b> )	1% < MS < 15%
	- Matières organiques ( <b>MO en g/l de déchet</b> )	Entrant dans le réacteur 10 < DCO < 100 g/l
	- Matières inorganiques (salinité) ( <b>MI en g/l de déchet</b> )	1 < MI < 40 g/l
	- Matières en suspension ( <b>MES en g/l</b> )	liquide pompable taille des particules <500 µm sédimentation < 5m/h
	- Déchet polyphasique (émulsion ...)	émulsion stable et /ou agitée
	- Chlore (en mg/l) corrosion et matériau du réacteur	0 < [Cl <sup>-</sup> ] < 1 g/l (Inconel)
	- Nature des molécules organiques	Pas de limitations
- pH	Pas de limitations si préneutralisation des effluents à NaOH	

#### Sous produits issus de l'oxydation

##### ✓ Oxydation hydrothermale diphasique

- Gaz : pas de combustible secondaire
- Liquide : pas de combustible ; résidus : i) acides minéraux correspondants aux hétéroatomes initialement présents dans l'effluent ; ii) charge organique.
- Solide : pas de combustible secondaire ; résidus : i) charge minérale; ii) charge organique.

##### ✓ Oxydation hydrothermale monophasique

- Gaz : pas de combustible secondaire ;

- Liquide : pas de combustible ; résidus : acides minéraux correspondants aux hétéroatomes initialement présents dans l'effluent ;
- Solide : pas de combustible secondaire ; résidus : charge minérale ;
- Génération de vapeur.

#### Impact environnemental

Les installations sont compactes et il n'y a pas de traitement des fumées car le traitement se fait intégralement en phase condensée. Le procédé ne nécessite pas un apport d'énergie pour évaporer l'eau contenue dans les déchets puisque le traitement se fait au cœur de la phase liquide.

#### ✓ **Oxydation hydrothermale diphasique**

- Rejet de la phase gaz : en milieu naturel après post-traitement ;
- Rejet de la phase liquide : en milieu naturel après post-traitement (dans le cas du traitement des boues issues du traitement de l'eau, l'effluent est renvoyé en tête de station) ;
- Rejets solides : recherche de solutions de type valorisation matière ;
- Consommation d'énergie : bilan global nul.

#### ✓ **Oxydation hydrothermale monophasique**

- Rejet de la phase gaz : en milieu naturel sans post-traitement ;
- Rejet de la phase liquide : en milieu naturel (après neutralisation si nécessaire) ;
- Rejets solides : recherche de solutions de type valorisation matière ;
- Consommation d'énergie : bilan global nul, voire production d'énergie.

#### Cadre économique et réglementaire

##### ✓ **Oxydation hydrothermale diphasique**

OTV

Coûts d'investissement : aucune donnée.

Coûts de fonctionnement : aucune donnée.

Ondéo-Degremont

Coûts d'investissement d'une unité 2 à 3 m<sup>3</sup>/h soit 50 000 à 100 000 eq/hab : 3 à 4 M€ ;

Coûts de fonctionnement : 23 €/m<sup>3</sup>.

##### ✓ **Oxydation hydrothermale monophasique**

HOO (coûts visés)

Coûts d'investissement d'une unité de 1 m<sup>3</sup>/h : 2,3 M€ ;

Coûts de fonctionnement : 80 €/m<sup>3</sup> d'effluent.

Shinko Pantec (Brevet Chematür) – Informations demandées

Coûts d'investissement d'une unité de 1,3 m<sup>3</sup>/h : 3 M€ ;

Coûts de fonctionnement : 100 €/m<sup>3</sup> d'effluent.

Concernant ces installations, il n'y a pas aujourd'hui de réglementation spécifique, cela nécessite une négociation au cas par cas avec les représentants de l'état. Un groupe de travail, sous la direction de l'ADEME et avec les principaux acteurs du secteur, prépare un guide qui spécifiera les caractéristiques réglementaires de ces installations.

## **II. SPECIALISTES DU DOMAINE**

### **OXYDATION HYDROTHERMALE DIPHASIQUE**

#### **A. Sociétés**

✓ **Ondéo - Degremont (Granit)**

M. Coconnier  
183, avenue du 18 juin 1940  
92508 Rueil-Malmaison, France  
Tél : 01 46 25 60 00  
Fax : 01 46 25 68 51  
E.mail : patrice.coconnier.@degremont.com

✓ **OTV - Zimpro - Vivendi Environnement**

Didier Cretenot  
Immeuble Aquarène Place Montgolfier  
94417 St Maurice, France  
Tél : 01 45 11 58 04  
Fax : 01 45 11 58 10  
E.mail : didier.cretenot@otv.fr

✓ **Thales EC**

M. Guignier  
25, rue du pont des halles  
94 666 Rungis  
Tél : 01 56 30 66 44  
Fax : 01 56 30 66 05  
E.mail : antoine.guignier@thales-ec.com

#### **B. Laboratoires**

✓ **INSA Toulouse :**

Hubert de Bellefontaine  
Complexe de Rangueil  
31077 – Toulouse  
Tél : 05 61 55 97 61  
Fax : 05 61 55 97 60  
E.mail : debelle@insatlse.insa-tlse.fr

# OXYDATION HYDROTHERMALE MONOPHASIQUE

## A. Sociétés

### ✓ **Chematür Engineering**

Lars Tidlund  
Box 430  
69127 – Karskoga, Suède  
<http://www.chematur.se>  
Rprésentant français : Ste Pecsie  
Guy Prévot – 62 rue Jeanne d'Arc – 75641 Paris, Cedex 13

### ✓ **HOO**

Manuel Bottreau  
2 allée Georges Brus  
33600 Pessac , France  
Mail : [hoo@wanadoo.fr](mailto:hoo@wanadoo.fr)  
<http://www.hoo-ingenierie.fr>

### ✓ **Hydroproessing**

James Griffith  
3201 Longhorn Blvd Suite  
78758 - Austin, Texas, USA  
<http://www.hydroprocesssing.com>

### ✓ **IHI**

Kouichi Makino  
2-1, Ohtemachi 2-Chome  
Chiyoda-Ku, Tokyo 100-8182, Japon  
<http://www.ihico.jp>

### ✓ **Kobe Steel**

Ryuichi Fukuzato  
Nissei Higobashi Building  
6-14, 1-Chome, Edobori, Nishi-ku  
Osaka, 550-0002, Japon  
<http://www.kobelco.co.jp>

### ✓ **Organo Corporation**

Akira Suzuki  
4-9 Kawaagishi 1-Chome  
Toda City, Saitama Pref, 335-0015, Japon  
<http://www.organo.co.jp>

### ✓ **Shinko Pantec**

Kazu Takada  
164, 1-Chome, Murotani, Nishi-ku  
Kobe, 651-2241, Japon  
<http://www.pantec.co.jp>

## **B. Laboratoire**

### **✓ ICMCB**

François Cansell

87 avenue du Dr Schweitzer

33608 Pessac, Cedex, France

E.mail : [cansell@icmcb.u-bordeaux.fr](mailto:cansell@icmcb.u-bordeaux.fr)

### **III. OXYDATION HYDROTHERMALE DIPHASIQUE**

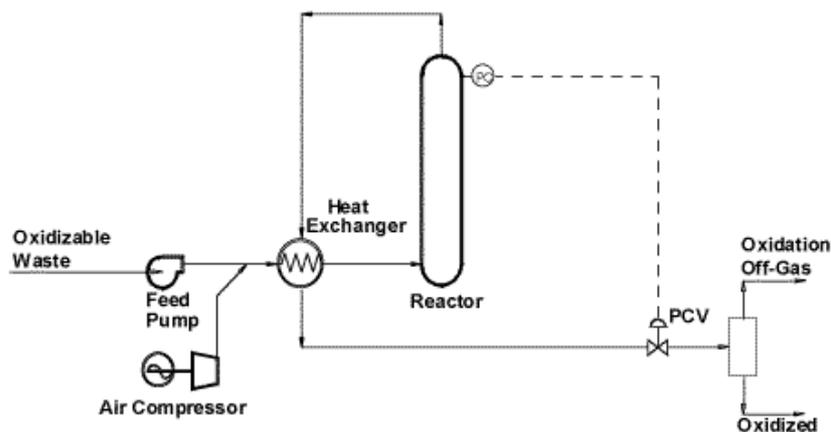
#### **III.1. PROCEDE ZIMPRO – VIVENDI ENVIRONNEMENT**

Le procédé ZIMPRO est commercialisé par la société US Filter (société du groupe Vivendi Environnement depuis 1999). Elle emploie 15 500 personnes en Amérique du Nord et est spécialisée dans le traitement de l'eau et des déchets.

Le procédé Zimpro a connu un développement commercial à partir des années 60 aux Etats-Unis (Chicago) ainsi qu'en Europe (Royaume-Uni, Pays-Bas). Ce procédé permet le traitement des boues ainsi que le traitement des effluents industriels.

##### **Le procédé**

Le procédé consiste à oxyder les composants solubles ou en suspension en milieu aqueux par l'apport d'oxygène comme agent oxydant. Ce procédé peut être utilisé avec l'air comme source d'oxygène.



*Schéma de principe*

##### **Capacité de traitement**

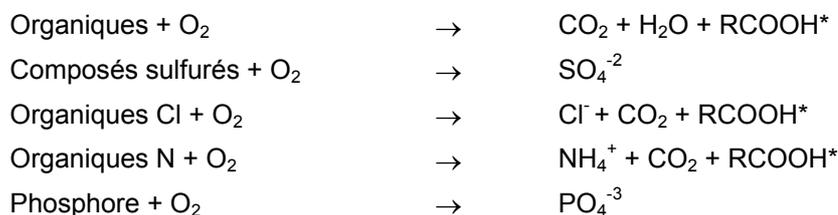
La capacité de traitement moyenne pour des unités types est comprise entre 1 et 45 m<sup>3</sup>/h pour des déchets ayant des DCO comprises entre 10 et 100 g/l.

##### **Types de déchets traités**

- Effluents issus d'industries pétrochimiques ;
- Boues ;
- Eaux usées industrielles.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets**

L'oxydation hydrothermale diphasique met en jeu, suivant le déchet traité, une ou plusieurs des réactions suivantes :



L'oxydation permet d'éliminer la toxicité de l'effluent, de réduire de façon significative sa DCO (Demande Chimique en Oxygène) et d'obtenir des résidus organiques biodégradables. Les rejets gazeux sont très peu chargés en NOx et SO<sub>2</sub>.

### **Unités en fonctionnement**

Plus de 110 unités d'oxydation hydrothermale diphasique sont en fonctionnement, essentiellement, pour le traitement des eaux usées et des boues.

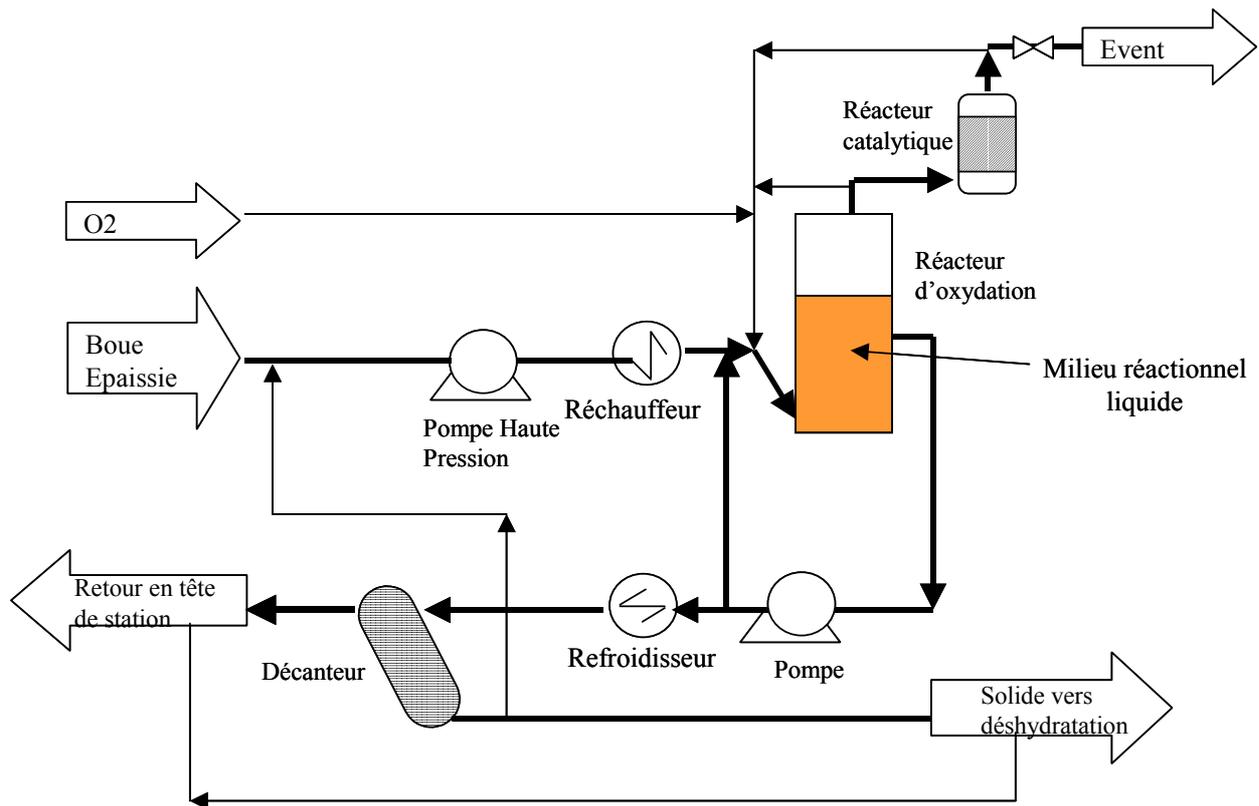
Une cinquantaine d'installation sur le procédé Zimpro depuis 25 ans et de nombreuses références industrielles.

## III.2. PROCÉDE ATHOS – OTV – VIVENDI ENVIRONNEMENT

### Le procédé

Le principe du procédé ATHOS fonctionne dans la gamme 230-250°C pour des pressions comprises entre 4,5 et 5 MPa. L'oxydant est de l'oxygène pur injecté dans un réacteur à séparation de phase (un ciel gazeux de réacteur – une phase liquide) (Rapport ICMCB – visite 1998).

Le temps de séjour est de l'ordre de 1 heure pour un abattement de 80% en moyenne sur la DCO.



*Schéma de principe du procédé ATHOS*

L'objectif de ce procédé est d'oxyder ce qui n'est pas dégradé biologiquement. Il doit donc être couplé à une station de traitement biologique.

### Capacité de traitement

L'unité installée depuis 1998 sur la station de Ginestous (Toulouse) a une capacité de 3 m<sup>3</sup>/h soit une capacité de 40 000 à 50 000 Eq.Hab..

### Types de déchets traités

Boue de la station d'épuration à 40 g/l de MS et une DCO de l'ordre de 40 à 80 g/l.

## **Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets**

### **Phase gaz :**

un débit total de gaz (sec) de 1 000 Nm<sup>3</sup>/t<sub>MS</sub> composé de :

- CO<sub>2</sub> : 190 Nm<sup>3</sup>/t<sub>MS</sub>
- H<sub>2</sub>O : 750 Nm<sup>3</sup>/t<sub>MS</sub>
- N<sub>2</sub> : 20 Nm<sup>3</sup>/t<sub>MS</sub>
- O<sub>2</sub> : 40 Nm<sup>3</sup>/t<sub>MS</sub>
- Dioxine : < 30 pg/ Nm<sup>3</sup>
- NO<sub>x</sub> : 0,1 mg/ Nm<sup>3</sup>

### **Phase liquide :**

La phase liquide est riche en ammoniac dissous et en dioxyde de carbone. Le taux de conversion sur la DCO est de l'ordre de 80%, ce qui explique une DCO encore assez élevée dans le liquide de l'ordre de 10 à 20 g/l mais contenant des composés organiques biodégradables (acide acétique, alcools gras ...). La phase liquide est renvoyée en tête de station.

### **Phase solide :**

Les solides issus du décanteur ont une faible charge organique (COT sur lixiviat < 900mg) et sont déshydratés sur filtre presse pour être ensuite envoyés en incinération.

## **Valorisation**

OTV travaille aujourd'hui sur le résidu solide minéral, qui est composé de quartz, d'alumine, de calcite et de phosphate de calcium. Ce résidu solide est un sable qui serait plus apte au génie civil que les cendres et mâchefers.

## **Aspect économique**

Aucune donnée.

## **Aspect réglementaire**

L'unité de Ginestous n'est pas classée ICPE car elle traite des boues de STEP sur site et le résidu liquide est renvoyé en tête de station.

## **Unités en fonctionnement**

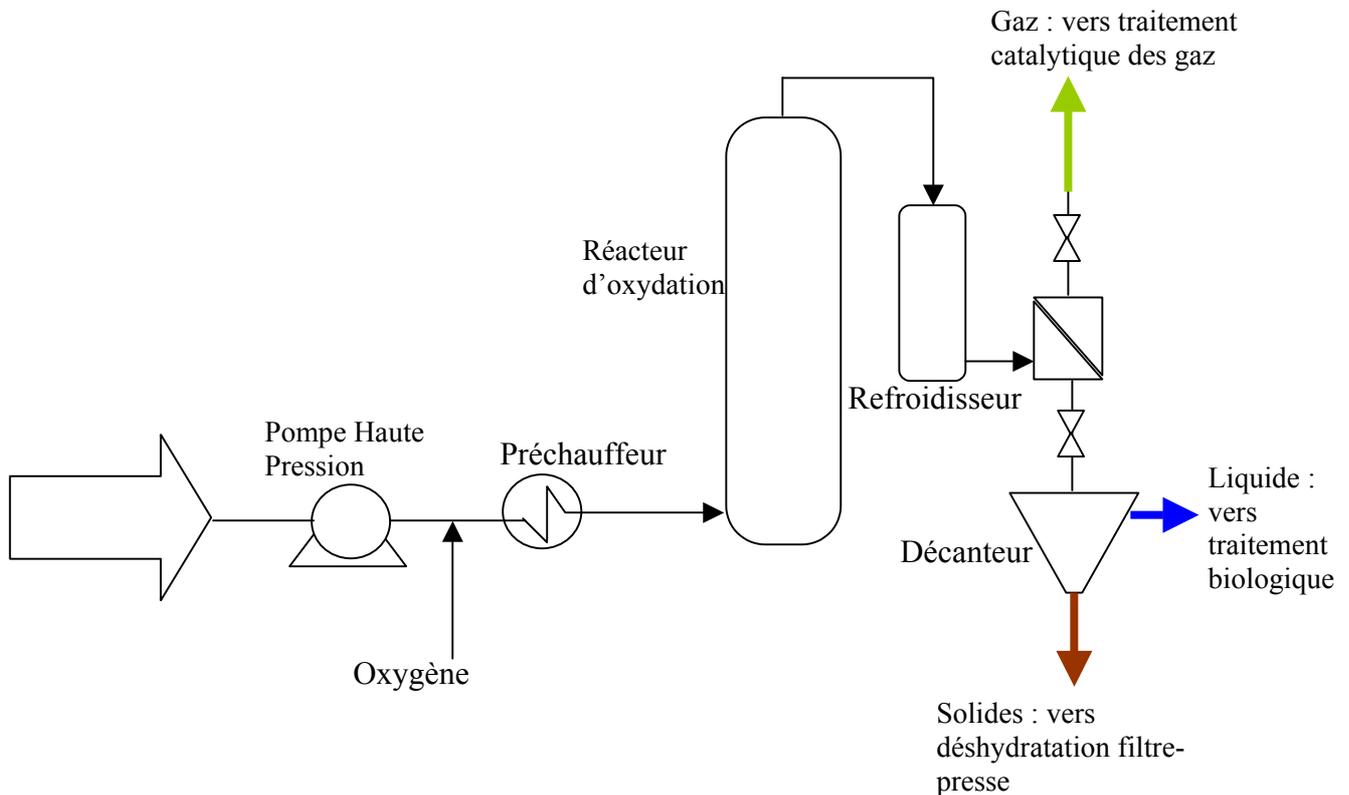
- Unité pilote installée depuis 1998 sur la station de Ginestous (Toulouse) de 3 m<sup>3</sup>/h.
- Unité industrielle est prévue à Bruxelles pour le traitement des boues de station d'épuration d'eaux urbaines. Cette unité comportera 2 lignes de 12 m<sup>3</sup>/h, soit une capacité de traitement de 1 M d'Eq.Hab. La fin de sa construction est prévue pour 2005.

### III.3. PROCÉDE MINERALIS – ONDEO DEGREMONT (GRANIT)

#### Le procédé

Il s'agit d'une oxydation à l'oxygène pur sous pression (7 – 10 MPa) et sous température (270 à 300°C) en milieu liquide. La réaction est exothermique et peut être valorisée comme utilité (eau chaude) pour préchauffer le déchet.

Le temps de séjour est de 30 min pour 80 à 90% d'abattement sur la DCO.



*Schéma de principe MINERALIS – ONDEO DEGREMONT*

L'objectif de ce procédé est d'oxyder ce qui n'est pas dégradé biologiquement, comme le procédé précédent. Il est donc généralement couplé à une station de traitement biologique.

#### Capacité de traitement

L'unité située en Suisse à Orbe a une capacité de 0,5 m<sup>3</sup>/h soit une capacité de traitement de 15 000 Eq.Hab..

#### Types de déchets traités

Principalement des boues de station d'épuration d'eaux urbaines avec une DCO initiale comprise entre 20 et 100 g/l.

## **Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets**

### **Phase gaz :**

Aucune donnée.

### **Phase liquide :**

DCO de 10 à 20 g/l rejetée en tête de station après traitement éventuel de la charge azotée ammoniacale par voie biologique ou physicochimique.

### **Phase solide :**

Extrait majoritairement minéral aujourd'hui stocké en CET (siccité > 55% ; COT < 3% de la matière sèche).

## **Valorisation**

Valorisation matière des solides inertes envisagée dans le génie civil.

## **Aspect économique**

Coûts d'investissement d'une unité de 3 m<sup>3</sup>/h soit 50 000 eq/hab : 3 à 4 M€.

Coûts de fonctionnement : 23 €/m<sup>3</sup>.

## **Aspect réglementaire**

Aucune donnée.

## **Unités en fonctionnement**

- Une unité de 0,5 m<sup>3</sup>/h développée par Granit – Ondéo Degrémont. Cette unité est localisée sur l'usine de traitement de l'eau d'Orbe (Suisse) et traite des boues de STEP.

- Une unité de 25 m<sup>3</sup>/h développée par Ciba. Cette unité est localisée sur l'usine CIMO (ex Ciba-Novartis) à Monthey (Suisse). Cette unité utilise depuis 1988 le procédé à l'origine de Mineralis pour traiter des effluents fortement chargés en chlorures et en DCO dure.

### **III.4. CIBA GEIGY**

Compte rendu de la visite de l'installation industrielle d'oxydation souscritique de la société CIBA GEIGY en mars 1998 à Grenzach (Allemagne) (Rapport ICMCB-APESA).

CIBA GEIGY est implantée notamment sur les sites de Bâle et Monthey (Suisse) et Grenzach (Allemagne). Ces deux derniers sites possèdent une unité d'oxydation hydrothermale diphasique depuis 1988 et 1990.

#### **Le procédé**

Le procédé CIBA GEIGY est sensiblement identique à ceux précédemment décrits. Le réacteur est une colonne à bulle avec des baffles internes de mélange (colonne de 40m et de 1m de diamètre interne environ). Le temps de séjour est de l'ordre de 2 heures à une pression de 15 MPa et une température de 290°C. Un système de récupération de chaleur de réaction est réalisé par une batterie d'échangeur thermosiphon. L'oxydant utilisé est l'air. Les déchets sont stockés et préparés dans une cuve de 500 m<sup>3</sup>.

#### **Capacité de traitement**

L'unité fonctionnant sur Grenzach a une capacité de traitement de 15 m<sup>3</sup>/h. Elle fonctionne en continu et est arrêtée tous les 18 mois pour l'entretien.

#### **Types de déchets traités**

Plusieurs flux sortant des ateliers de l'usine de CIBA GEIGY :

- flux sortant d'une osmose inverse,
- flux d'une extraction du xylène – tri méthylamine.

Caractéristiques :

- COT initial : 25 à 30 g/l,
- [Cl<sup>-</sup>] : 50 g/l,
- Présence d'azote en quantité importante.

#### **Résidus secondaires - Sous produits formés – Rejets**

Phase gaz : Traitement catalytique du CO.

Phases solide / liquide : les liquides et solides sont filtrés puis rejetés en station de traitement biologique.

#### **Valorisation**

Une partie du flux liquide est traitée pour obtenir une valorisation matière (ammoniac à 25%).

#### **Aspect économique**

Coûts d'investissement : 30 M€ ;

Coûts de fonctionnement : 64 à 127 €/m<sup>3</sup>.

#### **Aspect réglementaire**

Aucune donnée.

## **IV. OXYDATION HYDROTHERMALE MONOPHASIQUE**

### **IV.1. CHEMATÜR ENGINEERING USA -AUSTIN (HUNSTAMNN – UNIVERSITE DU TEXAS)**

Compte rendu de la visite de l'installation industrielle d'oxydation supercritique du groupe Huntsmann à Austin (Etats-Unis) ainsi que du pilote de l'Université du Texas lors d'une mission d'évaluation du développement du procédé d'oxydation hydrothermale aux USA, en novembre 1997 (Rapport ICMCB-APESA).

Ces pilotes ont été réalisés par Eco Waste Technologies (EWT) qui est une société de 10 personnes, filiale à 100% du groupe RPC (200 M\$ de CA, 13 M\$ de bénéfice net, 1700 personnes). L'activité de EWT est centrée uniquement sur le traitement d'effluents par oxydation hydrothermale monophasique. EWT a été rachetée par Chematür Engineering en 1998.

La société réalise le suivi de l'unité industrielle d'oxydation supercritique d'Huntsmann (ex TEXACO) démarrée en 1994. Elle réalise également des études de faisabilité sur un pilote situé à l'Université du Texas.

#### **Le procédé – Unité Huntsmann**

Les déchets sont mélangés et stockés dans un réservoir de 80 m<sup>3</sup> en tête du procédé. La composition de ce réservoir est analysée avant traitement.

L'installation industrielle traite un effluent aqueux contenant 4% de composés organiques avec un point d'injection oxydant à l'entrée du réacteur.

Le réacteur de type tubulaire est dimensionné pour fonctionner jusqu'à 520°C et 27 MPa et les effluents liquides traités sont rejetés dans les égouts municipaux. Un contrôle discontinu du monoxyde de carbone dans la phase gaz permet de suivre l'efficacité de la combustion et le rejet des effluents gazeux en milieu naturel.

Le schéma de principe est reporté ci-après.

#### **Capacité de traitement**

**Pilote de l'Université du Texas :**

Capacité : 250 kg/h

Fonctionnement : 100 j/an

**Unité industrielle Huntsmann :**

Capacité : 1 m<sup>3</sup>/h

Fonctionnement : 24 / 24 h du lundi au vendredi

Temps de mise en régime et temps d'arrêt : 3 heures

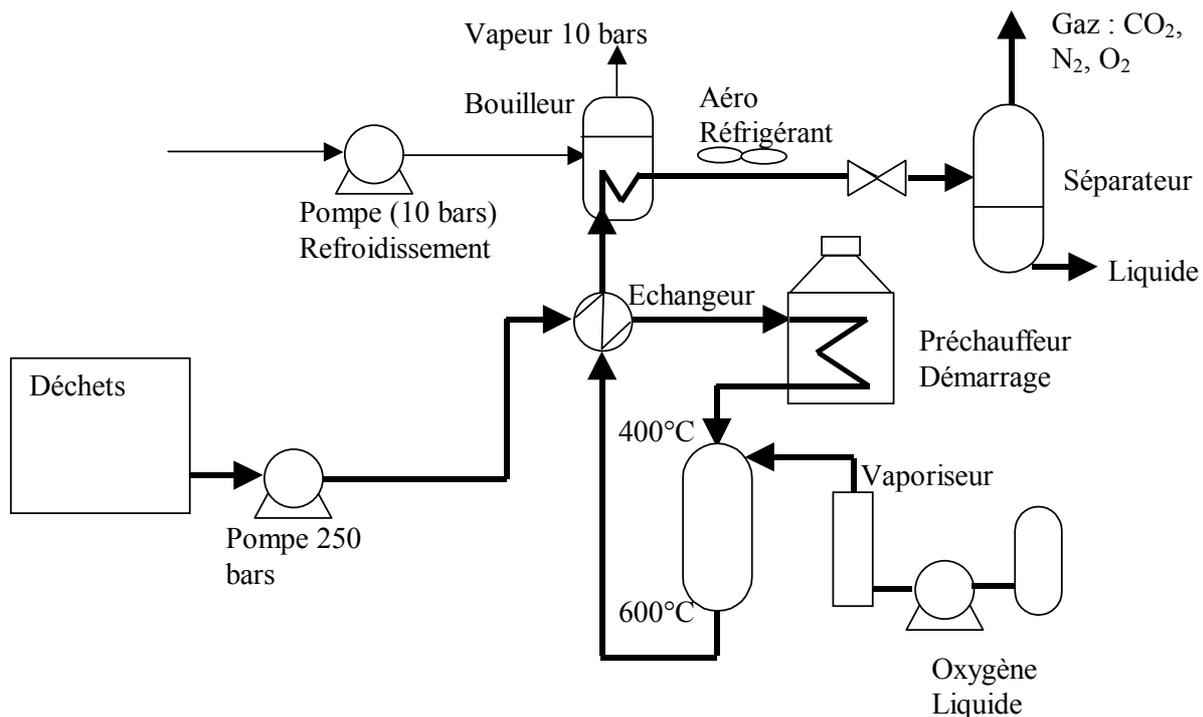


Schéma de principe du procédé développé EWT

### Types de déchets traités

L'unité industrielle de Huntsmann est installée dans un Centre de Recherche et Développement du groupe où sont développés des nouveaux procédés et des nouveaux produits dans le secteur de la chimie fine. Le type de déchet traité est donc un effluent de l'industrie chimique avec 10% de matière organique, sans matière en suspension, sans halogène et sans sels. L'effluent est un mélange sur une semaine des rejets des différentes unités du Centre.

Les perspectives de développement de Chematür Engineering sont le traitement de 3 types de déchets :

- les effluents de l'industrie chimique,
- les boues de station d'épuration,
- les déchets militaires (armes chimiques et déchets générés sur les navires de la Marine Américaine : peintures, solvants, huiles, etc.).

### Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets

- Matières minérales ;
- Carbone ;
- Eau.

### Valorisation

Aucune donnée.

### **Aspect économique**

Le coût d'investissement de l'unité industrielle de Huntsmann 1 m<sup>3</sup>/h à Austin est de 2,3 M€. Le coût d'investissement du pilote 250 kg/h de l'Université du Texas est de 1,3 M€.

Des simulations économiques ont été effectuées pour des unités à 5 et 30 m<sup>3</sup>/h (cas des boues municipales – 3 lignes de 10 m<sup>3</sup>/h).

**Capacité de traitement** : 5 m<sup>3</sup>/h

**Coût d'investissement** : 4,1 M€

**Coûts de traitement** : 18 €/m<sup>3</sup> (fonctionnement) + 14 €/m<sup>3</sup> (amortissement)

**Capacité de traitement** : 30 m<sup>3</sup>/h

**Coût d'investissement** : 15,5 M€

**Coûts de traitement** : 12,2 €/m<sup>3</sup> (fonctionnement) + 9,2 €/m<sup>3</sup> (amortissement)

### **Aspect réglementaire**

Aucune donnée.

### **Unités en fonctionnement**

- Pilote de l'Université du Texas ;
- Unité industrielle Huntsmann à Austin (Texas – Etats-Unis).

## **IV.2. CHEMATUR ENGINEERING – SUÈDE - KARLSKOGA**

Compte rendu de la visite de l'installation industrielle d'oxydation supercritique du groupe Chematur Engineering à Karlskoga (Suède) (Rapport ICMCB 1998).

### **Le procédé**

L'unité de Karlskoga met en œuvre la réaction d'oxydation hydrothermale monophasique à 550°C et 25 MPa dans un réacteur tubulaire de plusieurs centaines de mètres. Le temps de séjour est de 60 s. Un système de récupérateur de chaleur est présent sur le pilote.

Cette unité est une reproduction technique du pilote installé chez Huntsman à Austin.

### **Capacité de traitement**

Capacité du pilote industriel AQUACRITOX : 250 kg/h (0,25 m<sup>3</sup>/h).

### **Types de déchets traités**

Pilote de démonstration. Tous types de déchets aqueux organiques.

Effluent à 4 ou 5% en MS peu chargé en chlore.

### **Unités en fonctionnement**

- Pilote de démonstration 250 kg/h en fonctionnement depuis 1998.
- Unité industrielle de développement Shinko Pantec (Japon) (Brevet Chematur). L'unité a une capacité de traitement de 1,3 m<sup>3</sup>/h et traite des boues de STEP (voir rapport de l'état du développement au Japon ci-après).

### **IV.3. GENERAL ATOMICS**

Compte rendu de la visite de la société General Atomics (novembre 1997) à San Diego (Californie – Etats-Unis) (Rapport ICMCB-APESA).

General Atomics (G.A) est une société privée employant près de 2000 personnes très impliquées dans les programmes militaires américains. Elle se présente notamment dans le secteur nucléaire, la gestion des déchets nucléaires, les turbines à gaz, les systèmes énergétiques, la cryogénie, l'informatique industrielle, la biochimie et le traitement des déchets dangereux en milieu aqueux oxydant supercritique.

Environ 20 personnes travaillent sur le programme d'oxydation hydrothermale supercritique. Ce programme a démarré en 1992 dans le cadre de projets centrés essentiellement sur la destruction d'armes chimiques, de composés énergétiques et d'autres déchets du DoD (Département of Defense).

#### **Le procédé**

##### **Skid développé dans le cadre du programme de la Navy (installé à San Diego) :**

Le fonctionnement de l'unité est basé sur le principe du procédé MODAR (GA ayant racheté la licence en début de programme). Le pouvoir calorifique du déchet doit être de 4,2 MJ/kg pour que le procédé soit autogène, sinon l'addition de fuel permet d'ajuster cette valeur.

L'oxydant employé initialement est l'air, en raison de la finalité de l'installation (porte-avions). Le compresseur de 4 étages occupe environ la moitié du volume du skid. Son débit maximal est de 900 kg/h avec une pression d'utilisation de 30 MPa. Le système d'alimentation des déchets est composé d'une pompe de transfert, d'un broyeur, d'une deuxième pompe de transfert et d'une pompe haute pression (45 kg/h).

Aujourd'hui l'oxydant utilisé est de l'oxygène pur.

La température maximale dans le réacteur réservoir continu est de 600-650°C, il est en Inconel 625 avec un chemisage en titane. Il a un volume de quelques dizaines de litres. Le contrôle de la température est assuré par l'addition d'eau ou de fuel (kérosène), distribué par deux pompes haute pression.

Un système d'acquisition des températures permet un contrôle très précis en tout point du réacteur. Un filtre est installé dès la sortie du réacteur et les sels éventuellement entraînés et les matières minérales en suspension peuvent être récupérées à cet endroit de l'installation.

#### **Capacité de traitement**

**Skid du programme Navy (installé à San Diego) : 250 l/h.**

#### **Types de déchets traités**

- Armes chimiques ;
- Composés énergétiques ;
- Propergols ;
- Développement vers le traitement des composés chimiques ;
- Peintures ;
- Boues biologiques ;
- Biomasse ;

- Déchets divers pouvant être générés sur un porte avion : peintures, solvants, huiles, déchets d'alimentation, ... ;
- Substances inorganiques.

### **Résidus secondaires - Sous produits formés - Rejets**

Aucune donnée.

### **Valorisation**

Aucune donnée.

### **Aspect économique**

Aucune donnée.

### **Aspect réglementaire**

Aucune donnée.

### **Unités en fonctionnement**

- Pilote test basé à San Diego (procédé MODAR) : 250 l/h ;
- Pilote pour le traitement des propergols solides dans l'Utah (Etats-Unis) pour le compte de l'US Air Force : 100 l/h ;
- Skid en test sur porte avion de l'US Navy : 250 l/h.

## **IV.4. AUTRES**

### **USA :**

**Procédé Hydrosolids – HYDROPROCESSING** : La société Hydroprocessing a construit un réacteur de type tubulaire d'une capacité de 5 m<sup>3</sup>/h (Texas). Cette unité est opérationnelle depuis 2000 sur le site de traitement des eaux urbaine et industrielle. Cette unité traite des boues biologiques issues du traitement de l'eau.

### **JAPON :**

Les données suivantes sont extraites du rapport de la mission d'évaluation du développement industriel du procédé d'oxydation hydrothermale au Japon organisée par le Ministère des Affaires Etrangères.

Période : 04 au 08 février 2002.

Responsables de la mission :

CANSELL François – Directeur de Recherche au CNRS à l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux,

Robert FARHI – Professeur, attaché scientifique à l'Ambassade de France au Japon.

#### **1) ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES**

Cœur de métier : Fabrication de bouilleurs et de cuves pour l'industrie chimique et nucléaire, réalisation de centrales nucléaires.

Chiffre d'affaires : 7,9 milliards d'euros.

Nombre d'employés : 13 244 (mars 1999) - 3000 pers sur le site visité.

Développements réalisés : Projet développé depuis 1995.

IHI a développé des réacteurs fonctionnant en conditions sous-critiques pour les raisons suivantes : i) pas besoin d'oxygène, il utilise l'air ; ii) pas de problème de corrosion si la température maximale est inférieure à 300°C ; iii) pas de problème de gestion des sels.

Leur procédé repose sur un pré-traitement du déchet par hydrolyse sous pression et température qui conduit à une mise en solution et/ou du déchet. L'effluent est ensuite oxydé en condition sous-critique (OVH).

IHI a réalisé au niveau laboratoire plusieurs bancs haute pression et haute température de type batch et continu.

IHI a développé des outils de simulation pour le dimensionnement d'unités industrielles.

IHI a réalisé plusieurs pilotes mobiles et unités industrielles de capacités comprises entre 10 et 40 t/jour.

L'unité mobile Mamizu-Kun (1 t/jour) est en démonstration. Son coût est de 0,84 millions d'euros.

Marchés visés pour le procédé d'oxydation hydrothermale :

résidus de l'industrie de la restauration (1 kg d'eau pour 1kg de déchet); boues issues de traitement biologique anaérobie ; effluents aqueux contenant de la matière organique en incluant des composés chlorés.

Prix visé : 280 à 374 € la tonne.

Ventes réalisées :

3 unités de capacité 10,35 et 38,5 t/jour.

Financement du développement : sur fonds propres.

Autres procédés de traitement développés dans le groupe : Incinération.

Conclusions :

IHI ne travaille pas sur un concept de réacteur qui lui est propre mais à acquis un très bon niveau technologique et une bonne fiabilité de fonctionnement pour leurs installations.

## **2) EBARA**

Cœur de métier : Fabrication de pompes rotatives, puis ingénierie dans le domaine de l'environnement (incinération, gazéification, co-génération, plasma, ...) + énergies renouvelables.

Chiffre d'affaires : 4,2 milliards d'euros (mars 2000).

Nombre d'employés : 5 322 (mars 2000).

Développements réalisés : Ebara Research a réalisé des développements suivant deux axes :

1) la génération d'une flamme en milieu aqueux supercritique pour le traitement de dioxines contenues dans les réfiom. Ils ont réalisé une installation de laboratoire (3 kg/h) et une unité industrielle de démonstration (60 kg/h à Tsukuba) pour valider les coûts de fonctionnement qui se sont avérés trop élevés pour le traitement des réfiom.

2) le couplage de la réaction d'oxydation avec l'électrolyse de l'eau pour générer de l'oxygène. Ce procédé est performant pour des déchets ayant une DCO comprise entre 2 et 25 g/l. Ils ont un pilote de laboratoire d'une capacité de 200 l/jour.

Par ailleurs, Ebara Research a réalisé un travail important sur la tenue à la corrosion des matériaux.

Marchés visés pour le procédé d'oxydation hydrothermale :

Pas de marché clairement défini pour l'oxydation hydrothermale, par contre pour le procédé qui couple l'électrochimie et l'oxydation hydrothermale, les marchés sont : les déchets de laboratoires de photographie ; les huiles de coupe ; les eaux de procédé de l'industrie agroalimentaire.

Collaborations : Organo pour les eaux de procédés et les réfiom.

Ventes réalisées : aucune.

Financement du développement : Gouvernement japonais.

Autres procédés de traitement développés dans le groupe : Incinération, Pysico-Chimique, Plasma, Pyrolyse, ...

Conclusions :

Ils développent de nouveaux concepts en interne et ils ont un très bon niveau de développement technologique. L'oxydation hydrothermale est en concurrence dans le groupe avec beaucoup d'autres procédés.

## **3) SHINKO PANTEC**

Cœur de métier : Traitement de l'eau (filiale à 100% du groupe Kobe Steel).

Chiffre d'affaires : 378 millions d'euros (1998).

Nombre d'employés : 921 (1998).

Développements réalisés : un pilote d'une capacité de 1,1 m<sup>3</sup>/h opérationnel depuis mai 2000 dont le coût est estimé à 3 millions d'euros. A ce jour, ils ont 700h de retour d'expérience. Ils démarrent l'unité tous les jours.

Marchés visés pour le procédé d'oxydation hydrothermale : les boues issues du traitement de l'eau. Ils ont comme objectifs de traiter les boues à coût inférieur à l'incinération. Par ailleurs, l'oxydation hydrothermale occupe une place plus faible que les incinérateurs.

Collaboration : Chematür Engineering pour l'oxydation hydrothermale (Degremont pour la nanofiltration).

Ventes réalisées : aucune à ce jour et pas avant la validation sur une station de traitement de l'eau. Cette validation est prévue sur une période de 1 à 2 ans à partir d'avril 2002.

Financement du développement : fonds propres de Shinko Pantec.

Autres procédés de traitement développés dans le groupe : Incinération et physico-chimique.

Conclusions :

Shinko Pantec a un objectif clair de traiter des boues de STEP. Ils ne commenceront la commercialisation qu'après validation du fonctionnement de leur pilote sur site. L'objectif est d'atteindre des coûts de fonctionnement de 100 €/ tonnes de boues à 20% de siccité et d'investissement de 3 M€ pour un 1 m<sup>3</sup>/h.

#### **4) ORGANO**

Cœur de métier : Résines échangeuses d'ions – Procédés de purification – Procédés de traitement de l'eau.

Chiffre d'affaires : 700 millions d'euros.

Nombre d'employés : 900.

Développements réalisés :

Plusieurs pilotes ont été réalisés depuis 1994 dont les capacités varient de 100 kg/jour à 2 t/jour.

Des travaux importants ont été réalisés sur la tenue à la corrosion des matériaux sur un banc constitué de 8 autoclaves. Ils utilisent le tantale en conditions sous-critiques et le titane en conditions super-critiques.

Marchés visés pour le procédé d'oxydation hydrothermale :

Traitement des PCB, des CFC et dioxines.

Collaborations : General Atomic, Modec pour l'oxydation hydrothermale.

Ventes réalisées : 15 unités de petites tailles.

Financement du développement : Gouvernement japonais (NEDO).

Autres procédés de traitement développés dans le groupe : Physico-chimique.

Conclusions :

Organo a une bonne connaissance des aspects procédés et technologiques.

Organo construit, vend et se propose d'exploiter ses installations.

## FRANCE :

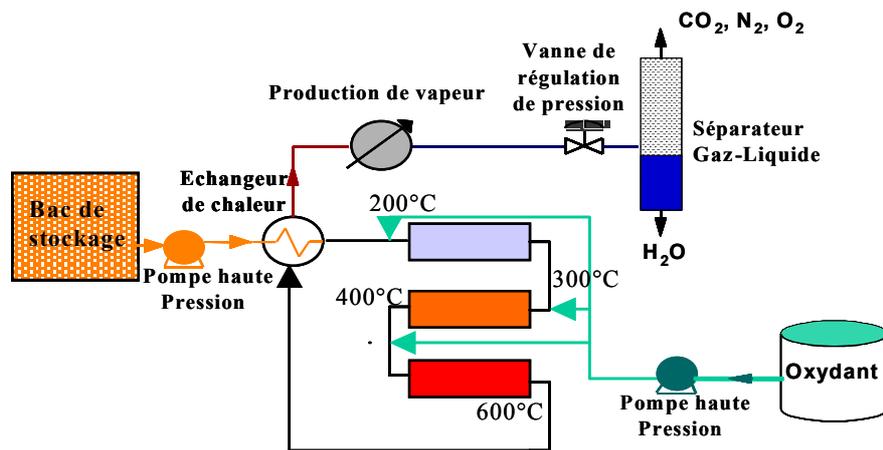
- Un **PROGRAMME NATIONAL** (2000-2003) intitulé Consortium Matériaux pour les Procédés mettant en œuvre un milieu Fluide Supercritique est soutenu par le Ministère de la Recherche et coordonné par F. Cansell. Il regroupe 11 laboratoires publics et 9 industriels. Ce projet repose sur une meilleure connaissance du comportement, de la durabilité et de la fiabilité des matériaux constitutifs des réacteurs fonctionnant en milieux aqueux sous pression et en température afin d'optimiser leurs choix et ainsi accroître l'intérêt technico-économique de ces procédés.

### - Société **HYDROTHERMALE OXYDATION OPTION – HOO**

Le métier de HOO est de concevoir, réaliser et vendre des unités de traitement d'effluents liquides par oxydation hydrothermale.

Le concept des réacteurs développé par HOO est basé sur une licence exclusive de brevets du CNRS concédée à la société HOO pour le traitement des déchets aqueux organiques (eaux de procédé, boues liquides organiques, déchets dangereux, biomasse...).

Le schéma de principe de ce procédé est reporté sur la figure ci-après.



Ce concept permet d'accroître l'intérêt technico-économique du procédé par :

- une réduction des coûts de fonctionnement ;
- une réduction des coûts d'investissement ;
- une valorisation énergétique du déchet ;
- une meilleure gestion thermique du procédé.

Aujourd'hui, la société HOO est impliquée dans la réalisation de deux pilotes industriels mobiles d'une capacité de 0,1 m<sup>3</sup>/h qui seront opérationnels fin 2003.

### Pilote industriel : OSSAU

Commanditaire : SYMPESA - APESA

Partenaires du projet :

HOO : Basic Engineering - Ingénierie de procédés - Design - Contrôle Commande

CITBA : Equipementier - Ingénierie de détails - Chaudronnerie sous pression

Spécifications de la machine :

100 kg/h, P = 25 MPa, T de 250°C à 550°C ;

Déchets aqueux organiques ([Cl<sup>-</sup>] < 1g/l, [Sels] < 10 g/l).

### **Pilote industriel : PIOS**

Porteur du projet : SNPE

Soutient financier : Projet Performance – MINEFI / ADEME

Partenaires du projet :

HOO : Basic Engineering Ingénierie de procédés – Design - Contrôle Commande

JEUMONT (AREVA) : Equipementier -Ingénierie de détails – Chaudronnerie sous pression - Réalisation

SNPE : Utilisateur

ICMCB : Recherche et validation des concepts

Pôle Environnement Aquitain : Diffusion

Spécifications de la machine :

100 kg/h, P = 250 bars, T de 250°C à 550°C ;

Déchets aqueux fortement chlorés et chargés en sels ( $[Cl^-] > 1\text{g/l}$ ,  $[Sels] < 50\text{g/l}$ ).

### **ALLEMAGNE :**

- Le **Fraunhofer Institut** (ITC) (Pfinzal) a développé une unité mobile de 0,02 m<sup>3</sup>/h pour le traitement de "tous types de déchets".

- Le **Forschungszentrum** de Karlsruhe a développé une unité de 0,05 m<sup>3</sup>/h pour le traitement de "tous types de déchets".

### **ESPAGNE :**

- L'**Université de Valladolid** a développé une unité de 0,5 m<sup>3</sup>/h pour le traitement de "tous types de déchets". Le réacteur est basé sur un concept de parois froides.

## V. CONCLUSION

Le développement industriel de l'oxydation hydrothermale diphasique a été initié dans les années 60 et est aujourd'hui à maturité avec plus de 110 unités en fonctionnement dans le monde. L'évolution de cette technologie est liée à une réduction du temps de séjour et donc du volume des réacteurs. Ceci a conduit au remplacement de l'air comme oxydant par de l'oxygène pur, à l'utilisation de catalyseur et de peroxyde d'hydrogène. L'utilisation d'oxygène pur nécessite cependant une bonne gestion de l'oxygène pour éviter une accumulation de matière organique (insoluble) et d'oxygène (gaz) qui conduirait à un point chaud dans l'installation. Les limitations de ce procédé sont liées au post-traitement des phases gazeuses, et liquides et à la valorisation des résidus solides.

Le développement industriel de l'oxydation hydrothermale monophasique quant à lui a été initié dans les années 90 et est aujourd'hui en phase de développement avec moins de 10 unités en fonctionnement dans le monde. Comme pour le procédé d'oxydation hydrothermale diphasique, l'air initialement utilisé comme oxydant a été remplacé par de l'oxygène pur pour des raisons de coût d'investissement (compresseur, tubing et réacteur) et de cinétique chimique (phénomène de dilution) liés à la présence d'azote ( $N_2/O_2=4$ ).

La R&D pour ces deux procédés porte sur la tenue à la corrosion des matériaux dans la zone de température 250°C – 350°C et sur les échangeurs de chaleurs (encrassement).

## L'HYDROGENATION

*Nous n'avons identifié à ce jour aucun procédé mettant en oeuvre l'hydrogénation pour des déchets, néanmoins cette technologie est utilisée pour certaines huiles :*

L'hydrogénation des déchets d'huiles usagées consiste en un traitement, sous température par de l'hydrogène, de macromolécules qui sont craquées en huiles hydrocarbonées utilisables dans les raffineries et les usines de produits chimiques [13].

L'hydrogénation est utilisée dans la régénération (ou re-raffinage) qui consiste, *via* un traitement industriel lourd, à refabriquer une huile de base, semblable aux huiles de base neuves (avant additifs...). Les installations de régénération d'huiles usagées sont de véritables petites raffineries en miniature comportant une succession de plusieurs cylindres de plusieurs mètres de haut dans lesquels les huiles ruissellent sous vide (déshydratation par distillation atmosphérique, puis distillation sous vide). La finition des huiles est assurée par un procédé d'hydrogénation ou par un procédé de filtres composés de terres "activées", destinés à absorber les dernières particules métalliques et hydrocarbures indésirables.

## LE VAPOCRAQUAGE

*Nous n'avons identifié à ce jour qu'un seul procédé mettant en oeuvre le vapocraquage pour le traitement des déchets. C'est le procédé NEOSTAR, décrit dans l'ouvrage intitulé "Traitements thermiques des déchets industriels". Ce procédé permet la destruction de produits chimiques organiques tels que les polychlorobiphényles et les trichlorobenzènes utilisés dans les transformateurs électriques [4].*

*Néanmoins nous avons recensé trois applications dans le domaine de la recherche et développement :*

### **Le vapocraquage appliqué à un nouveau type d'industrie : les bioraffineries.**

En séparant les constituants des fibres de bois et de plantes, le fractionnement à haute pression de vapeur ou vapocraquage vient permettre la valorisation de la cellulose, des hémicelluloses, de la lignine et de divers produits d'extraction dans plusieurs secteurs industriels (agro-alimentaire, pharmaceutique, biomatériaux, etc.). Cette technologie est ainsi appelée à contribuer à l'essor d'un nouveau type d'industrie : les bioraffineries. En transformant les composés issus du vapocraquage, ces industries à "effluent zéro" pourraient fabriquer toute une gamme de produits à haute valeur ajoutée : produits de chimie fine, dérivés oxyaromatiques, etc.... [14].

### **Procédés d'hydrotraitements**

Les procédés d'hydrotraitements permettent la réduction, voire l'élimination quasi complète, des hétéroatomes présents dans les coupes pétrolières tels que le soufre, l'azote et les métaux (nickel, vanadium) contenus dans les résidus lourds du pétrole. Ils permettent également de modifier la structure chimique de ces coupes (réduction de la teneur en aromatiques ou des oléfines par exemple) pour les ajuster aux spécifications des produits commerciaux : carburants, huiles ou paraffines. Ce sont donc des procédés clefs pour l'industrie du raffinage qui sont mis en oeuvre essentiellement en lit fixe. Les travaux sont conduits dans le domaine de la conversion des résidus en produits plus valorisables (lit fixe et lit bouillonnant), du raffinage des distillats (diminution des teneurs en soufre, azote et aromatiques) et de l'hydrocraquage pour obtenir des distillats moyens (kérosène, gazole) et des bases huiles lubrifiantes de haute qualité. Il s'agit de qualifier les nouvelles formulations catalytiques et de mettre en oeuvre des schémas de procédés optimisés selon les charges à traiter [15].

### **Procédés développés actuellement au Japon :**

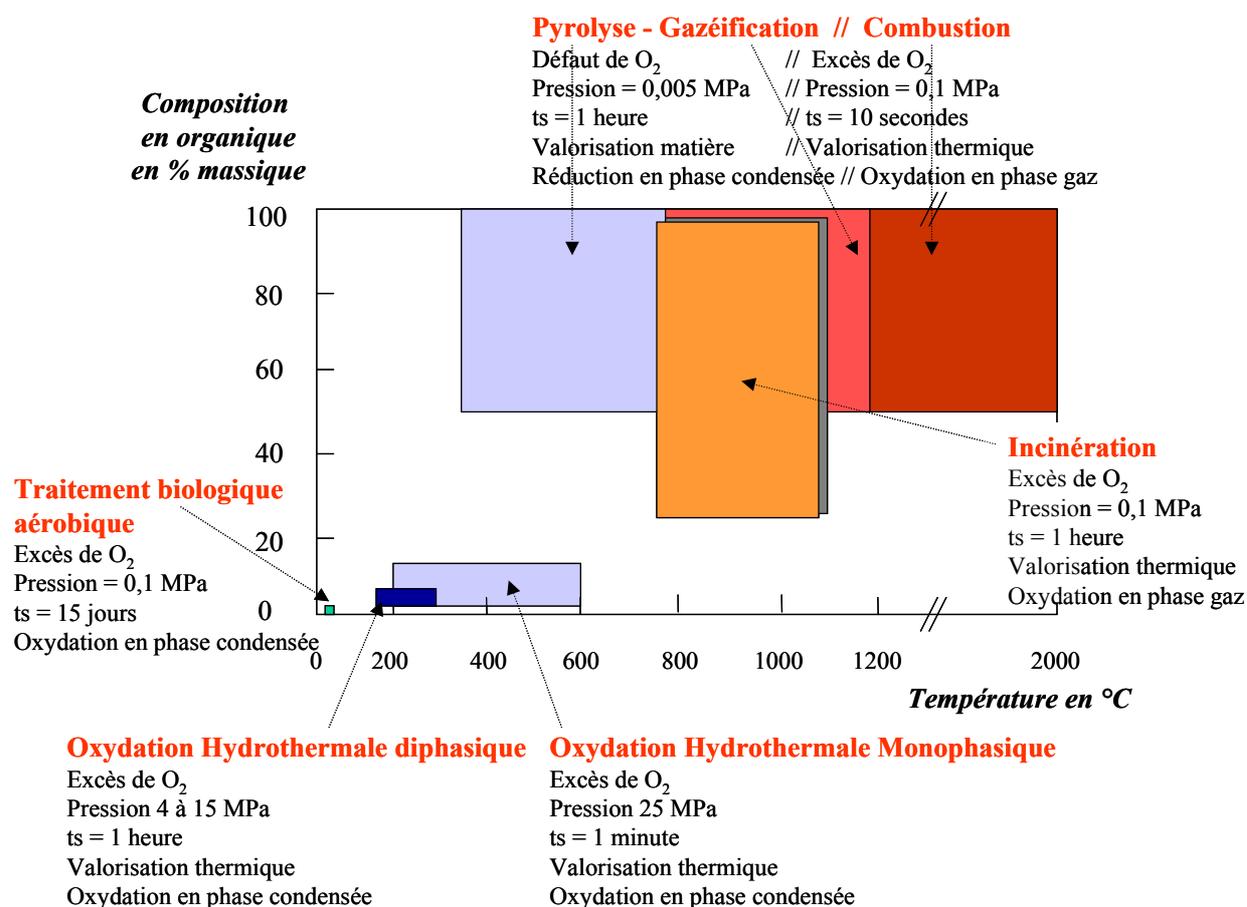
Le Japon travaille exclusivement sur le craquage thermique des plastiques et déchets plastiques.

## CONCLUSION FINALE

Ce document présente, sur la base des informations publiques disponibles et transmises à HOO dans le cadre cette étude par les sociétés contactées, l'état du développement industriel des procédés de traitement thermique (hors incinération) des déchets spécifiés dans le cadre du contrat d'étude définis par l'association RECORD.

Les procédés décrits, pyrolyse, pyrolyse-gazéification et oxydation hydrothermale n'ont pas l'ambition de supplanter l'incinération mais de se positionner sur un certain nombre d'applications pour lesquelles ils sont plus performants tant d'un point de vue technique qu'environnementale.

Nous rappelons sur le schéma ci-après le positionnement de ces procédés au regard de leurs températures de fonctionnement et de la composition en matière organique du déchet en entrée de procédé. Nous avons mentionné pour mémoire le procédé de traitement biologique aérobie. Par ailleurs nous avons mentionné pour chacun de ces procédés leurs caractéristiques quant à : la teneur en oxygène ; la pression ; le temps de séjour (ts), la nature de la valorisation ; la nature de la réaction mise en jeu et l'état dans lequel elle est réalisée.



## BIBLIOGRAPHIE

- 1 OTV. *Traiter et valoriser les boues*. Paris: Lavoisier, 1997. 457 p. Collection OTV. ISBN 2-9511059-0-8.
- 2 Guibelin Eric. **Elimination finale des boues d'épuration** *Les Techniques de l'Ingénieur* 2000, vol. G 1 451, p. 1-10.
- 3 Antoni-Paquel Didier. **La thermolyse**. [on line]. [consultation date: 26-06-2001]. Available from Internet: <http://perso.wanadoo.fr/france.concept/thermo.html>
- 4 Antonini Gérard and Gislais Pascal. *Traitements thermiques des déchets industriels : Etat de l'art*. Paris: Lavoisier, Technique & Documentation, 1995. 141 p. ISBN 2-85206-996-2.
- 5 Navarro Alain. **Gestion et traitement des déchets** *Les Techniques de l'Ingénieur* 1993, vol. C 4260, p. 1-32.
- 6 APESA. *Les boues : quels enjeux ? quelles solutions ? : journées sur les boues...*, Centre des Congrès de Pau, 23 et 24 février 2000. Pau: APESA, 2000. [Ca. 120 p.] p.
- 7 Enviro-Acces. **Gazéification en réacteur à lit fluidisé pour valorisation énergétique de résidus organiques**. [on line]. [consultation date: 09-05-2001]. Available from Internet: [http://www.abacom.com/~cetac/fiches\\_4/F4-11-96f.html](http://www.abacom.com/~cetac/fiches_4/F4-11-96f.html)
- 8 Dawson I., Labaquère H. and Gilks A. W. Utilisation du pouvoir énergétique des boues séchées par gazéification. L'expérience de Northumbrian. **In:** *Les boues des stations d'épuration biologiques : approche technico-économique des différentes filières. Incidences sur les procédés amont et le coût de l'eau, Polluctec 98, Lyon Eurexpo, 4 novembre 1998*. ed. [Grenoble]: [Société Alpine de publication], 1998. 6 p.
- 9 Texaco inc. **Texaco Gasification Process**. [consultation date: 28/11/01]. Available from Internet: <http://www.clu-in.org/products/site/complete/democom/texaco.htm>
- 10 University of Waterloo. Process for Thermal Conversion of Biomass to Liquids. American patent. US 5 605 551.
- 11 University of Waterloo. An Improved Process for the Thermal Conversion of Biomass to Liquids. European patent. EP 0670873.
- 12 ITEA. Process and plant for the disposal of waste. European patent. EP 0536468.
- 13 Les Techniques de l'Ingénieur : Valorisation et recyclage des déchets (A3830) p11 :
- 14 Fiche technique publiée en collaboration avec Enviro-Accès, Kemestrie inc. et le Groupe de recherche sur les technologies et procédés de conversion de l'Université de Sherbrooke.
- 15 IFP R&D – Organisation sur [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

- 16 Paul T. Williams – Waste Treatment & Disposal – Department of Fuel & Energy,  
University of Leeds, UK
- 17 Bois Energie / Holz Energie Septembre 1999
- 18 Source internet : [www.bseri.com/fserpacenv2.htm](http://www.bseri.com/fserpacenv2.htm)
- 19 Source internet : [www.xylowatt.ch](http://www.xylowatt.ch)
- 20 Source internet : [www.martezo.fr](http://www.martezo.fr)

# SOMMAIRE

<b>1. Chapitre 1 - La digestion anaérobie</b>	<b>p. 3-11</b>
<b>1.1. Caractéristiques générales</b>	<b>p. 3-5</b>
1.1.1. Définition	p. 3
1.1.2. Schéma métabolique	p. 3-4
1.1.3. Nature de la matière traitable en digestion anaérobie	p. 4-5
1.1.4. Applications	p. 5
<b>1.2. Parc de digesteurs en Europe (Union Européenne et la Suisse)</b>	<b>p. 6</b>
<b>1.3. La digestion anaérobie appliquée aux déchets organiques</b>	<b>p. 7-11</b>
1.3.1. Intérêts	p. 7
1.3.2. Principe de la digestion anaérobie des déchets	p. 7
1.3.3. Caractéristiques générales de la digestion anaérobie des déchets	p. 8
1.3.4. La digestion anaérobie des déchets en Europe	p. 8-11
1.3.4.1. Critères de choix pour cette étude	p. 9
1.3.4.2. Evolution des tendances	p. 9-11
<b>2. Chapitre 2 – Caractérisation et devenir des boues de stations d’épuration urbaines</b>	<b>p. 12-23</b>
<b>2.1. Caractérisation des boues</b>	<b>p. 12-13</b>
2.1.1. Quantités de boues produites	p. 12-13
2.1.2. Composition de boues de STEP	p. 13
<b>2.2. Devenir des boues de STEP</b>	<b>p. 14</b>
<b>2.3. La digestion anaérobie des boues de stations d’épuration urbaines</b>	<b>p. 15-17</b>
2.3.1. Caractéristiques de mise en œuvre	p. 15-16
2.3.2. Exemple de la station d’Achères (Seine Aval - 95)	p. 16-17
<b>2.4. Parc de digesteurs anaérobies de boues de STEP urbaines en France</b>	<b>p. 17</b>
<b>2.5. Les pré-traitements</b>	<b>p. 18</b>
<b>2.6. Les digesteurs à boues</b>	<b>p. 18-19</b>
<b>2.7. Le biogaz</b>	<b>p. 20</b>
<b>2.8. Destination des boues digérées</b>	<b>p. 20-22</b>
2.8.1. L’incinération des boues	p. 21
2.8.2. Le compostage des boues	p. 21-22
2.8.3. La mise en Centre d’Enfouissement Technique (CET)	p. 22
2.8.4. Le devenir des boues du SIAAP	p. 22
<b>2.9. Données économiques</b>	<b>p. 23</b>
<b>3. Chapitre 3 – Les procédés de traitement</b>	<b>p. 24-74</b>
<b>3.1. Généralités sur les caractéristiques techniques mises en œuvre</b>	<b>p. 24-27</b>
3.1.1. Les pré-traitements des déchets	p. 24-25
3.1.2. Méthanisation en une étape ou deux étapes	p. 25
3.1.3. Température	p. 25
3.1.4. Teneur en matière sèche	p. 25
3.1.5. Mono-substrats ou co-substrats	p. 26
3.1.6. Les réacteurs limites	p. 26-27
<b>3.2. Technologie des réacteurs de digestion anaérobie</b>	<b>p. 28-34</b>
3.2.1. Digesteurs « continus » fonctionnant en une étape	p. 28-32
3.2.1.1. Agitation par le biogaz	p. 28-29
3.2.1.2. Agitation par action mécanique	p. 30-32
3.2.2. Digesteurs continus à deux étapes	p. 32-33
3.2.3. Digesteur discontinu sans agitation	p. 33-34
<b>3.3. Exemples d’application des principaux constructeurs européens traitant des ordures ménagères ou assimilés</b>	<b>p. 34-51</b>
3.3.1. Société Babcock Steimüller Valorga	p. 34-36
3.3.2. Société OWS (Organic Waste System)	p. 36-38
3.3.3. La Société ARCADIS	p. 39-40
3.3.4. VINCI Environnement	p. 41-43
3.3.5. Krüger	p. 43
3.3.6. Linde	p. 43-45
3.3.6.1. Le procédé liquide à deux étapes	p. 43-44
3.3.6.2. Le procédé BRV	p. 44-46
3.3.7. Entec Environment Technology	p. 46-47
3.3.8. La Société MAT	p. 47-49
3.3.9. Alcyon Eng. S.A.	p. 49-50
3.3.10. Le procédé Schwarting-Umwelt (Allemagne)	p. 51

3.3.11. Autres sociétés commercialisant des digesteurs	p. 51
<b>3.4. Visite d'unités industrielles</b>	<b>p. 52-63</b>
3.4.1. Procédé DRANCO à Brecht	p. 52-54
3.4.2. Procédé VALORGA à Amiens	p. 54-59
3.4.3. Procédé VALORGA à Engelskirchen	p. 59-63
<b>3.5. Le traitement du biogaz</b>	<b>p. 64-65</b>
3.5.1. Elimination du gaz carbonique	p. 64
3.5.2. Elimination de l'hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S)	p. 65
<b>3.6. Bilan des performances des digesteurs anaérobies sur déchets</b>	<b>p. 66</b>
<b>3.7. Comparaison des coûts d'investissement et de fonctionnement</b>	<b>p. 67-69</b>
<b>3.8. Comparaison de l'eau usée produite en fonction des critères de fonctionnement</b>	<b>p. 69-70</b>
<b>3.9. Description des expériences au stade laboratoire et pilote</b>	<b>p. 70-74</b>
3.9.1. Les pré-traitements	p. 70
3.9.2. Le procédé à acidogénèse multiple	p. 70-71
3.9.3. Le couplage digestion de déchets et traitement des eaux usées	p. 72
3.9.4. Digestion par ruissellement de « déchets verts »	p. 73
3.9.5. Fluidisation des déchets solides	p. 73
3.9.6. L'hyperthermo philie	p. 73-74
3.9.7. Le couplage digestion anaérobie-ozonation	p. 74
<b>4. Chapitre 4 – Le biogaz à la ferme</b>	<b>p. 75-95</b>
<b>4.1. Potentiels méthanogènes de différents substrats</b>	<b>p. 76</b>
<b>4.2. Digesteurs types pour la méthanisation des déchets agricoles</b>	<b>p. 76-77</b>
<b>4.3. Exemples de procédés mis en place en Allemagne</b>	<b>p. 78-82</b>
4.3.1. Principaux constructeurs allemands	p. 78-81
4.3.2. Exemple d'une installation à Petersauach	p. 81-82
<b>4.4. Les unités de biogaz centralisées au Danemark</b>	<b>p. 82-88</b>
4.4.1. Concept des unités de co-digestion	p. 83
4.4.2. Les aspects administratifs et politiques	p. 83-84
4.4.3. Les aspects gisements	p. 84-87
4.4.4. Conditions de mise en œuvre des digesteurs	p. 87
4.4.5. Aspects économiques	p. 88-89
4.4.6. La situation économique actuelle	p. 89-90
4.4.7. Coût du traitement des déchets dans les unités de production de biogaz décentralisées au Danemark	p. 90-91
4.4.8. Exemple de l'unité de Nysted	p. 91-93
<b>4.5. Exemple d'une unité de méthanisation du lisier en France : la plateforme ADAESO à Montardon</b>	<b>p. 93-95</b>
4.5.1. Schéma de l'installation	p. 93-94
4.5.2. Caractéristiques de fonctionnement du digesteur	p. 94
4.5.3. Caractéristiques des effluents	p. 95
<b>5. Chapitre 5 – Impacts environnementaux de la digestion anaérobie des déchets</b>	<b>p. 96-101</b>
<b>5.1. Impact environnemental des installations</b>	<b>p. 96</b>
<b>5.2. Impact du procédé sur l'hygiénisation de la matière</b>	<b>p. 96-99</b>
5.2.1. Comparaison de l'impact des procédés d'hygiénisation sur boues de stations d'épuration urbaines (STEP)	p. 96-98
5.2.2. Impacts de la digestion anaérobie sur les microorganismes pathogènes des biodéchets : exemple du procédé « Biocel »	p. 99
<b>5.3. Impact du procédé sur l'émission d'odeurs</b>	<b>p. 99-101</b>
5.3.1. Evaluation et comparaison aux émissions du compostage	p. 99-100
5.3.2. Traitement des odeurs	p. 101
<b>5.4. Toxicité des résidus de digestion anaérobie</b>	<b>p. 101</b>
<b>6. Chapitre 6 – La législation française relative à la digestion anaérobie</b>	<b>p. 102-104</b>
<b>6.1. La réglementation biogaz : étude du club Biogaz de l'ATEE</b>	<b>p. 102</b>
<b>6.2. Projet de directive en cours de la Communauté Européenne concernant le traitement des déchets biologiques</b>	<b>p. 102-104</b>
<b>7. Chapitre 7 – Annexes</b>	
- Annexe 1 : Liste des constructeurs de digesteurs traitant des résidus solides	
- Annexe 2 : Directives européennes	
- Annexe 3 : Réglementation du biogaz	
- Annexe 4 : Bibliographie de référence	

# Chapitre 1

## La digestion anaérobie

### 1.1 Caractéristiques Générales

#### 1.1.1 Définition

La digestion anaérobie (ou encore méthanisation) est la transformation de la matière organique en biogaz (principalement méthane et gaz carbonique) par une communauté bactérienne qui fonctionne en anaérobiose.

Cette transformation très répandue dans la nature, se retrouve dans les marais, dans les intestins d'animaux, d'insectes... et de manière très générale lors du stockage de la matière organique en absence d'oxygène.

Comme pour toute réaction biologique, elle est réalisée en milieu aqueux et donc à partir de matière organique dissoute ou solide.

#### 1.1.2. Schéma métabolique

Le flux métabolique de la transformation est représenté sur la figure 1.1

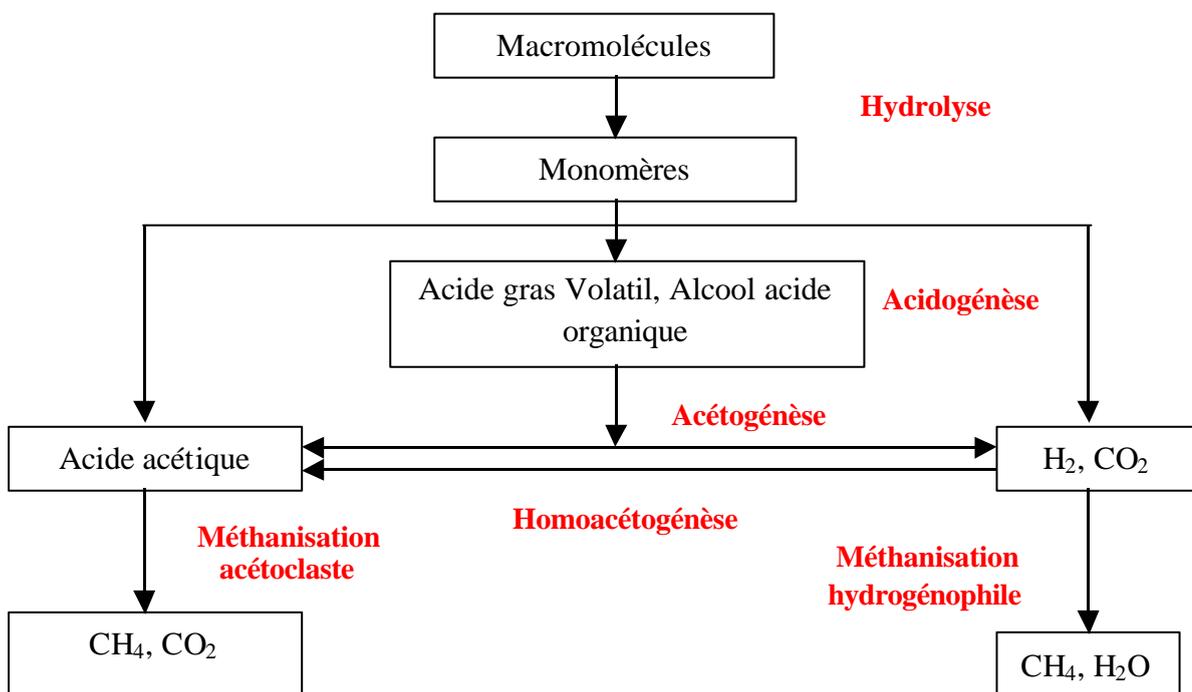


Figure 1.1 Flux métabolique de la digestion anaérobie

La matière organique solide est hydrolysée en monomère et transformée par les bactéries dites acidogènes, en acide gras volatile dénommé communément AGV (acétique, propionique, butyrique...), en alcool, en acide organique (lactique, succinique...) et en hydrogène et gaz carbonique.

Ces molécules organiques sont ensuite transformées en acide acétique, en hydrogène et en gaz carbonique par deux types de bactéries : les bactéries acétogènes et les bactéries syntrophes. Les bactéries homoacétogènes peuvent faire de l'acide acétique à partir du H<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub>.

Les étapes finales de cette transformation sont réalisées par les bactéries méthanogènes dites acétoclastes, pour celles qui transforment l'acétate en méthane et gaz carbonique, et les bactéries méthanogènes dites hydrogénophiles, pour celles qui transforment le gaz carbonique et l'hydrogène en méthane et eau.

La digestion anaérobie de la matière organique peut être réalisée à partir d'effluents ou de matières solides et à des teneurs aussi élevées en matière sèche que 51%.

La D.A. est généralement réalisée à des pH voisins de la neutralité 6,5 à 8,5.

Les potentiels d'oxydo réductions sont très bas de - 300 à - 400 mV.

La gamme des températures peut être variée, on a des températures :

- thermophiles (de 45 à 65 degrés C.) ;
- mésophiles (25 à 45 degrés généralement aux alentours de 37 degrés C.) ;
- psychrophiles (10 à 25 degrés C.).

La méthanisation industrielle se fait à des températures mésophiles ou thermophiles.

Comme pour toutes réactions biologiques réalisées par des communautés microbiennes, le flux matière de la réaction est conditionné par le flux matière admissible par la réaction limitante. Cette réaction est souvent la méthanogénèse acétoclaste lors de la transformation de la matière organique soluble ou hydrolyse, lors de la dégradation des matières organiques solides.

De manière générale, deux types de molécules intermédiaires peuvent poser des problèmes sur la stabilité, sur la réaction globale : c'est l'accumulation d'hydrogène ou celle d'acide gras volatile. Ces deux molécules sont intimement liées dans le flux métabolique car elles sont produites simultanément par l'acidogénèse. L'accumulation d'AGV peut conduire à des baisses de pH qui peuvent inhiber la réaction globale. L'accumulation d'hydrogène peut inhiber l'acétogénèse et la méthanisation acétoclaste ce qui va conduire à une accumulation des AGV.

### **1.1.3 Nature de la matière traitable en digestion anaérobie**

La matière organique qui est méthanisée est celle qui est dégradable par voie microbienne.

Plusieurs critères sont à considérer :

- la facilité de dégradation par les enzymes de la molécule ;
- son accessibilité (solubilisation, son hydrolyse...);
- sa toxicité pour le vivant.

Il s'ensuit que pour être méthanisée la matière organique doit se trouver obligatoirement sous forme soluble. Ceci, peut être réalisé par d'autres microorganismes que ceux qui sont impliqués dans les voies cataboliques de la digestion anaérobie.

Les molécules solubles facilement biodégradables sont méthanisées rapidement. Par contre, les polymères, comme la lignine, ne sont pas méthanisés, car ils ne sont pas accessibles aux enzymes hydrolytiques.

Les graisses sont difficilement méthanisables, car elles peuvent être non solubles mais elles peuvent aussi avoir un effet inhibiteur par leur action sur les membranes microbiennes. Dans ce domaine, des couplages avec des traitements physico-chimiques doivent permettre une méthanisation plus facile.

Ceci signifie que la digestion anaérobie des déchets suit cette philosophie et qu'ils doivent être solubilisés avant d'être méthanisés. Cette solubilisation se faisant grâce aux microorganismes présents dans la communauté microbienne anaérobie.

#### **1.1.4 Applications**

Les applications de la digestion anaérobie ont tout d'abord été motivées par l'exploitation de la biomasse à des fins énergétiques (gaz de fumier). Elle a vite trouvé sa place comme processus de dépollution appliqué au traitement des effluents ou des déchets. Son application industrielle comme outil de dépollution présente des caractéristiques intéressantes.

Lors du traitement des effluents, elles sont principalement :

- l'absence de transfert de l'oxygène, donc économie d'énergie ;
- peu de boues formées car la matière se retrouve principalement sous forme de biogaz ;
- les charges de matière organique appliquées dans les réacteurs peuvent atteindre 40 kg de DCO par m<sup>3</sup> de réacteur et par jour (avec des rendements de dépollution élevés).

Lors du traitement des solides :

- on diminue la quantité de matière de 50 à 60 % sur des biodéchets par exemple ;
- on stabilise en grande partie la matière organique ;
- on produit un compost (ou affinat) commercialisable.

Dans tous les cas on produit un gaz énergétique qui peut être réutilisé sur place ou transformé en vapeur, en électricité et vendu.

Ceci explique l'intérêt qu'ont porté les industriels à ce processus en tant qu'outil de dépollution.

## 1.2 Parcs de digesteurs en Europe (Union Européenne et la Suisse)

L'Europe a largement contribué au développement de la digestion anaérobie dans le monde.

On estime que le biogaz représente actuellement environ 5 % de la biomasse valorisée à des fins énergétiques en Europe et 2,8 % du total des énergies renouvelables. Il contribue à 0,16 % de l'approvisionnement énergétique de l'Union Européenne.

Le tableau 1.1 ci dessous indique la répartition du parc en Union Européenne plus la Suisse

	Nombre d'installations	Production énergétique*
Step Urbaines (boues d'épuration)	1500	800
Digesteurs d'effluents industriels	400	400
Décharges (CET) Sites valorisant le biogaz	450	900
Usines de méthanisation des déchets municipaux	60	60
Unités collectives de co-digestion	50	40
Digesteurs à la ferme	900	30

\* milliers de TEP

Tableau 1.1 : Répartition du parc de digesteurs en Union Européenne et la Suisse

En Europe, 60% des boues de stations d'épuration urbaines sont digérées alors qu'en France 108 digesteurs en traitent 30 % seulement.

Sur les 3 000 CET répertoriés, seul 450 valorisent le biogaz.

C'est au Danemark que la stratégie d'unités collectives de co-digestion a été la plus développée plus d'une vingtaine d'unités et en Allemagne pour le biogaz à la ferme avec 800 installations.

C'est au Royaume Uni que la production brute annuelle de biogaz par habitant est la plus élevée.

- *ADEME, Gaz de France, Solagro, La valorisation du biogaz en Europe : Contexte réglementaire, fiscal, économique et politique (2001), ISBN 2-9509837-3-1*

## **1.3 La digestion anaérobie appliquée aux déchets organiques**

### **1.3.1 Intérêts**

Avec la nécessité de recycler la matière présente sous forme de « co-produits » ou de déchets, plusieurs filières se sont développées comme l'alimentation animale, le compostage, l'incinération, l'épandage direct, la digestion anaérobie etc... Certaines recyclent la matière, d'autres l'énergie et d'autres les deux.

La digestion anaérobie s'est largement développée pour l'élimination des déchets. Elle a été appliquée très tôt à l'élimination des boues de stations d'épuration permettant ainsi des réductions de volume de 30 à 40% avant leur conditionnement.

Actuellement, elle se développe fortement pour le traitement des déchets et notamment pour l'élimination des ordures ménagères. Bien que l'on ne possède pas encore (comme pour le traitement des effluents) une grande richesse technologique en type de digesteur, on voit apparaître un réel intérêt sur le plan industriel comme sur le plan politique.

### **1.3.2 Principe de la digestion anaérobie des déchets**

Les déchets organiques peuvent être de différentes origines : urbaine, agricole ou industrielle. Pour qu'une digestion anaérobie se réalise dans de bonnes conditions il faut sélectionner les déchets qui pourront être méthanisés et écarter les autres. Leurs méthodes de récolte ont donc une importance primordiale.

La sélection de la matière se fait soit à la source, c'est le cas des déchets de marché, de cantine, industriels (un tri sommaire doit être fait à l'entrée de l'usine), soit la collecte englobe des déchets non fermentescibles (déchets bruts) et il faut alors mettre en place une unité de tri performante.

Ces déchets doivent être broyés afin d'être facilement attaqué par les microorganismes, et dilués par un apport d'eau afin d'obtenir la teneur en matière sèche désirée. Ils sont généralement mélangés avec un inoculum issu du digesteur et sont envoyés dans le réacteur.

Le biogaz produit est parfois traité (parfois stocké en partie), puis utilisé soit pour faire de la vapeur soit pour faire de l'électricité. Une torchère de sécurité est toujours présente sur les sites. La vapeur et une partie de l'électricité sont réutilisées sur le site ou dans ses abords immédiats.

Les boues issues du digesteur sont en partie recyclées (inoculum) et partiellement déshydratées. L'eau rejoint le substrat entrant ou va en stations d'épuration. Le résidu solide est composté en aérobiose et commercialisé sous forme de substrat.

### **1.3.3 Caractéristiques générales de la digestion anaérobie des déchets**

On classe les fermentations de déchets solides en fonction de leur teneur en eau. On a :

- fermentation « humide » avec des valeurs inférieures ou égales à 20 % ;
- « sèche » au-dessus de 20 %.

Il faut noter que les constructeurs peuvent appliquer leurs procédés en fermentation mésophile ou thermophile, voire aussi dans des gammes de matière sèche relativement larges !

La digestion anaérobie des déchets se fait à des températures mésophiles ou thermophiles. On voit apparaître de plus en plus d'essais de fermentation en psychrophilie notamment pour les résidus agricoles dans les pays nordiques ou pour traiter des lisiers.

Elle peut être réalisée en une ou deux étapes (acidogénèse et méthanogénèse) mais c'est souvent les procédés à une étape qui sont appliqués. Souvent la phase acidogène est réalisée dans un prétraitement-stockage dans les procédés liquides.

Le but de la digestion anaérobie est de réduire d'au moins de 50 % la teneur en matière volatile (organique) du déchet, d'obtenir un résidu stable et de produire de l'énergie.

Plusieurs types de substrats peuvent arriver aux digesteurs :

- les ordures ménagères brutes qui nécessitent un tri avant la méthanisation ;
- les biodéchets issus soit de l'agriculture, de l'industrie, des stations d'épuration ou des collectivités après un ramassage sélectif ;
- les déchets gris qui sont les déchets sans matière putrescible issus des tris à la source par les particuliers.

Les déchets triés à la source par les particuliers génèrent donc des biodéchets composés de matière fermentescible et des déchets gris (qui contiennent encore une quantité significative de matière organique principalement des aliments et du papier non recyclable).

### **1.3.4 La digestion anaérobie des déchets en Europe**

En France, nous n'avons que peu de procédés de digestion de déchets solides sur ordures ménagères. Il y a le procédé Valorga à Amiens et un autre en construction qui se trouve à Varenne Jarcy. Quatre autres sites seraient à l'étude.

Sur les déchets agricoles, il y en a 6 en fonctionnement dans notre pays et environ 170 digesteurs sur boues dont environ 110 sur des boues de stations d'épuration urbaines et 60 sur des boues de stations d'épuration industrielles.

Une étude sur la situation de la digestion anaérobie en Europe a été publiée par L. de Baere, lors du congrès de Barcelone (1999)\* et une autre sur la situation mondiale de la digestion anaérobie à Anvers (2001)\*\* . Nous ne rapporterons ici que la situation en Europe.

### 1.3.4.1 Critères de choix pour cette étude

Les critères de choix pour cette étude sont les suivants :

- seules les unités en opération ou en construction sur ces 10 dernières années (1990-2000) ont été retenues ;
- c'est l'Europe géographique qui a été retenue ;
- les digesteurs devaient traiter au moins 10 % de déchets solides municipaux avec un minimum de 3 000 t/an ;
- les capacités de traitement considérées sont celles qui vont dans le digesteur ;
- les digesteurs devaient au minimum être en construction.

### 1.3.4.2 Evolution des tendances

L. de Baere a identifié 53 unités ayant ces critères avec une capacité totale de traitement de 1 037 000 t/an de déchets solides en 2000. La capacité moyenne est de 20 000 t/an (De Baere 2000). Fin 2002, cette capacité passera à 1 648 000 t/an soit une augmentation de 60 % sur les deux dernières années, avec 67 unités construites (De Baere 2001).

La plupart des digesteurs ont été construits en Allemagne, puisque ce pays en compte trente à lui seul. Certains pays, comme la Suisse ont une capacité moyenne de 8 700 t/an alors que la Belgique, la Hollande et la France ont des capacités de 30 000 à 50 000 t/an. La tendance est quand même d'avoir des digesteurs de plus en plus gros.

L'évolution des capacités de traitement des digesteurs est reportée sur la figure 1.2.

#### Capacité cumulée

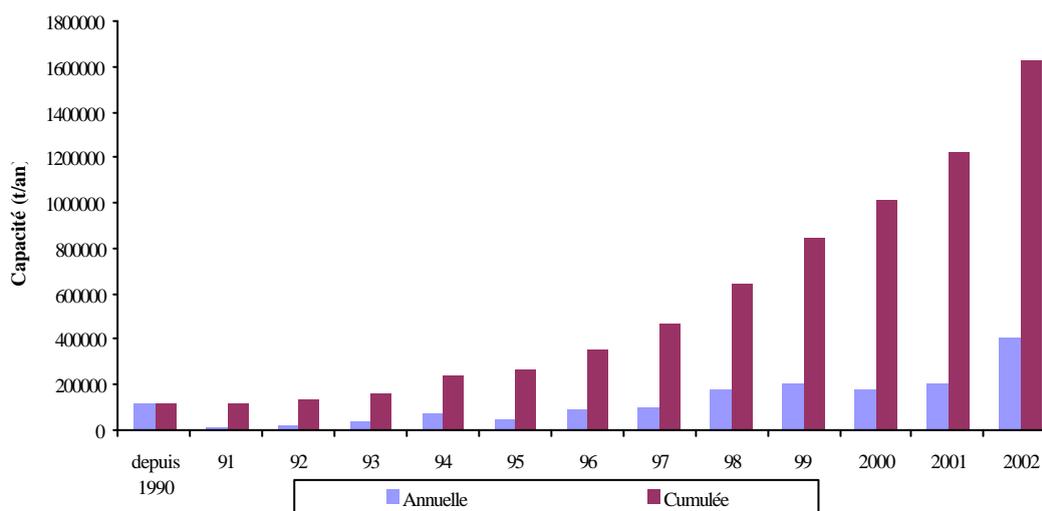


Figure 1.2 Evolution de la capacité de traitement des déchets solides en digestion anaérobie. Les valeurs 2002 sont des estimations. (De Baere 2001).

En 2000, la digestion anaérobie mésophile est appliquée à 63% de la capacité totale, alors que la thermophilie est appliquée à 37 % seulement. En considérant que la digestion anaérobie à plus de 20 % de matière sèche, dite « sèche » (l'autre étant dite « humide »), 561 000 t/an sont traités de cette manière soit 54 % de la capacité totale en 2000.

Si l'on s'intéresse à la digestion anaérobie en une phase ou deux phases, le système diphasique ne s'est pas réellement implanté, due probablement à des coûts plus élevés et restant cantonnés aux petites capacités. En 2000, on évaluait sa capacité à seulement 10,6 % de la capacité totale.

Actuellement, on voit certains constructeurs comme Linde mettre en place des traitements à deux étapes (acidogénèse et méthanogénèse) sur des stratégies « humides » à 10 % de matière sèche. A Barcelone (Ecoparc 1) le digesteur à deux étapes, fonctionnant en « humide », de Linde traitera 90 000 t/an d'ordures ménagères brutes.

La co-digestion ne semble pas aussi développée que ce que l'on pouvait s'imaginer. Il est fréquent d'ajouter des co-substrats organiques à une méthanisation de lisiers. Seul 6,7 % de la capacité totale a été identifiée comme fonctionnant en co-digestion, principalement avec des lisiers liquides. L'addition de lisiers au traitement de déchets solides est aussi très limitée. (de Baere 2000).

On a une grande disparité d'implantation de digesteurs entre les différents pays d'Europe.

Pour les digesteurs à la ferme par exemple, la France en compte 6 en service alors qu'en Allemagne c'est 1 600 installations à la ferme qui ont été réalisées avec un accroissement d'environ 200 par an.

Le tri à la source a été un facteur fondamental dans le développement de la digestion anaérobie des déchets. Il a conduit à la collecte de déchets dits « biodéchets » qui sont la fraction fermentescible et de « déchets gris » (ou mixtes) qui représentent le reste mais qui sont encore riches en matière méthanisable. Si les biodéchets étaient facilement méthanisés, on voit apparaître de plus en plus de méthanisation de déchets gris et l'évolution de la capacité de traitement de ces deux déchets est reportée sur la figure 1.3.

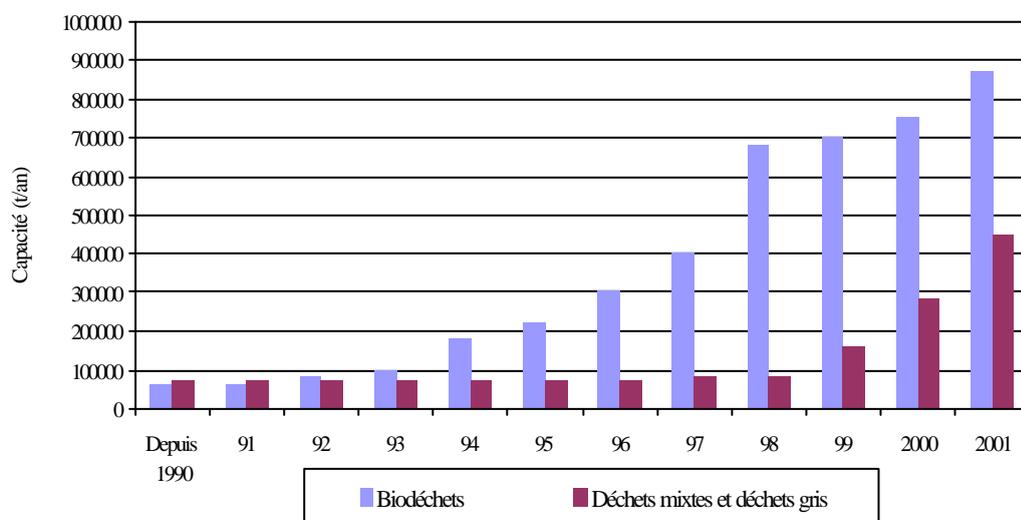


Figure 1.3 Evolution des capacités de traitement des biodéchets et des déchets gris de 1990 à 2000.(De Baere 2000)

Le compostage aérobie est un concurrent direct de la digestion anaérobie. De 1990 à 1999, la capacité de compostage aérobie a augmenté de 7 512 000 tonnes alors que la digestion anaérobie n'a eu une progression que de 443 000 tonnes soit seulement 6 % de l'augmentation de la capacité totale. La digestion anaérobie ne représente que 5 % des capacités totales de compostage en Europe. La Suisse notamment traite actuellement 25 % de ce volume en digestion anaérobie.

La figure 1.4 représente l'évolution des capacités de traitement du compostage anaérobie et aérobie en Allemagne.

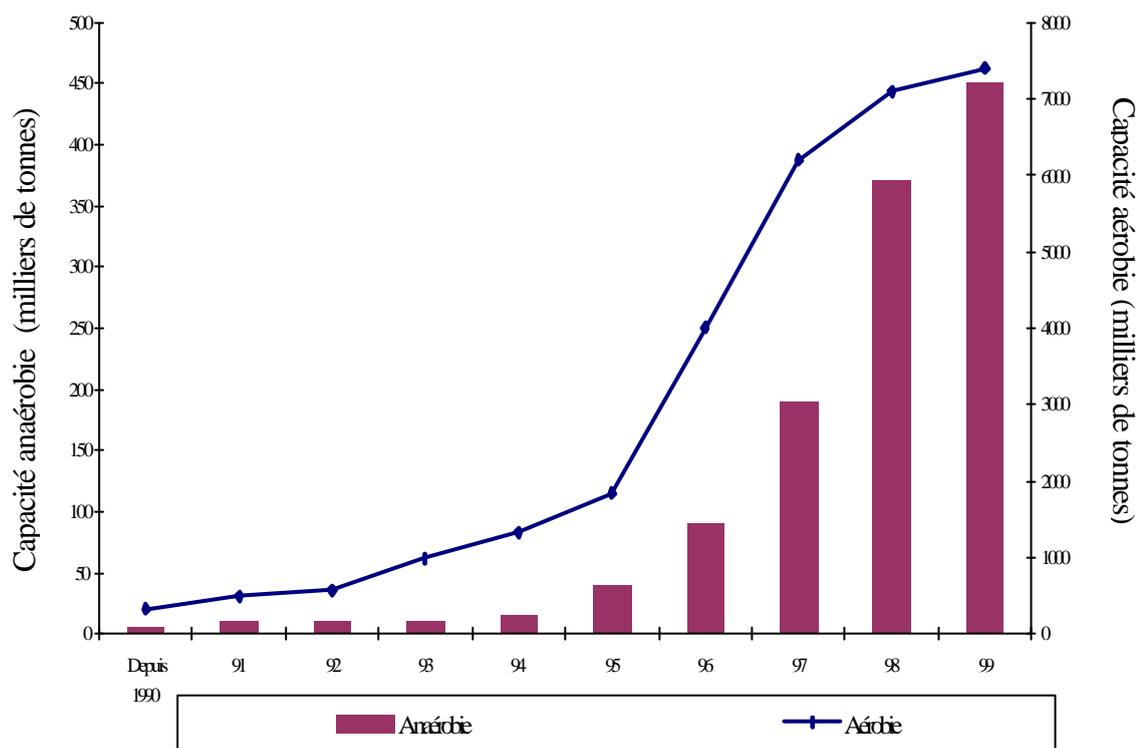


Figure 1.4 : Evolution des capacités de traitement du compostage anaérobie et aérobie en Allemagne. (De Baere 2000)

(\*) L. De Baere, (2000), *Anaerobic digestion of solid waste : state-of-the-art*, *Water Science technology*, Vol 41, No 3, pp 283-290

(\*\*) L. De Baere, (2001), *Worldwide state of the art of anaerobic digestion of solid waste*, *Proceeding of the 9<sup>th</sup> International symposium on anaerobic digestion*, Anvers september 2001, pp 61-64.

# Chapitre 2

## Caractérisation et devenir des boues de stations d'épuration urbaines

### 2.1 Caractérisation des boues

On observe trois origines de type de boues :

- les boues de traitement primaire ;
- les boues de traitement biologique ;
- les boues de traitement physico-chimique.

#### 2.1.1 Quantité de boues produites

Les boues de stations d'épuration urbaines représentent actuellement en France environ 850 000 tonnes de matière sèche par an, soit environ 9 millions de tonnes de matière brute.

Dans le rapport présenté à la Commission Européenne, en application de la directive Eaux Usées de 1991, la France a annoncé, sur la période 1992-2005, une augmentation de 29 % de la capacité des systèmes de collecte et de 72 % de la capacité des stations d'épuration.

Si le taux de dépollution passe de 49 % (actuellement) à 65 % en 2005 (objectif fixé par les pouvoirs publics), la production de boues pourrait atteindre 1 100 000 t de MS/an soit une augmentation de 30 %.

Dans la Communauté Européenne plus la Suisse, la production de boues d'épuration urbaines s'élève à 7,7 millions de tonnes de MS. Elle est du même ordre de grandeur que celle des pays Nord Américains, USA et Canada (8,2 millions de tonnes).

En Europe, un équivalent habitant produit environ 21 kg de boues (MS) par an alors qu'aux Etats Unis, il faut compter environ 26,6 kg de boues (en MS) par habitant.

L'Allemagne est le pays qui produit le plus de boues comme le montre le tableau 2.1.

Pays	Quantité de boues produites (t de MS)
Allemagne	2 700 000
Royaume uni	1 100 000
France	850 000
Italie	800 000
Espagne	703 000
Pays bas	350 000
Suède	240 000

Suisse	210 000
Autriche	200 000
Danemark	200 000
Finlande	150 000
Grèce	60 000
Belgique (Flandre)	45 000
Irlande	43 000
Portugal	25 000
Belgique (Wallonie)	15 000
Luxembourg	7 500

Tableau 2.1 : Production de boues en Europe (en tonne de MS)

### 2.1.2 Composition des boues de Step

La composition des boues des stations d'épuration urbaines dépend des techniques utilisées et des additifs notamment pour les boues physico-chimiques. Leur composition avant le conditionnement est reportée sur le tableau 2.2 ci-dessous.

Type de boues	Concentration en Matière Sèche (%)	Matière Volatile/ Matière Sèche (%)
Primaires	5	50 - 70
Mélangées (primaires plus biologiques)	4 - 5	60 - 70
Boues activées (Fraîches stabilisées) Station faible charge aération prolongée	2 - 3	60 - 70
Mélangées primaires + lit bactérien (Fraîches)	4 - 6	55 - 70
Boues physico chimiques <ul style="list-style-type: none"> <li>• Décantation statique ou accélérée</li> <li>• Décantation lamellaire</li> <li>• Aéroflottation</li> </ul>	4 - 6 1 - 2 5 - 6	40 - 65 suivant conditionnement chimique

Tableau 2.2 : Composition des boues de Step

## 2.2 Devenir des boues de Step

Les boues sont produites sous différentes formes et quatre grands types de boues sont recyclés en agriculture :

- les boues liquides issues principalement des zones rurales. Elles représentent environ 15 % du tonnage en MS ;
- les boues pâteuses issues de stations de taille moyenne. Elles représentent 35 % des tonnages en MS ;
- les boues chaulées issues des stations de moyenne ou grande taille (30 % du tonnage en MS) ;
- les boues compostées représentent 2 % des tonnages en MS. Elles sont produites en général par des stations de taille moyenne.

En Europe, 40 % des boues sont épandues avec de grandes disparités entre les différents pays.

D'autres filières existent comme la méthanisation, le compostage avec des déchets verts par exemple.

Dans l'Union Européenne, c'est 60 % des boues de Step urbaines qui sont traitées par digestion anaérobie. Ceci représente 2 millions de tonnes de matière organique qui sont convertis en biogaz. On évalue le nombre d'installations à 1 500 (en ajoutant la Suisse).

Il est surprenant de voir, que chaque fois que l'on parle de devenir des boues de Step, on occulte systématiquement leur traitement par digestion anaérobie.

Pour le devenir des boues, on voit souvent apparaître les chiffres suivants :

- 60 % épandage ;
- 25 % mise en décharge ;
- 15 % incinération.

Or en France, **c'est une population de 20 millions d'habitants qui traite ses boues par digestion anaérobie** soit une quantité de 283 000 t de MS digérée avec un rendement d'élimination de 40 % de la matière (cas des boues mixtes) !

Les stations du SIAAP - Seine aval et Seine amont, Marseille et Lille Marquette totalisent à elles seules 10 millions d'habitants. En général, ce sont les communes de plus de 30 000 EH qui sont concernées.

En France, on élimine donc 113 300 t de MS par digestion anaérobie. Ceci produit environ 62 millions de m<sup>3</sup> de méthane par an soit 22 000 tonnes d'équivalent pétrole. Cette capacité semble être restée stable depuis 1985.

**La répartition du devenir des boues en France est donc de :**

- **14 % en digestion anaérobie ;**
- **51 % pour l'épandage ;**
- **21 % pour la mise en décharge ;**
- **12 % en incinération ;**
- **2 % compostage avec des déchets verts.**

A noter que l'on voit apparaître actuellement une filière de compostage des boues avec des déchets verts ce qui ne représente que quelques % de la filière.

## 2.3 La digestion anaérobie des boues de stations d'épuration urbaines

La première référence de digestion anaérobie des boues de Step concerne la ville d'Exeter au Royaume Uni qui, en 1895, valorise le biogaz produit pour l'éclairage urbain. Le choc pétrolier des années 70 lui donne un nouvel essor mais cette capacité de traitement semble être restée stable depuis (si ce n'est quelques réalisations de grosse capacité).

La méthanisation des boues a divers avantages comme :

- la réduction de 40 à 50 % les quantités de boues à traiter ;
- l'élimination importante des nuisances olfactives ;
- la production d'un digestat pratiquement stabilisé, débarrassé en grande partie de ses germes pathogènes, (bactéries virus, parasites) ;
- la réduction de la teneur en composés organiques volatils ;
- la production d'énergie sous forme de biogaz.

### 2.3.1 Caractéristiques de mise en œuvre

L'intégration de la digestion anaérobie dans le circuit du traitement de l'eau d'une Step urbaine est représentée sur la figure 2.1.

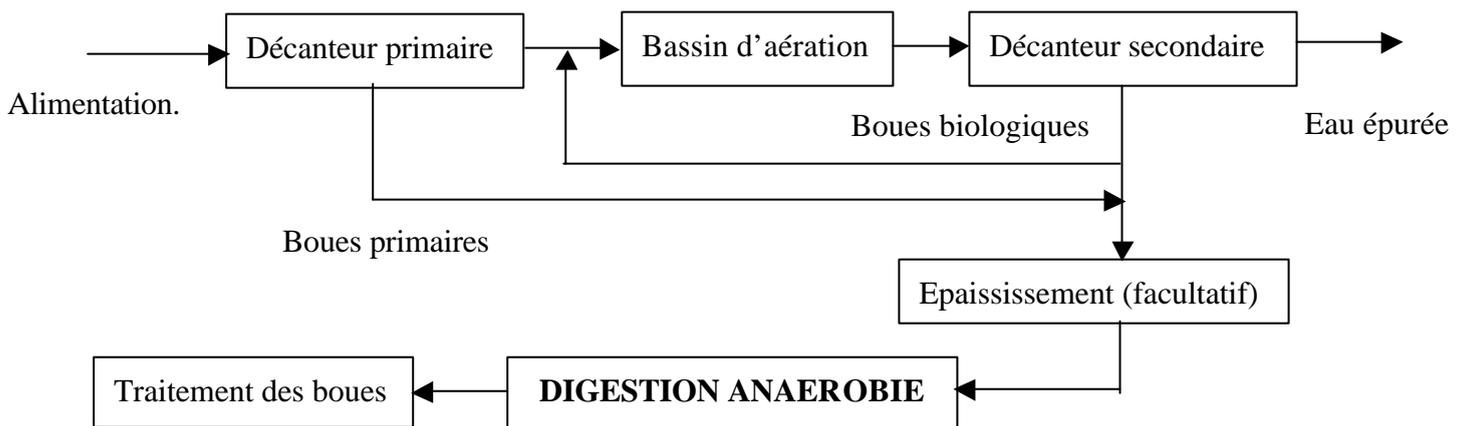


Figure 2.1 : Circuit du traitement de l'eau d'une Step urbaine

En sortie des décanteurs (après ou sans épaississement) les boues sont méthanisées dans des digesteurs agités à des températures mésophiles ou thermophiles avec des temps de séjour de 3 à 4 semaines. La digestion thermophile, permet une meilleure hygiénisation des boues. Elle est de plus en plus pratiquée en Europe.

On observe aussi, la mise en place de digestion en deux étapes, avec une phase acidogène thermophile (et un temps de séjour de quelques jours) suivie par une phase mésophile. Le taux de réduction est de 41 % en moyenne pour des boues mixtes et de 20 % pour des boues d'aération prolongée. En Allemagne, une dizaine d'installations (de 14 000 à 1,6 millions d'équivalents habitants) fonctionne en deux étapes, une thermophile (2 à 3 J de TSH à 50-55 degrés C) et une étape mésophile (12 à 15 j de TSH à 37 degrés C.). Le taux de réduction des matières volatiles est augmenté de 25 % dans ce cas.

Dans certains pays comme la Belgique, l'Irlande, le Portugal, on a des digesteurs psychrophiles (à des températures de 12 °C) sans récupération d'énergie.

La charge appliquée aux digesteurs est voisine de 1 à 5 kg de matière volatile par m<sup>3</sup> de réacteur et par jour.

### 2.3.2. Exemple de la station d'Achères (Seine Aval - 95)

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (le SIAAP) possède quatre stations : «Seine aval», «Seine amont», «Seine centre», et «Marne aval». Les deux premières traitent les boues par digestion anaérobie.

La station d'Achères (95) traite les effluents d'une population de 6,5 millions d'habitants. Le schéma de principe du procédé est représenté ci-dessous (figure 2.2) :

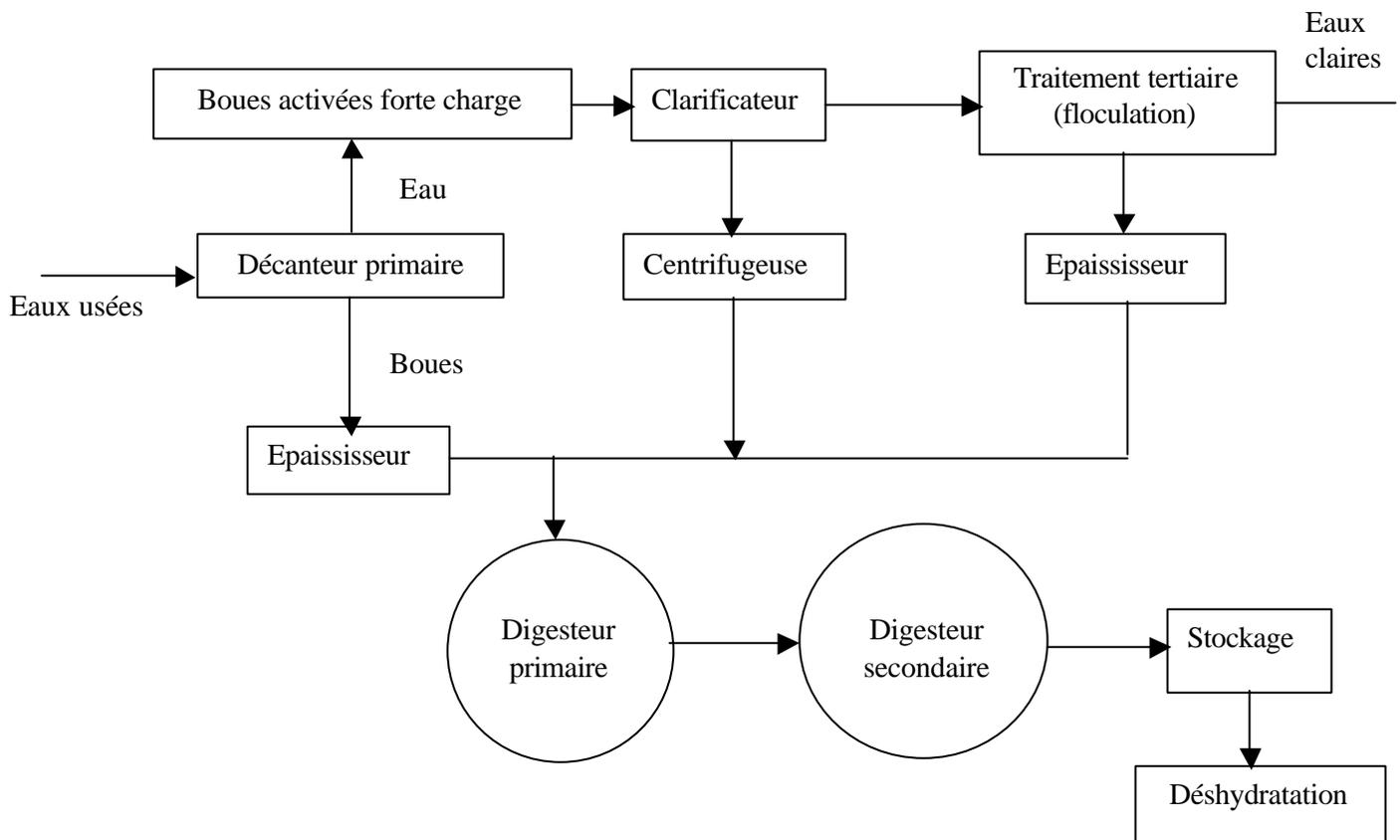


Figure 2.2 : Schéma de principe de la station d'Achères.

La quantité de boues digérées produite par la station est de 101 639 tonnes de matière brute à 54 % de matière sèche.

La quantité de boues produite par le SIAAP en l'an 2000 est reportée sur le tableau 2.3 ci-dessous.

<b>Usine</b>	<b>Tonnes de matière sèche</b>	<b>Siccité moyenne</b>	<b>Tonnes de matière brute</b>
Seine aval*	54 855	54 %	101 639
Seine centre	22 922	29 %	79 041
Seine amont*	18 038	29 %	62 200
Marne aval	2 741	27 %	10 152
Total	98 586		253 032

Tableau 2.3 Production des boues par les différentes usines d'épuration du SIAAP en 2000 (\* Boues digérées)

« Seine aval » produit environ 120 000 tonnes de matière sèche en boues ce qui donne un taux de réduction de 50 % pour la digestion anaérobie.

#### **2.4. Parc de digesteurs anaérobies de boues de Step urbaines en France**

La digestion anaérobie des boues de Step urbaines fait intervenir un parc de 108 unités qui se répartissent comme suit (tableau 2.4) :

<b>Capacité des stations d'épuration</b>	<b>Population concernée (en milliers d'équivalents habitants) (EH)</b>	<b>Nombre de stations</b>	<b>Moyenne (milliers d'EH/station)</b>
+ de 500 000 EH	10 000	4	2 500
100 000 à 500 000 EH	5 500	28	200
30 000 à 100 000 EH	4 200	76	55
Total	19 700	108	180

Tableau 2.4 : Répartition du parc de digesteurs de boues en France.

Dans la pratique, les tailles des stations d'épuration réalisant la digestion anaérobie vont de 30 000 à 6,5 millions d'habitants. Avec les contraintes liées au devenir des boues, le seuil minimal tend à s'abaisser. En Suisse, des stations traitant moins de 10 000 EH pratiquent couramment la digestion anaérobie des boues.

## 2.5 Les pré-traitements

Le premier pré-traitement consiste en une augmentation de la siccité afin de réduire le volume de boues.

Les boues sont généralement épaissies par épaississement gravitaire (boues primaires) et par flottation ou centrifugation pour les boues biologiques. La concentration des boues épaissies est de 40 à 60 g/l parfois 80 g/l de MS.

Le second pré-traitement possible consiste en une hydrolyse thermique qui améliore la digestibilité des boues. Cette technique, qui est appliquée depuis 1995 dans plusieurs stations d'Europe, consiste à chauffer à 150 degrés C. des boues déshydratées à 15 % ce qui désintègre et solubilise la matière biologique.

D'autres pré-traitements ont été testés comme le broyage mécanique, les ultrasons, l'oxydation à l'ozone ou des traitements enzymatiques.

## 2.6 Les digesteurs à boues

Il existe plusieurs formes de digesteurs à boues et qui peuvent être conçus pour servir de stockage de gaz. Ils sont caractérisés par un rapport : hauteur/diamètre de 1 et un fond conique pour évacuer les sédiments. En général, on distingue quatre types de digesteurs qui sont représentés sur la figure 2.3 ci-dessous.

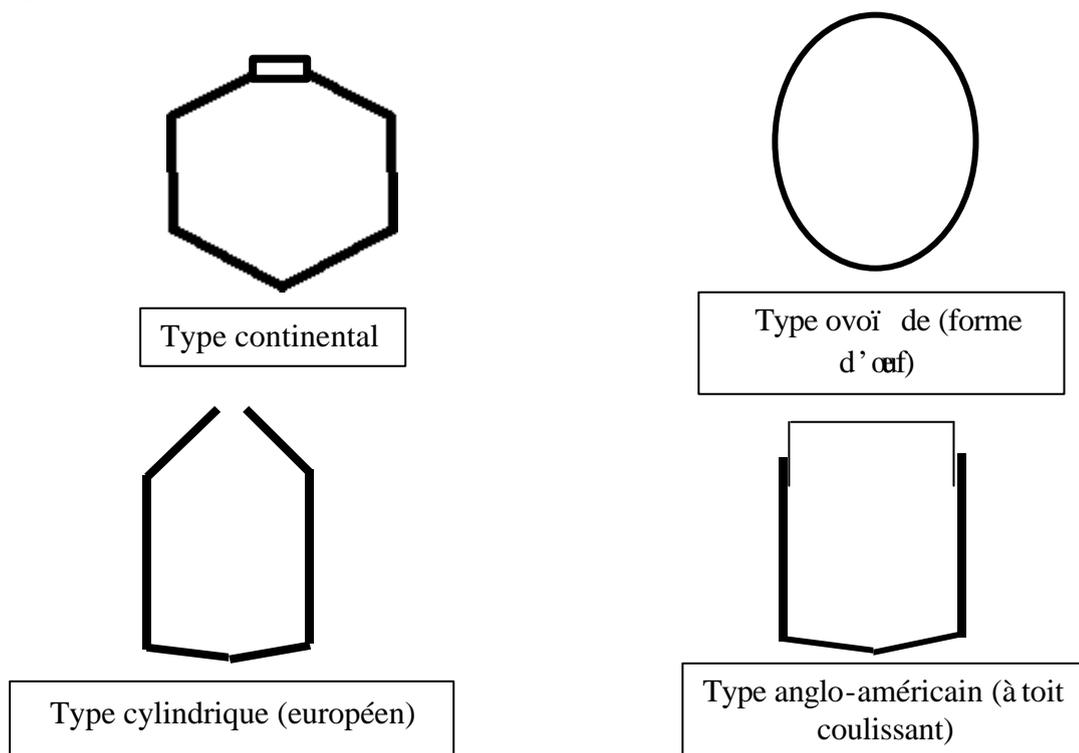


Figure 2.3 : Différentes formes de digesteurs à boues (Bode et Klauwer 1999)

En Allemagne, les formes ovoïdes sont développées, au Royaume Uni et en Scandinavie ce sont plutôt les digesteurs de type cylindrique et le type continental en France notamment ceux qui sont construits par la société DEGREMONT.

Le brassage des digesteurs se fait principalement par recirculation du biogaz qui est injecté par des cannes au fond du réacteur ou par des turbines installées dans le digesteur. Parfois, on trouve une recirculation de matière par des pompes externes. Le débit recommandé est de  $1\text{m}^3/\text{h}$  et par  $\text{m}^2$  de surface de digesteur.

Le brassage peut être aussi mécanique par hélice immergée.

La charge volumique appliquée est de quelques kilogrammes de MV/ $\text{m}^3$  de réacteur par jour avec des temps de séjour de 15 à 25 jours.

En « moyenne charge » on se situe à des charges de 0,8 à 1,2 kg de MV/ $\text{m}^3$  de réacteur/jour et les temps de séjour sont relativement grands.

En « fortes charges » on peut appliquer des charges de 2 à 5 kg de MV/ $\text{m}^3$  de réacteur par jour. Elles peuvent être à une ou deux stades. Lorsque l'on réalise la digestion en deux stades le temps de séjour dans le premier réacteur est de 10 à 15 jours et de 3 à 4 jours dans le second.

La teneur en matière des boues est de 20 à 30 g/l dans les digesteurs.

Le chauffage est réalisé par une recirculation des boues dans un échangeur souvent alimenté par de l'eau chaude, provenant soit d'une chaudière soit du système de refroidissement d'un moteur (cogénération). On peut avoir aussi un chauffage par immersion d'un échangeur dans le digesteur.

Quelques constructeurs de digesteurs de boues :

- Degremont France ;
- Cambi AS Norvège propose un couplage par traitement thermique-digestion anaérobie.
- .....

Un exemple d'installation de Krüger est représenté ci-dessous figure 2.4

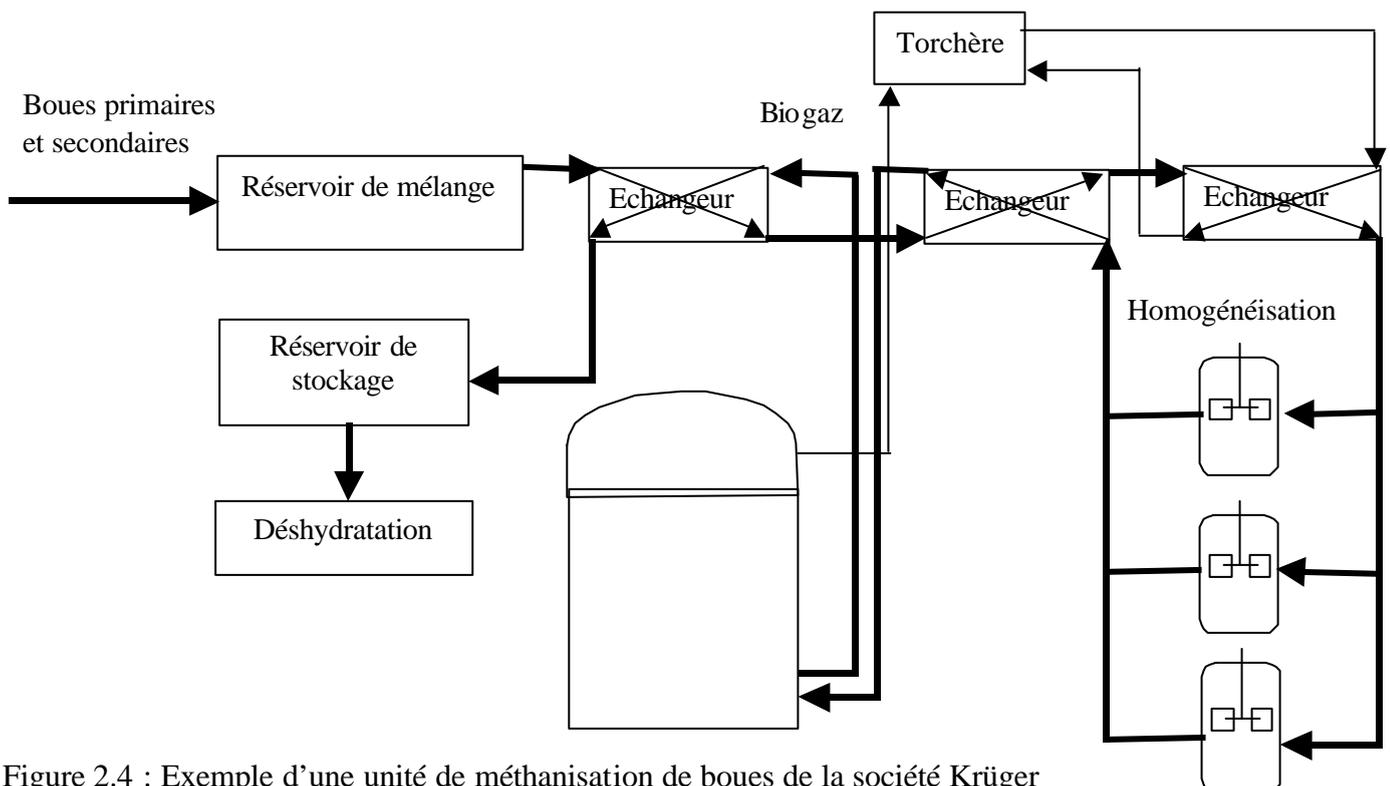


Figure 2.4 : Exemple d'une unité de méthanisation de boues de la société Krüger

## 2.7 Le biogaz

Il est composé principalement de  $\text{CH}_4$  (65 %) et de  $\text{CO}_2$  (35 %). La teneur en  $\text{H}_2\text{S}$  est de 0,3 à 0,5 % ce qui est trop élevé pour des moteurs à biogaz (maxi 0,15 %). Pour réduire cette teneur, on peut soit ajouter du chlorure ferrique dans le digesteur et provoquer la précipitation du sulfate de fer, soit ajouter de l'oxygène au biogaz pour oxyder  $\text{H}_2\text{S}$  (voir Chapitre III). Ceci, se fait par un ajout directement dans le ciel gazeux soit avant le traitement du biogaz dans un réacteur spécifique.

La quantité de biogaz produite est de 140 à 220  $\text{m}^3/\text{t}$  de MS suivant la fermentescibilité des boues.

## 2.8 Destination des boues digérées

La digestion anaérobie des boues réduit fortement leur volume et présente différents avantages notamment :

- elles sont plus faciles à déshydrater car on réduit la teneur en matière volatile colloïdale et hydrophile ;
- on obtient un compost plus stable et davantage hygiéniste : elles sont plus minéralisées que des boues fraîches et sont compostées avec des déchets verts ;
- le séchage thermique est plus efficace, plus sûr et plus économique : la digestion des boues réduit le volume à traiter, élimine les matières volatiles et limite donc les risques d'explosion lors du séchage, tout en fournissant l'énergie nécessaire ;
- le chaulage est facilité par un meilleur mélange (chaux plus boues) et réduit de 30 % la quantité de chaux nécessaire par rapport à la matière entrante.

Le devenir des boues digérées est représenté sur la figure 2.5.

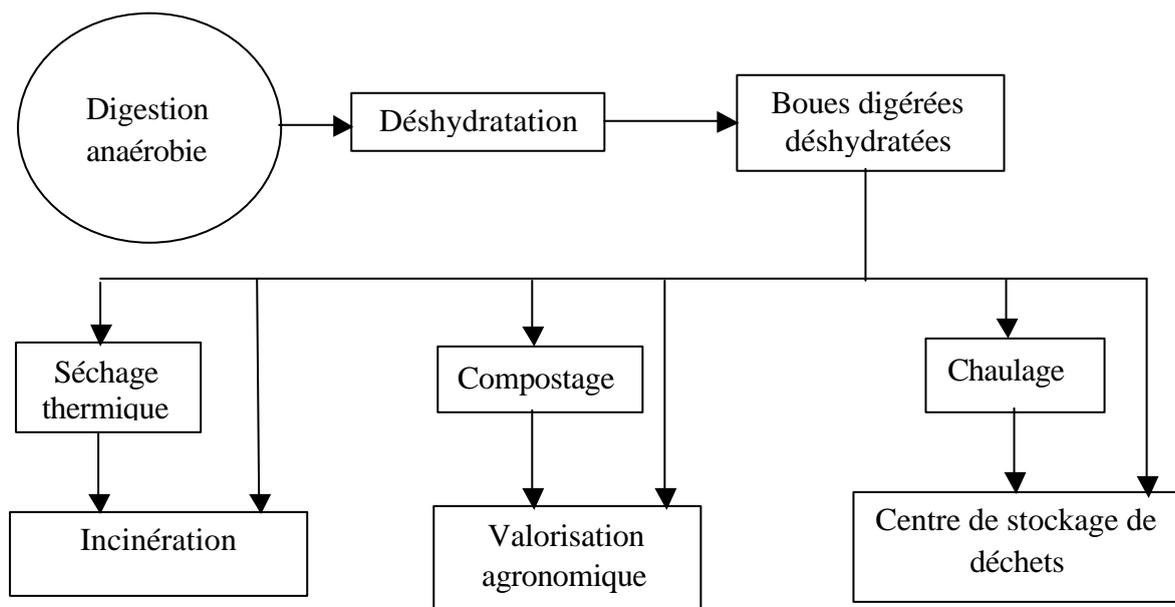


Figure 2.5 : Devenir des boues méthanisées.

Le devenir des boues digérées est soit l'incinération, soit l'épandage, soit la mise en décharge.

### 2.8.1 L'incinération des boues

La digestion des boues brutes avant incinération a plusieurs avantages :

- elle réduit la quantité d'eau à évaporer et donc les besoins énergétiques pour le faire ;
- elle réduit le volume de fumées à traiter ;
- la digestion anaérobie des boues diminue le pouvoir calorifique et peut les rendre non auto-combustibles. Ce pouvoir calorifique initial se retrouve dans le biogaz. C'est pourquoi elles sont mélangées à des déchets municipaux de façon à maintenir un pouvoir calorifique suffisant. Le biogaz produit peut servir de combustible d'appoint si nécessaire.

### 2.8.2 Le compostage des boues

La méthanisation des boues brutes avant compostage réduit :

- les nuisances olfactives ;
- contribue à l'élimination des agents pathogènes ;
- produit des boues plus homogènes ;
- augmente la proportion d'azote sous forme ammoniacale et donc une assimilation plus rapide des végétaux.

Les boues digérées sont généralement riches en phosphore, en calcium et moyennement riches en azote. La composition des boues mixtes digérées, déshydratées et non chaulées est représentée sur le tableau 2.5.

<b>Elément</b>	<b>Valeur moyenne (g/kg de MS)</b>	<b>Plage de variation (g/kg de MS)</b>
Azote total	45	30 à 60
N-NH <sub>4</sub>	4	0,5 à 6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50	40 à 80
K <sub>2</sub> O	3	1 à 4
MgO	6	4 à 9
CaO	80	60 à 120
Na <sub>2</sub> O	1	0,4 à 1,3
SO <sub>3</sub>	20	19 à 22
Rapport C/N	8	6 à 12

Tableau 2.5 : Composition des boues mixtes digérées, déshydratées et non chaulées

Le compostage des boues méthanisées, chaulées ou non, se fait en mélange avec d'autres déchets suivant le gisement disponible autour du site. On peut trouver des déchets verts, des déchets industriels, des graisses, du marc de raisins, des fumiers... et parfois aussi de la matière qui a une fonction structurante (écorces par exemple).

### 2.8.3 La mise en Centre d'Enfouissement Technique (CET)

La méthanisation des boues avant stockage en représentent les avantages suivants :

- transport moins coûteux ;
- la production de biogaz est plus faible en CET.

Cette voie était souvent utilisée en dernier ressort. Avec la législation qui impose la mise en décharge dans les CET des déchets ultimes, cette voie ne devrait plus être utilisée dans le futur.

### 2.8.4 Le devenir des boues du SIAAP

Les filières mises en œuvre, actuellement sur différents sites épuratoires du SIAAP pour l'élimination des boues, sont au nombre de trois. Par ordre décroissant d'importance on a :

- valorisation agricole essentiellement pratiquée à Seine aval et Seine amont ;
- incinération spécifique sur site dans les usines de Seine centre, Seine amont et Marne aval ;
- stockage en CET de classe 2 qui constitue une filière de secours pour toutes les usines.

Afin de faire face à l'augmentation de la quantité de boues produites, le SIAAP a retenu diverses voies possibles pour les éliminer. Ce sont :

- l'Oxydation par voie humide (OVH) ;
- séchage thermique et malaxage avec des produits fertilisants ;

La gazéification et la vitrification des résidus minéraux sont obtenues par l'incinération spécifique, par l'OVH et par la gazéification.

## 2.9 Données économiques

Le coût de la digestion anaérobie des boues de Step et plusieurs capacités de traitement sont reportés sur le tableau 2.6.

Capacité Step (EH)	Production de boues* (t/MS/an)	Amortissement sur 20 ans (Euro/t MS)	Exploitation (Euro/t MS)	Coût total (/t MS)
10 000	180	118	42	160
25 000	450	86	35	120
50 000	900	67	31	97
75 000	1 350	59	29	87
100 000	1 800	53	27	81
200 000	3 600	41	25	67
400 000	7 200	33	23	56

Les coûts investissement, exploitation et amortissement sont calculés sur 20 ans.

\* calculés avec 18 kg de MS/EH et par an.

Tableau 2.6 : Coût de la digestion anaérobie des boues de Step

- ADEME, *Données et références, (1999), Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde. ISBN-2-86217-406-6.*

- Agence de l'eau Adour Garonne, Solagro, (2001) *La digestion anaérobie des boues urbaines, Etat des lieux Etat de l'art.*

- Bode H. Klauver E. ,1999, *Advantages and disadvantages of different shapes in digester design, Water Quality International, march and April 1999, pp 35-40.*

- ADEME, Gaz de France, Solagro , *La valorisation du biogaz en Europe : Contexte réglementaire, fiscal, économique et politique (2001), ISBN 2-9509837-3-1*

- Degrémont : *Mémento technique de l'eau (édition 1989)*

# Chapitre 3

## Les procédés de traitement

### 3.1 Généralités sur les caractéristiques techniques mises en œuvre

Il faut tout d'abord noter que dans le domaine du traitement des déchets, il n'existe pas de technologie qui soit généralisable universellement. Comme souvent pour traiter des problèmes d'environnement, chaque implantation est un cas particulier qui doit avoir des solutions spécifiques. En effet, la nature des déchets varie en fonction des lieux, des périodes de l'année et les solutions apportées vont dépendre des contraintes non seulement techniques mais aussi politiques, inhérentes au site.

Nous rapporterons ci-dessous les grandes directions qui sont exploitées pour le traitement des déchets solides.

#### 3.1.1. Les pré-traitements des déchets

Avant d'être méthanisés, les déchets peuvent subir des pré-traitements pour faciliter l'accès à la matière organique et pour sélectionner la matière qui sera introduite dans les digesteurs.

Ces pré-traitements dépendent bien sûr des caractéristiques de la matière entrante.

Les opérations traditionnelles sont avant tout des opérations de tri, de broyage et de mélange :

- trommel dilacérateur pour ouvrir les sacs en plastique et trier;
- le broyage grossier pour permettre ensuite un tri volumétrique ;
- la dilacération de la matière par des couteaux tournants (hydropulpeurs) :
  - Ces couteaux tournent entre 300 et 900 RPM permettant d'améliorer l'accessibilité de la matière aux enzymes et donc d'améliorer la production de biogaz.
- les opérations de tri (magnétique, densimétrique, volumétrique) ;
- les mélanges du déchet à méthaniser avec l'inoculum ;
- une pré-fermentation des déchets :
  - Cette opération se ferait avec un temps de séjour de quelques jours et permettrait de mieux séparer les déchets avant leur introduction dans le digesteur. C'est le cas du procédé Valorga à La Varenne / France. Kompogas applique aussi cette technique. La matière est préfermentée pendant quatre jours ce qui permet de monter la température de la masse de biodéchets.

C'est donc la nature des déchets qui va conditionner la nature des prétraitements.

Les technologies appliquées en fermentation humide nécessitent un tri plus poussé que celles qui sont réalisées en fermentation sèche. En fermentation humide, les inertes peuvent décanter et se déposer en fond du digesteur. Dans les fermentations sèches, la densité est plus élevée et permet de les maintenir en suspension et de les extraire avec le digestat.

### **3.1.2. Méthanisation en une étape ou deux étapes**

Le principe de l'approche en deux étapes est de réaliser dans un premier réacteur la phase d'hydrolyse et d'acidogénèse où la matière organique sera transformée en monomère, AGV,  $H_2$ ,  $CO_2$  et qui rejoindra ensuite un second réacteur, dans lequel se réalisera l'acétogénèse et la méthanogénèse.

Dans le réacteur à une étape toutes les réactions se font dans le même réacteur.

Si l'on a vu apparaître des digesteurs industriels à deux étapes, pour traiter des déchets, parfois ils ont été reconvertis en procédé mono-étape. Linde a construit dernièrement un réacteur deux étapes à Barcelone (Ecoparc 1) en fermentation dite « humide ».

### **3.1.3 Température**

La température de digestion anaérobie est soit mésophile soit thermophile.

C'est à dire, qu'elle est réalisée à des températures comprises entre 30 et 40 degrés avec un optimum vers 37 pour la mésophilie et entre 50 et 60 degrés pour la thermophilie avec un optimum de 55 degrés C.

On voit que rarement des systèmes psychrophiles (réalisés à des températures inférieures à 20 degrés C).

### **3.1.4 Teneur en matière sèche**

La teneur en eau des déchets varie avec leurs origines. Des procédés de méthanisation peuvent fonctionner jusqu'à 50 % de matière sèche. Plus la teneur en eau sera importante, plus la réaction sera rapide mais plus il faudra éliminer l'eau dans les boues produites.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, on classe les procédés de traitement des déchets en fonction de leur teneur en matière sèche :

- un procédé « humide » a des valeurs inférieures ou égales à 20 % de matière sèche (MS) ;
- un procédé « sec » au-delà de 20% de MS (jusqu'à 50 % en général).

La teneur en matière sèche ne présente pas un critère discriminatoire vis à vis des performances de la digestion anaérobie. Luning et coll (2002), par exemple, ont comparé les performances d'un procédé à fermentation sèche, le digesteur Valorga à La Coruna (à 25 % de MS) avec celui Vagron à Groningen (fermentation humide à 12 % de MS).

Les deux procédés ont des performances semblables mais diffèrent dans la composition de la teneur en matière organique en fin de digestion (dans le digestat).

Les procédés humides (qui imposent un retrait drastique des matières inertes pour qu'elles ne s'accumulent pas dans le digesteur) ont des teneurs en matières organiques plus élevées que celles des procédés à fermentation sèche.

Si on s'intéresse au devenir du digestat, cette particularité peut devenir pénalisante à cause de la législation.

En effet la législation Allemande concernant le traitement mécanique et biologique des déchets solides municipaux (Abfallablagerungsverordnung Abfab IV) implique que la teneur en Carbone Organique Total (COT) du compost doit avoir moins de 18 % en mass. En retirant les inertes en début de traitement, ce COT sera plus élevé pour les fermentations humides que pour les sèches.

*Lunning L., van Zundert E.H.M., Brinkmann A.J.F. (2002), Comparison of dry and wet digestion principle for solid waste, Proceeding of 3th international Symposium on anaerobic digestion of solid waste, Munich, 18<sup>th</sup> to 20 September 2002.*

### **3.1.5. Mono-substrats ou co-substrats**

Les déchets méthanisés peuvent avoir pour origine :

- une seule filière, on dit alors que l'on a une fermentation en mono-substrat (bien que le nombre de molécules qui arrivent est très divers) ;
- plusieurs filières et on dit que l'on méthanise des co-substrats.

Si le digesteur est installé dans une usine ou dans une ferme, il fonctionne souvent en mono-substrat. S'il exploite un gisement de déchets dans une zone géographique donnée, il méthanise souvent des co-substrats.

Des substrats peuvent venir de très loin. Par exemple, on transporte de France vers le Danemark de « terre de décoloration usagée » de l'huile alimentaire.

Les co-substrats présentent l'avantage de la variabilité des sources d'approvisionnement ce qui permet une diminution de l'influence des fluctuations saisonnières, elle permet également d'introduire des substrats rémunérateurs lors du traitement de déchets agricoles notamment ceux qui proviennent de l'industrie agro-alimentaire.

### **3.1.6 Les réacteurs limites**

La digestion anaérobie des déchets peut être mise en œuvre dans des systèmes en continu (souvent semi-continu c'est à dire avec une ou des alimentations séquentielles dans la journée) ou carrément en discontinu.

Les deux réacteurs de base (ou réacteurs limites) sont les réacteurs mélangés (homogènes) ou pistons.

- Les réacteurs mélangés

Le schéma de principe est représenté sur la figure 3.1.

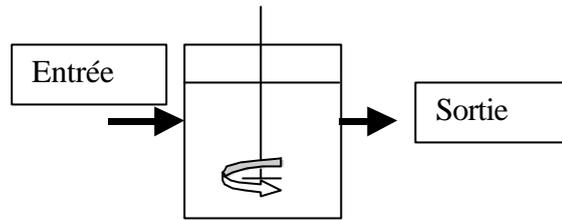


Figure 3.1 : Schéma de principe d'un réacteur mélangé fonctionnant en continu.

Les systèmes d'agitation utilisés sont :

- pales sur axe vertical dans le digesteur mélangé ;
- recirculation du biogaz par le bas du digesteur ;

- Les réacteurs pistons

Le schéma de principe est représenté sur la figure 3.2.

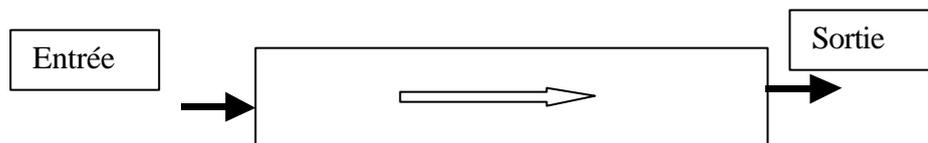


Figure 3.2 : Schéma de principe d'un réacteur « piston » fonctionnant en continu

Les systèmes d'agitation principalement utilisés sont :

- recirculation du digestat de sortie par une pompe extérieure ;
- hélices sur axe longitudinal sur réacteur piston horizontal ;
- pales sur axes transversaux sur réacteur piston horizontal.

Le positionnement du réacteur piston peut être vertical ou horizontal.

S'il est horizontal, il a besoin d'un système pour faire avancer la matière. Cela peut être, un piston mécanique qui pousse la matière entrante dans le digesteur et permet ainsi sa sortie ou bien on dispose d'hélices à l'intérieur du système qui font avancer la matière. Le système « transpaille » du CIRAD, par exemple, fait avancer la matière avec un piston mécanique.

Le réacteur piston est souvent positionné verticalement et ne nécessite théoriquement pas de système pour pousser la matière. Une recirculation externe, du bas vers le haut, permet un effet de mélange.

Les digesteurs peuvent être en acier ou en béton. Ils sont cylindriques, cylindro-coniques ou parallélépipédiques.

## 3.2 Technologie des réacteurs de digestion anaérobie

Il est évident que les digesteurs industriels ont un comportement intermédiaire en les modèles “mélangés” et “pistons”. Nous verrons ci-dessous les principales technologies utilisées pour la méthanisation de déchets.

### 3.2.1. Digesteurs “continus” fonctionnant en une étape

#### 3.2.1.1 Agitation par le biogaz

- **Par la recirculation du biogaz**

- le biogaz est apporté dans le bas du réacteur.

C’est un système de fermentation «continu» à fermentation sèche (figure 3.3). Ici, le biogaz est apporté par des buses qui sont réparties au bas du réacteur. Il est introduit séquentiellement toutes les 20 minutes zone par zone. Une séparation à l’intérieur du réacteur confère au système un caractère piston horizontalement et l’introduction du biogaz apporte un caractère mélangé verticalement.

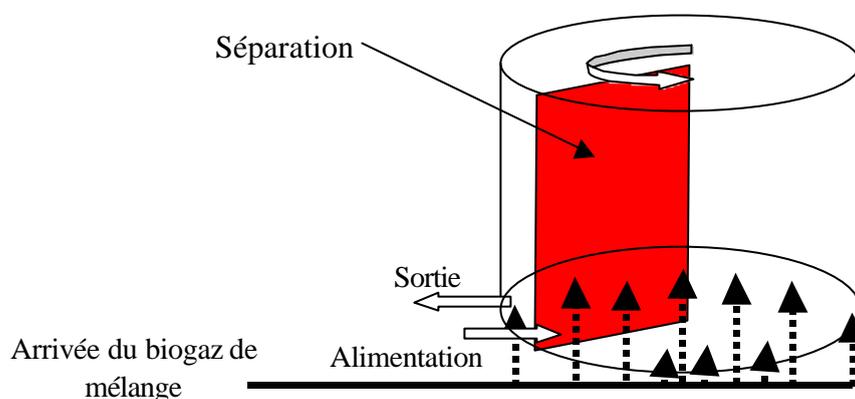


Figure 3.3. : Schéma de principe d'une agitation par introduction de biogaz par le bas.

- Le biogaz est injecté dans un tube central

Ici, le biogaz est envoyé avec un débit important dans une tubulure centrale, qui induit une recirculation du milieu de fermentation (figure 3.4). Cette technique est appliquée aux fermentations humides. Un agitateur de paroi peut compléter le système. L'injection de l'alimentation peut se faire par une introduction sous pression tangentielle ce qui permet aussi une agitation de milieu.

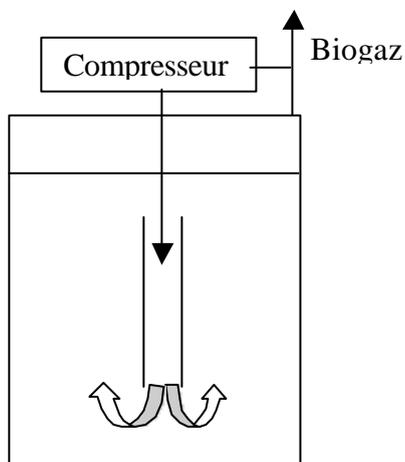


Figure 3.4 : Schéma de principe de l'agitation par introduction de biogaz dans un tube central

- **Par le biogaz formé**

Le principe consiste à avoir deux chambres (figure 3.5). La vanne qui relie leur ciel gazeux est fermée. Le biogaz formé s'accumule dans la chambre 1 créant un mouvement de la matière de la chambre 1 vers la chambre 2. Le biogaz sort par le ciel gazeux de la chambre 2. La mise en connexion des ciels gazeux des deux chambres rééquilibre les pressions et le liquide redescend dans la chambre 2 et remonte dans la chambre 1. Le biogaz formé précédemment sort. Le cycle ensuite recommence. Cette technique est appliquée aux fermentations humides principalement.

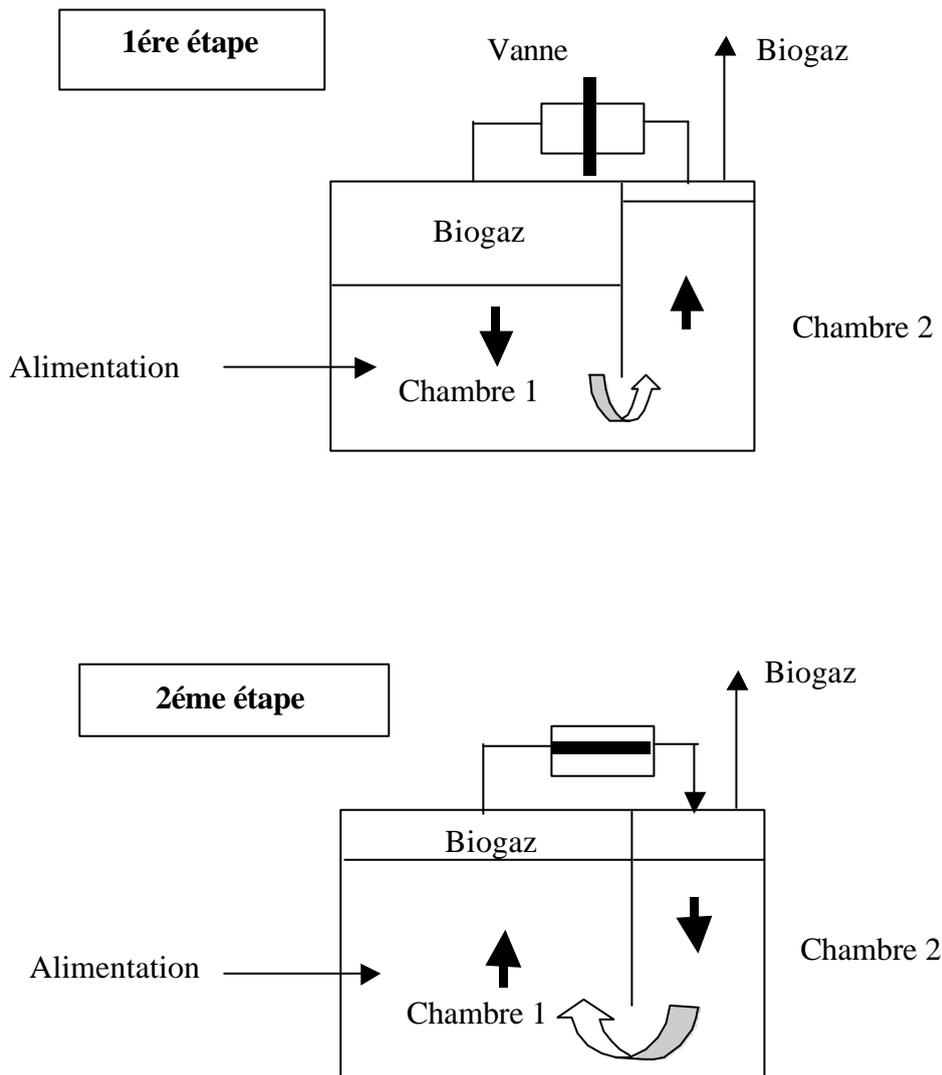


Figure 3.5 : Schéma de principe de l'agitation par le biogaz formé.

### 3.2.1.2. Agitation par action mécanique

Elle consiste en une agitation par pales ou par pompes qui recircule la matière.

- **Agitation par pales**

L'agitation par pales peut être réalisée dans des digesteurs "mélangés" ou dans des réacteurs de type "piston".

- Digesteurs "mélangés"

Des pales sur un axe vertical tournent et assurent le mélange (figure 3.6). Cette agitation peut être complétée par un agitateur latérale interne fixé sur la paroi.

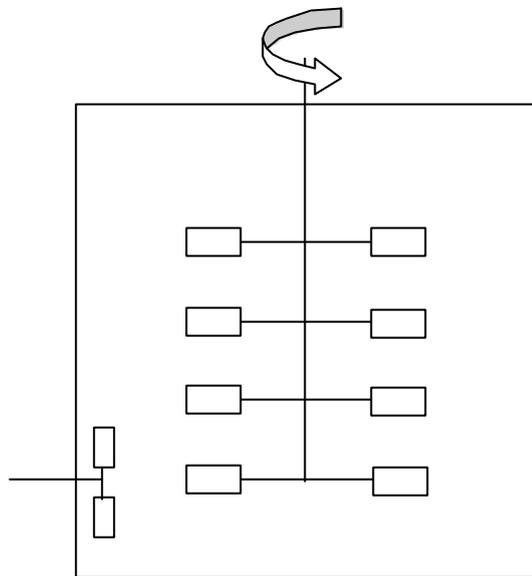


Figure 3.6 : Schéma du digesteur agité par pales

Dans le domaine agricole, on utilise aussi des digesteurs avec un système d'agitation excentré et un réservoir de biogaz au-dessus du digestat (figure 3.7.)

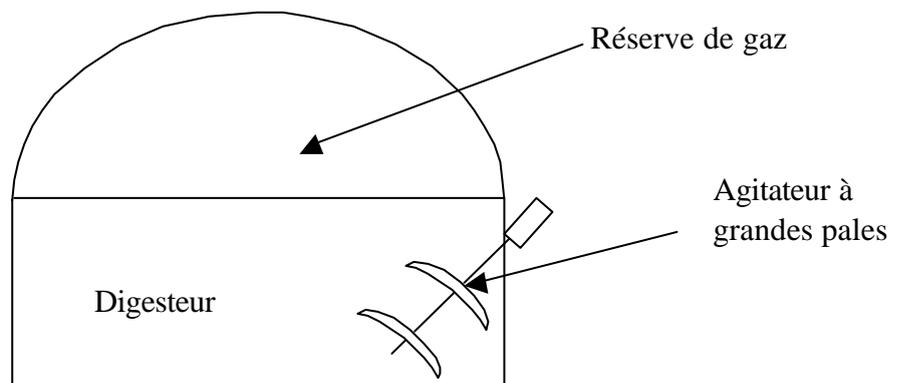


Figure 3.7. : Digesteur à agitation excentrée et à réserve de biogaz incorporé.

- Digesteur de type “piston”

Le réacteur est de type cylindrique, posé horizontalement avec un axe d’agitation qui est longitudinal ou des axes d’agitation qui sont transversaux. Ce principe peut être appliqué en fermentations humides ou sèches.

Pour les digesteurs à axes horizontaux, des pales font avancer le digestat. Un système de va et vient, en bas du réacteur, empêche l’accumulation des matériaux lourds dans le digesteur (figure 3.8.).

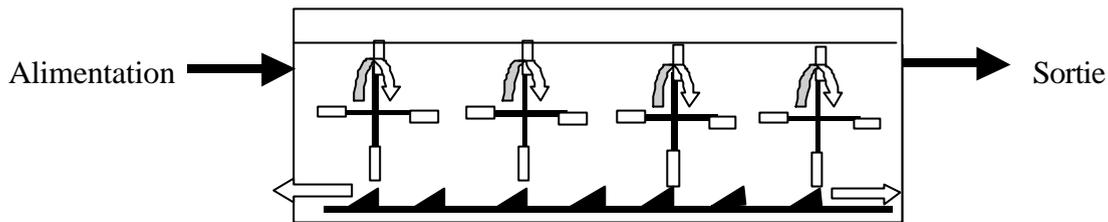


Figure 3.8 : Schéma du digesteur à mélange par axes transversaux

Pour le digesteur à axe longitudinal, des pales tournent et font avancer le digestat (figure 3.9)

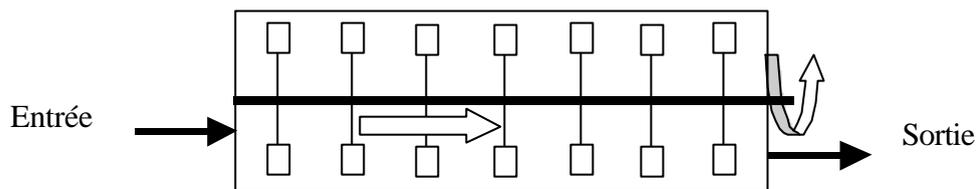


Figure 3.9 : Schéma du digesteur à mélange par axe longitudinal

- **Agitation par le déplacement du digestat**

- Recirculation en tête du réacteur

Dans ce cas de figure, le digestat est repris en sortie et mélangé avant d’être réintroduit en tête du digesteur (Figure 3.10). Cette technique est appliquée en fermentation sèche.

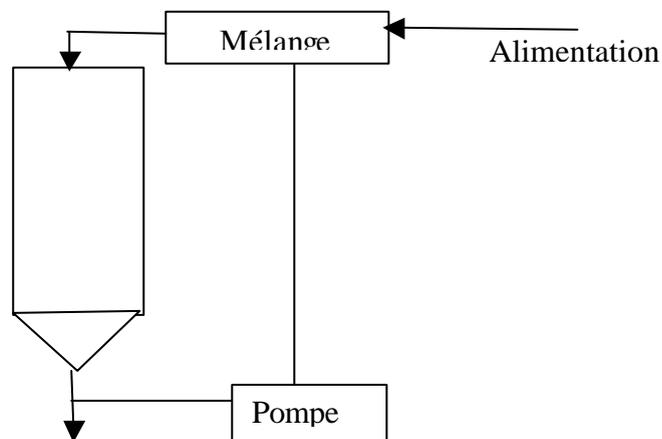


Figure 3.10 : Schéma du digesteur à recirculation du digestat

### - Déplacement du digestat par pulsations

Il s'agit ici de faire un micromélange en obligeant le digestat à passer à travers des grilles perforées. C'est un réacteur de type « pulsé » (figure 3.11). Cette stratégie est appliquée en fermentation humide.

La fosse A est pleine de digestat. La pompe l'envoie dans le bas du digesteur ce qui fait remonter le digestat qui est dans B. Quand A est vide, la pompe fonctionne à l'envers et A se remplit ce qui entraîne une descente du digestat qui passe à travers les grilles. Ce passage à travers les grilles permet un bon mélange du système. Ce mouvement se fait donc en remplissant ou vidant un réservoir en haut du digesteur.

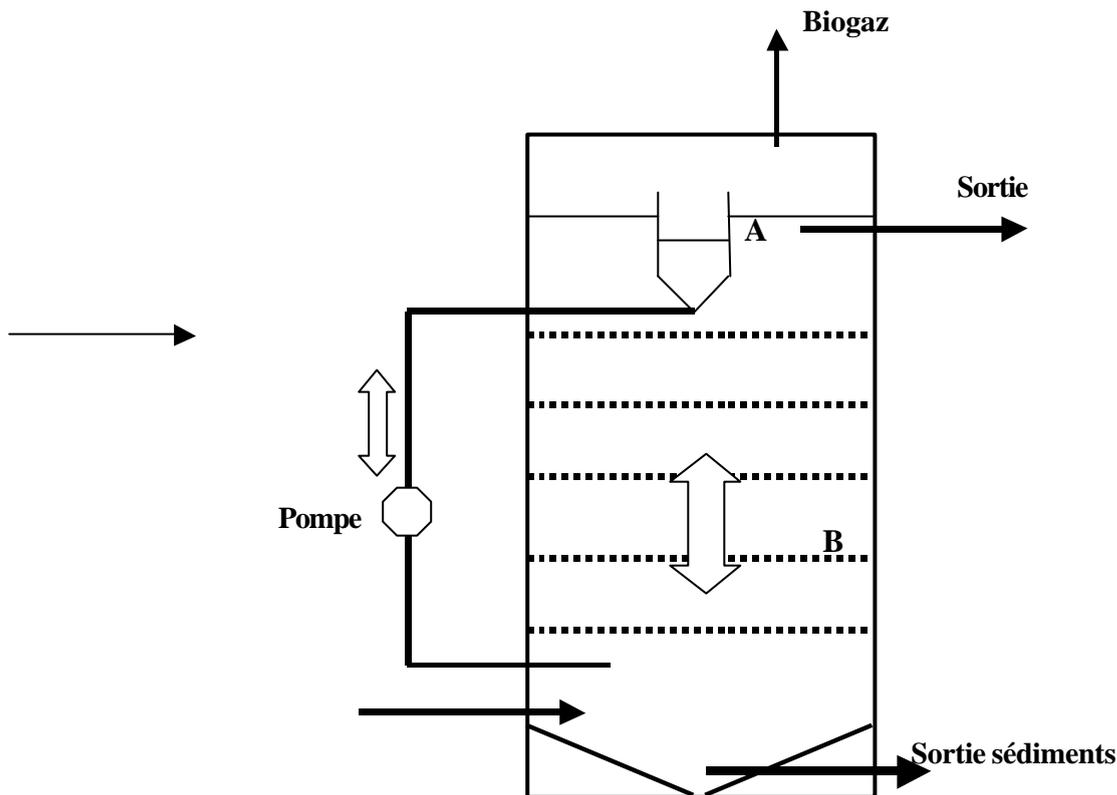


Figure 3.11 : Schéma du digesteur pulsé

### 3.2.2. Digesteurs continus à deux étapes

L'avantage des systèmes à deux étapes réside dans une meilleure stabilité (comme pour les effluents) mais ils induisent des investissements plus importants que les systèmes mono-étapes. Cette approche peut se justifier lorsque le gisement conduit à l'introduction d'une grande variabilité dans la fermentescibilité des déchets. ( Néanmoins le caractère piston des fermentations sèches minimise ce problème en « séquestrant » la matière).

Elles consistent en deux stratégies possibles :

- Hydrolyse et acidification partielle de la matière dans le premier réacteur avant son introduction dans le second digesteur de méthanisation ;
- Hydrolyse et acidification de la matière dans le premier réacteur (production de lixiviat) avec introduction de la phase liquide uniquement dans le second digesteur.

Elles sont représentées en (1) et (2) sur la figure 3.12. Si dans le premier cas, on a deux réacteurs traitant de la matière solide, dans le second cas, le réacteur de méthanisation peut être un système appliqué au traitement des effluents.

La première stratégie consiste à mettre en oeuvre des couplages de fermentation « humides / humides ou « sèches / sèches » en thermophilie ou mésophilie.

La phase d'hydrolyse et d'acidogénèse peut être réalisée en anaérobiose ou en introduisant de l'oxygène, car la perte de matière organique soluble due à la formation de biomasse est largement compensée par une acidogénèse plus rapide.

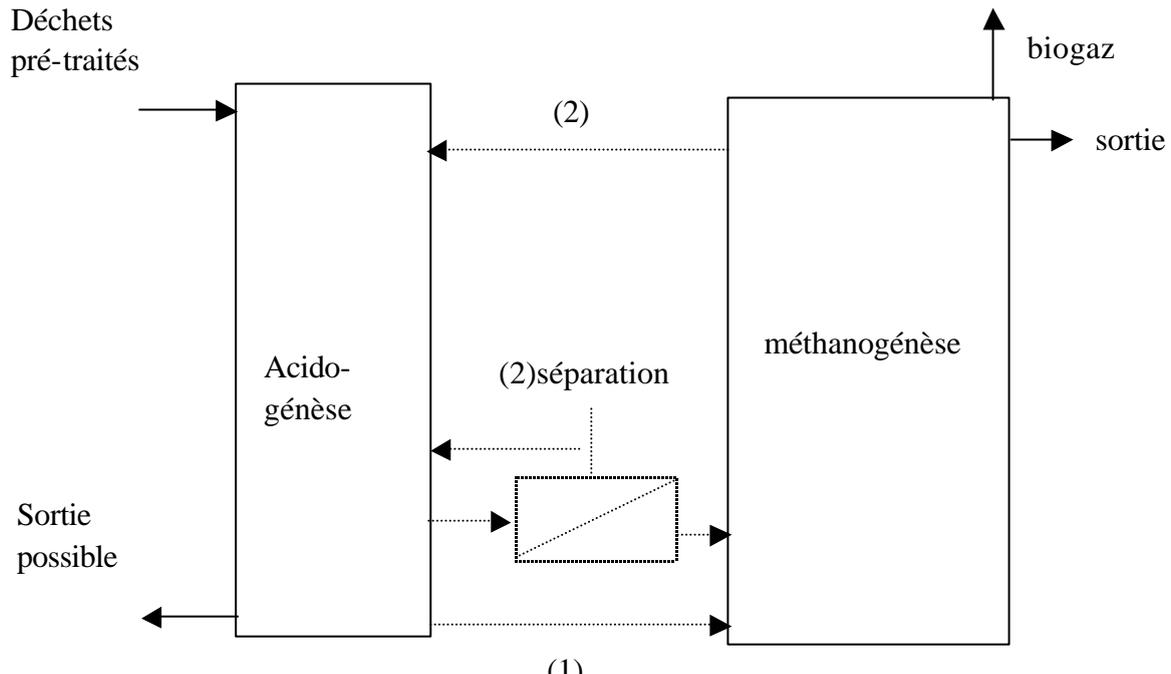


Figure 3.12 : Stratégies de mise en oeuvre (1) de la digestion anaérobie en deux étapes : (1) couplage direct, (2) séparation des liquides et des solides avec recirculation du lixiviat épuré.

La seconde stratégie consiste donc à produire un lixiviat de déchets et l'envoyer dans un digesteur traitant des effluents. Le système de rétention des micro-organismes peut être un système à décantation (si des particules passent dans le second digesteur) ou à cellules fixées (filtre anaérobie) si les particules sont bien retenues dans le premier réacteur.

L'effluent sortant du réacteur de méthanisation peut être renvoyé dans le réacteur d'acidogénèse pour remonter le pH et se « recharger » en matière organique.

### 3.2.3. Digesteur discontinu sans agitation

Le principe consiste en la réalisation du mélange inoculum plus matière à digérer et à laisser fermenter le temps nécessaire. Une recirculation du lixiviat permet une bonne activité microbiologique. Cette stratégie, qui est réalisée dans des cellules en béton, est conduite en décalant les périodes de fonctionnement afin d'avoir une production de méthane et de digestat en continu. Le schéma de principe est indiqué sur la figure 3.13.

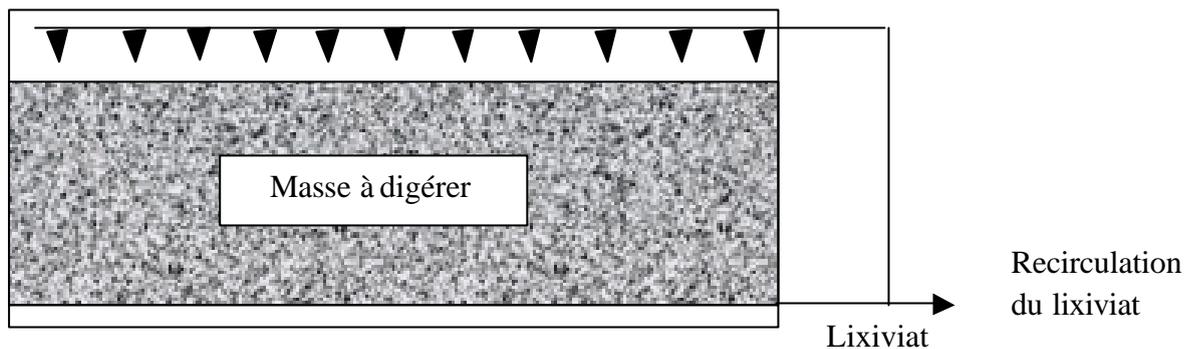


Figure 3.13 . : Digestion anaérobie avec cellules

### 3.3. Exemples d'application des principaux constructeurs européens traitant des ordures ménagères ou assimilées

#### 3.3.1 Société Babock Steimüller Valorga

Elle commercialise le procédé Valorga. La société Valorga a été créée en 1981. Elle fait actuellement partie du groupe allemand Babcock et s'appelle toujours (pour l'instant) Steimüller Valorga. Cette société et la société belge OWS (Organic Waste System- procédé DRANCO) ont été les premières à proposer la méthanisation des déchets ménagers en Europe.

Cette société dispose actuellement de 13 références en fonctionnement ou en construction.

Le procédé Valorga est un système basé sur la mise en agitation du milieu par recirculation de biogaz. Un mur central oblige la matière à suivre un chemin bien déterminé. Le schéma du digesteur est représenté sur la figure 3.14. ci-dessous.

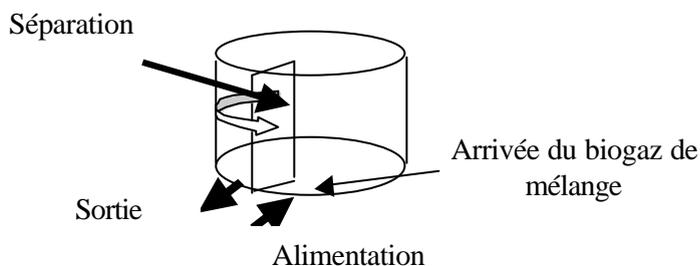


Figure 3.14. : Schéma de principe du digesteur Valorga

L'alimentation arrive en bas du réacteur et contourne la séparation interne, ce qui confère au système une configuration de réacteur piston dans le sens horizontal mais mélangé dans le sens vertical. Du biogaz est injecté séquentiellement en bas du réacteur, ce qui permet un mélange principalement vertical. Le réacteur est divisé en 4 secteurs et toutes les 20 minutes 40 m<sup>3</sup> de biogaz à 7 bars sont injectés par des tubes espacés de 60 cm environ.

La teneur en matière sèche du réacteur est de 25 à 35 % et il fonctionne en mésophile. Deux digesteurs (Freiburg et Genève) sont en thermophilie.



réacteurs de 3 300 m<sup>3</sup> chacun. Ces réacteurs fonctionnent en système piston et en mésophilie (40 deg. C.).

Le biogaz est ensuite conduit à l'unité de purification avec le biogaz issu de la décharge qui se situe près de ce site.

Le produit en sortie est ensuite envoyé dans une presse à vis pour réduire la quantité d'eau. Le liquide qui en est issu va vers un hydro-cyclone pour éliminer les fines particules et une unité de floculation filtration pour éliminer les matières en suspension. L'effluent va ensuite en station d'épuration et la fraction solide va en compostage aérobie pendant 4 semaines.

Ici l'air des bâtiments est récupéré et traité dans un biofiltre.

- **Performances du système**

Elles sont :

- un temps de séjour qui varie entre 20 jours en période normale et 55 jours en période « calme » ;
- une teneur en matière sèche qui est de 30% environ ;
- la productivité en méthane qui dépend de la composition des déchets et du temps de rétention des solides. Elle est de 290 m<sup>3</sup>/t de MV en hiver et de 210 m<sup>3</sup>/t de MV en été ;
- les charges massiques appliquées sont de 3 à 4,5 kg de MV/m<sup>3</sup> de réacteur par jour.

Après 2 mois de fonctionnement, l'alcalinité atteint sa stabilité avec des valeurs de 18 g/l (exprimées en Ca CO<sub>3</sub>) et la concentration en ammoniacale s'est stabilisée avec 3g/l de N. Le pH s'est maintenu entre 7,6 et 8. Dans le digestat, la teneur en AGV est inférieure à 1,7 g/l (exprimé en C2) et c'est principalement l'acide acétique qui est présent.

- **Aspect sanitaire.**

Le compost obtenu après déshydratation partielle et stockage aérobie, ne montre pas de présence de salmonelle (dans 25g) de moins de 1 000 E. coli mpn/g)

*Fruteau de Laclos H., Desbois S., Saint Joly C., (1997), Anaerobic digestion of municipal solid organic waste : Valorga full-scale plant in Tilburg, The Netherlands, Water Sciences Technology, Vol 36, No 6-7, pp 457-462*

### **3.3.2 Société OWS (Organic Waste System)**

C'est une société belge. Elle commercialise le procédé Dranco mis au point par l'équipe du professeur Willy Werstraete à Gand. Elle dispose actuellement de 8 références en fonctionnement ou en construction.

C'est un digesteur tubulaire vertical qui recircule une grosse fraction du digestat (ce qui lui confère un caractère plus ou moins homogène). Il fonctionne en thermophile à 55 degrés C. C'est un procédé qui méthanise à « sec » et sa teneur en matière sèche est entre 25 et 40 %.

### Exemple : Procédé Dranco, Brecht I Belgique

Sur le site de Brecht, il y a deux digesteurs. Le premier de 800 m<sup>3</sup> a été mis en service en 1992 (Brecht I). Le second de 3 150 m<sup>3</sup> a été mis en service en 2000 (Brecht II - voir visite de sites paragraphe 3.4).

- **Le procédé**

Le premier est donc un digesteur de 800 m<sup>3</sup> thermophile. Il traite pour la société IGEAN les déchets fermentescibles plus les papiers non recyclés. Sa capacité est de 20 000 t/an. Le schéma de l'installation est représenté sur la figure 3.16 ci-dessous.

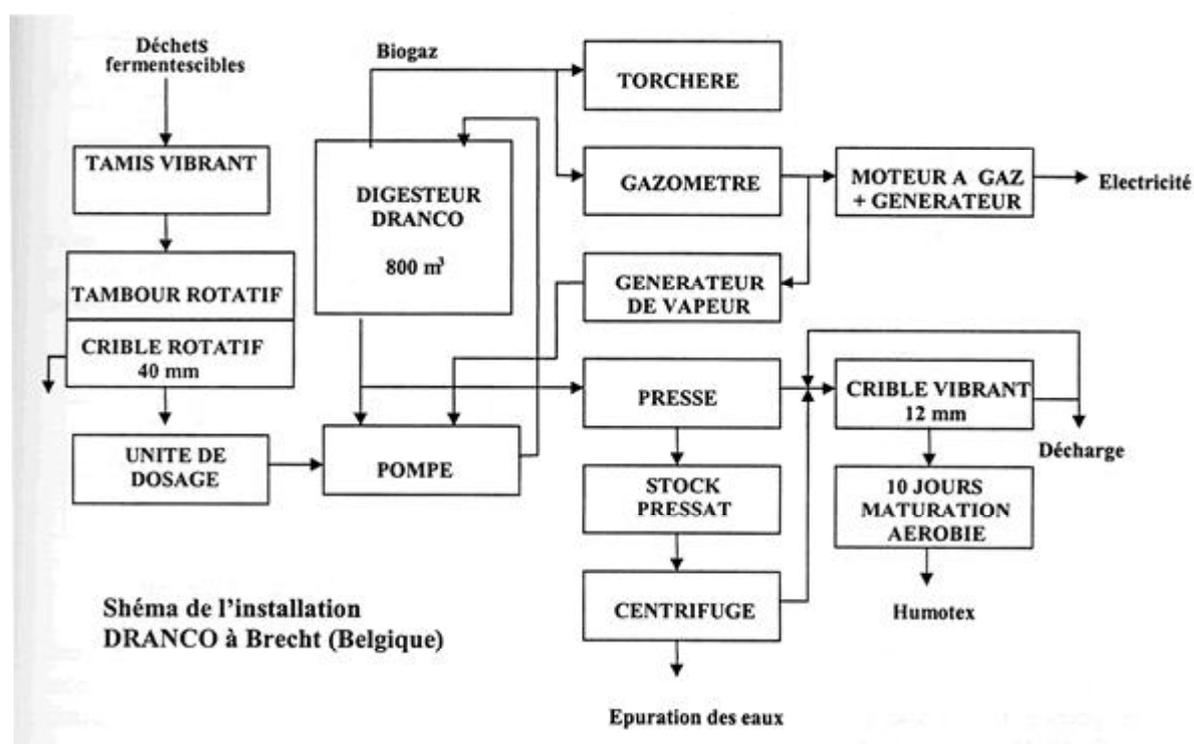


Figure 3.16 : Schéma de l'installation DRANCO à Brecht (Belgique)

- **Caractéristiques et performances du système**

Les caractéristiques et les performances (en 1998) sont reportées dans le tableau 3.1 ci-dessous :

Alimentation (tonnes/an)	20 049
Rendement de production de Biogaz	102,5 Nm <sup>3</sup> /tonnes (à 55 % de CH <sub>4</sub> )
Productivité (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de réacteur/jour)	9,2
Temps de rétention (Jours)	15,3 (13,7 hors hiver, mars à novembre)
Charge organique par jour (kg MV/m <sup>3</sup> ) et en (DCO/m <sup>3</sup> )	14,9 18,4 (65% de conversion)
Matières sèches	31,3 % (25 à 37 %)
pH	8,3
Hauteur du digesteur	19,6 m

Tableau 3.1 : Caractéristiques et performances du procédé DRANCO (Brecht I)

- **Exemple de trois applications du procédé Dranco**

Le tableau 3.2 compare les caractéristiques de trois unités industrielles traitant des substrats différents.

<b>Unité DRANCO</b>	<b>Salzburg, Autriche</b>	<b>Brecht I, Belgique</b>	<b>Bassum, Allemagne</b>
Capacité (t/an)	20 000	20 000	13 500
Déchets de cuisine	80	15	Déchets gris
Déchets verts	20	75	
Déchets papiers	-	10	
Matière sèche du substrat	31 %	40 %	57 %
Matière volatile du substrat (base matière sèche)	70 %	55 %	51 %
Matière sèche dans le digesteur	22 % (17 - 27 %)	31 % (25 - 37 %)	41 % (35 - 45 %)
Rendement Nm <sup>3</sup> de biogaz / tonne de déchet	135	103	147

Tableau 3.2 : Exemple de trois unités industrielles Dranco traitant des substrats différents

L'unité de Salzbourg traite une fraction humide de biodéchets avec une teneur en matière sèche de 31 %. L'unité de Brecht I inclus aussi des déchets de zone rurale avec des papiers non recyclés et ils ont une teneur en matière sèche d'environ 40 % avec une teneur en solide volatil de 55 %. Bassum traite des déchets gris (les déchets gris sont les déchets qui restent après un tri à la source où l'on a enlevé les biodéchets, mais qui contiennent encore une quantité significative de matière organique, principalement des aliments et du papier non recyclé). Ces déchets gris sont broyés et tamisés à 40 mm et 30 mm. Le verre est présent à 10 - 15 % du poids et la matière sèche est de 57 % avec 51 % de solides volatils.

D'un point de vue énergétique, la contribution de la production d'un biogaz valorisable par la digestion anaérobie n'est pas négligeable dans le bilan du traitement des déchets.

En Effet, la digestion anaérobie d'une tonne de substrat nécessite en moyenne 15 kWh de plus que le compostage aérobie. Mais, le fait que l'on produise un biogaz énergétique inverse le bilan énergétique.

Pour ces trois unités industrielles, le surplus énergétique produit est de 165 kWh, 220 kwh, et 245 kwh par tonne (de matière entrante) pour les unités respectivement de Brecht I, Salzburg et Bassum. Ceci représente une valeur de 14 à 21 euro par tonne.

*De Baer L., 2000, Anaerobic digestion of solid waste : state of art, Water science Technology, vol 4, No 3, pp 283-290*

### 3.3.3 La société ARCADIS

C'est une société hollandaise qui commercialise le procédé Biocel. Elle dispose actuellement d'une seule référence. Le principe est simple et original et mérite d'être développé.

C'est un procédé de méthanisation mésophile à forte concentration en matière sèche (30 à 40 %). Il fonctionne en discontinu.

Exemple du site

En septembre 1997, le premier réacteur industriel a été construit à Lelystad en Hollande. Il traite 50 000 t/an de biodéchets issus des déchets municipaux (biowaste). Le seul prétraitement est une observation visuelle à l'arrivée pour enlever les parties non organiques ou les gros morceaux de bois.

La figure 3.17 représente le procédé.

- **Le procédé**

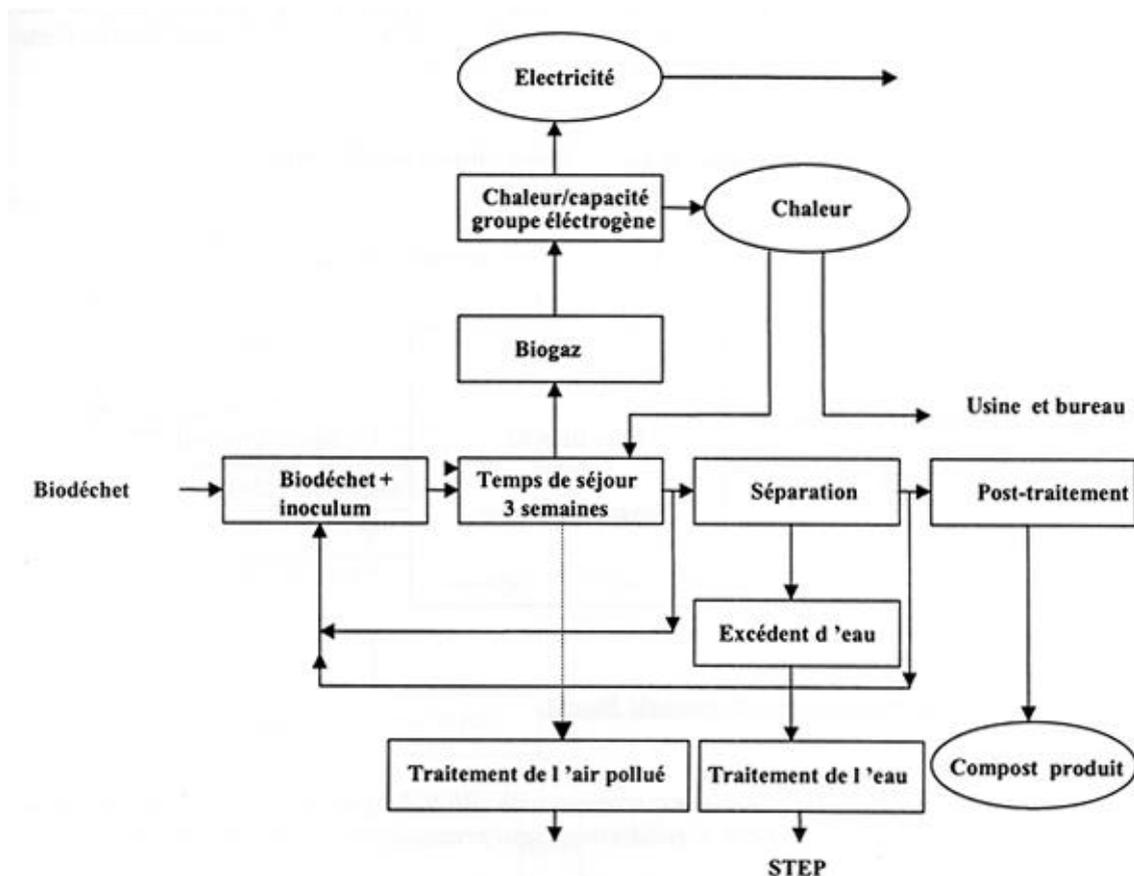


Figure 3.17 : Schéma du procédé Biocel

La digestion anaérobie est réalisée dans 14 cellules en béton de 720 m<sup>3</sup> chacune (Haut.x Larg.x Long. : 6x6x20m). Le sol est muni de trous pour récupérer les lixiviats et la hauteur de chargement des déchets est de 4 mètres (soit 480 m<sup>3</sup> de déchets). Les cellules sont chargées par des tractopelles par un mélange de biodéchets et de boues anaérobies. Après le chargement, les cellules sont fermées hermétiquement et sont mises sous une dépression de 500 Pa. Le biogaz est recueilli continuellement et envoyé en continu au générateur d'électricité. La température est contrôlée à 35/40 deg . C. en sprayant du lixiviat chauffé sur le haut des déchets. Après 21 jours, la production de biogaz est pratiquement nulle et les cellules sont déchargées par des tractopelles.

Les charges appliquées sont de 4,5 kg de MV/m<sup>3</sup> de réacteur par jour avec des rendements de 170 m<sup>3</sup> de méthane par m<sup>3</sup> de déchet.

Les boues (ou le compost anaérobie) sont ensuite compostées en aérobie. Pour cela, elles sont partiellement déshydratées et subissent des fractionnements qui consistent en un tamisage rotatif, un séparateur de caillou, un hydrocyclone et une centrifugation. Plusieurs fractions sont produites, 0-4 mm , 4-15 mm, 15-50 mm. En fonction des débouchés de ces fractions, on les met à composter ou non.

- **Bilan matière**

L'équilibre matière est représenté sur la figure 3.18 ci-dessous. Le procédé montre une production d'énergie qui permet d'éviter la production de CO<sub>2</sub> à partir de l'énergie fossile. Cette économie est évaluée à 1 kg de CO<sub>2</sub> / tonne de déchets traités.

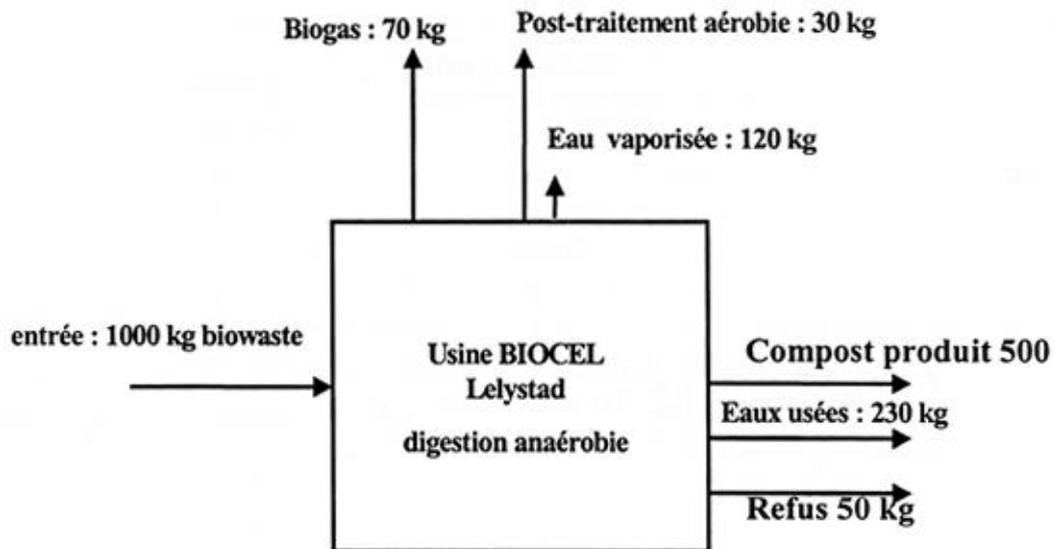


Figure 3.18. : Equilibre matière du procédé Biocel

*Ten Brummeler, 1999, Full scale experience with BIOCEL-process, Second international symposium on anaerobic digestion of solid wastes, oral presentations, Barcelona pp308-314*

### 3.3.4 VINCI Environnement

C'est une société qui commercialise actuellement le procédé Kompogas. Au printemps 2001, elle avait 17 références. Elle est basée à Rueil Malmaison.

Ce sont des containers horizontaux de forme cylindrique qui forment des modules de 5 000 t/an (voire 10 000 maintenant). Ils forment des unités capables de traiter 15 000 à 25 000 t/an. Ce système de modules les confine sur le traitement de petites capacités car leur multiplication entraîne des coûts importants. C'est un procédé thermophile qui fonctionne avec de forte teneur en matière sèche, 25 à 35 %. Un schéma de principe de ce type de réacteur est représenté sur la figure 3.19.

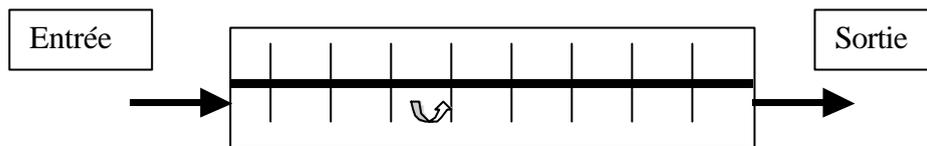


Figure 3.19 : Schéma de principe du réacteur Kompogas.

#### Exemple d'un procédé type Kompogas

- Le procédé

Un exemple de filière est représenté ci-dessous figure 3.20.

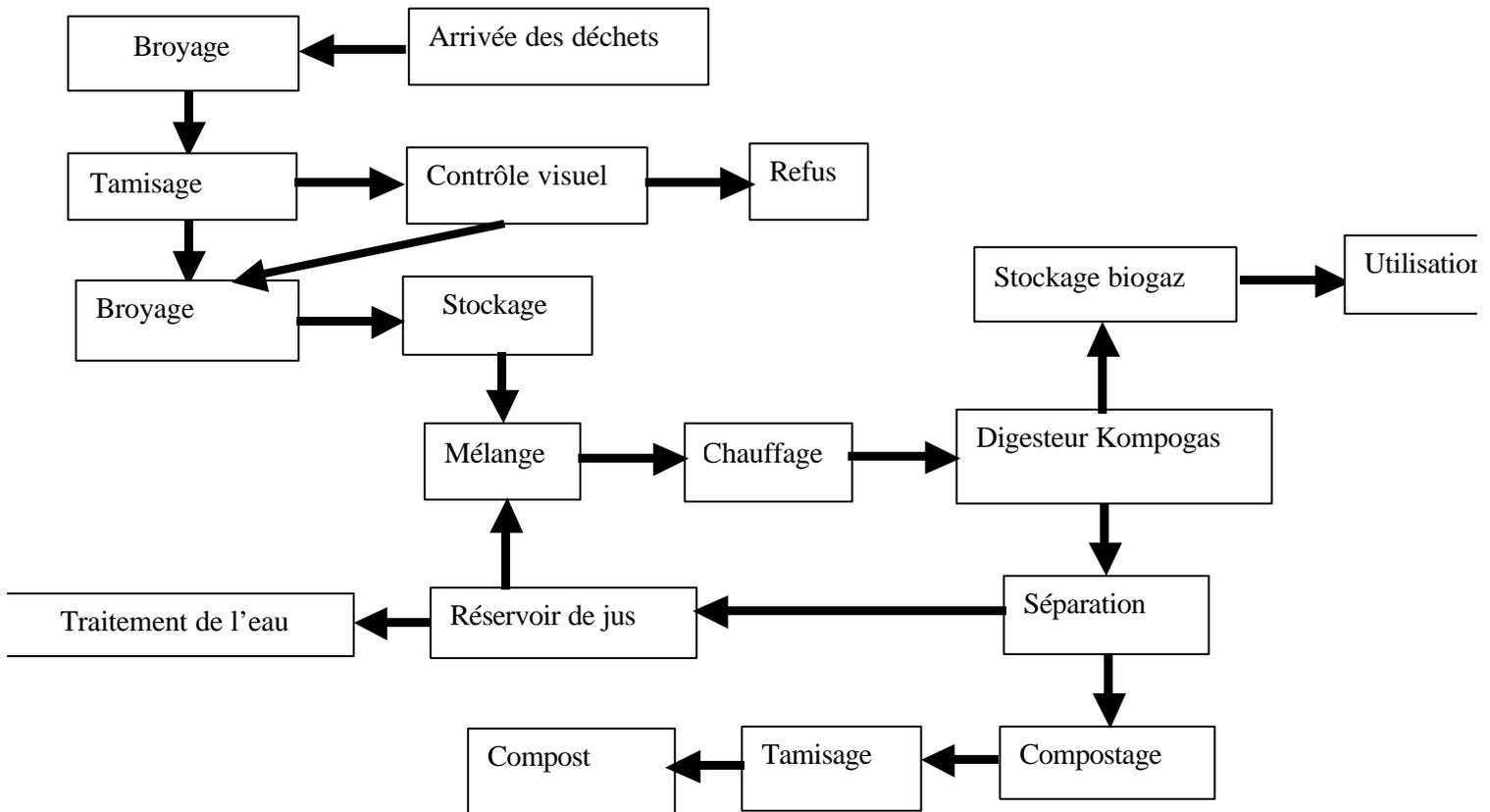


Figure 3.20 : Exemple de filière Kompogas

C'est un procédé alimenté par des biodéchets notamment par des déchets verts. On retire manuellement la matière indésirable, le reste est broyé. La réception des déchets se fait du lundi au vendredi. La matière est envoyée dans un stockage ayant une capacité de 3 à 4 jours. Pendant ce stockage, un début de fermentation augmente la température. Une pompe alimente le digesteur en substrat qui est chauffé à 55 – 60 deg. C. et mélangé avec un inoculum avant introduction dans le réacteur. Le digesteur a un temps de résidence de 20 jours. Dans le réacteur, la matière est donc digérée et transformée en biogaz.

La production de gaz est d'environ 100 à 150 Nm<sup>3</sup> (par tonne de matière entrante) avec 60 % de CH<sub>4</sub>. Les performances annoncées sont de 350 à 400 m<sup>3</sup> de méthane par tonne de MV et des charges de 6 kg de MV/m<sup>3</sup> de réacteur et par jour (Levasseur communication personnelle).

Une pompe extrait le résidu de fermentation et alimente une presse qui élimine une partie de l'eau.

La partie solide subit ensuite un compostage aérobie pendant 6 semaines.

- **Performances et bilan matière et énergétique**

Pour une unité de 15 000 t/an le bilan énergétique est représenté sur le tableau 3.3. ci-dessous :

Nature	Unité	quantité
Production de Biogaz (140 Nm <sup>3</sup> /t)	N m <sup>3</sup> /j	5.734
Energie totale du biogaz	kWh/j	33.259
Puissance de l'installation électrique	kW	414
Puissance de la production électrique totale	kWh/j	10.310
Puissance électrique consommée	kWh/j	2.788
Puissance électrique produite restante	kWh/j	7.522
Besoin minimal d'énergie installée pour le procédé	kW	355
Production d'énergie (chaleur) par le procédé	kWh/j	18.292
Perte en chaleur par le procédé	kWh/j	4.656
Consommation énergétique (chaleur) par le procédé	kWh/j	6.330
Production énergétique sous forme de chaleur par le procédé (rendement net)	kWh/j	11.962
Quantité de résidu après fermentation (à 40% de MS)	t/j	15,1
Compost produit (à 55% de MS)	m <sup>3</sup> /j	7,5
Excès d'eau produit et utilisé en agriculture	m <sup>3</sup> /j	16
Excès d'eau produit après traitement mécanique	m <sup>3</sup> /j	22,2

Tableau 3.3. : Bilan énergétique une unité de 15 000 t/an

Le biogaz est extrait et séché. Sur l'énergie produite, (31 % d'électricité et 55 % de chaleur), 75 % sont de l'énergie disponible et 25 % sont utilisées sur place. Cette énergie disponible est reliée au réseau ou est distribuée sous forme de chaleur dans le quartier.

*Thurm F., Schmid W., 1999, Renewable energy by fermentation of organic waste with the KOMPOGAS process, Barcelona 15-17 juin 1999, Second international symposium on anaerobic digestion of solids waste, actes du symposium, vol 2, pp 342-345*

*Document Vinci Environnement*

### **3.3.5 Krüger**

Bien que cette société ne soit plus active dans le domaine de la digestion anaérobie, elle a pris néanmoins une part active à l'implantation de cette technologie en Europe.

Cette société a mis en place des digesteurs principalement dans le domaine du traitement des lisiers, des déchets industriels et des boues. Depuis 1930, cette société a installé plus de 100 digesteurs sur la méthanisation de boues. Un schéma de l'installation type de traitement des boues est reporté dans le chapitre 2.

Cette société a implanté des digesteurs au Danemark, en Allemagne, en Suède, en Estonie et Ukraine.

### **3.3.6 Linde**

La société Linde commercialise deux procédés : un procédé humide (fonctionnant de 5 % à 15 % de matière sèche ) à une ou deux étapes et le procédé BRV qui est un procédé en fermentation sèche.

Le digesteur à une étape est conçu sur le même type que le procédé à deux étapes décrit ci-dessous.

#### **3.3.6.1 Le procédé liquide à deux étapes**

La société Linde commercialise un procédé dit « liquide » à deux étapes : acidogénèse et méthanogénèse. Le schéma de principe est reporté sur la figure 3. 21.

Le procédé est caractérisé par le passage des déchets dans un hydropulpeur qui les réduit en solution pompable. Ils sont envoyés ensuite dans un crible rotatif qui va séparer les légers (plastiques) et les lourds qui restent après la sédimentation dans l'hydropulpeur.

Puis, les déchets sont envoyés dans un réservoir de stockage qui réalise la phase hydrolyse et d'acidogénèse. Le temps de séjour dans cette étape est de 48 heures avec un brassage de surface aérobie.

Le produit est envoyé dans le digesteur qui possède une recirculation interne réalisée par l'injection de biogaz dans le tube guide central. La digestion peut être réalisée en mésophilie ou thermophilie. La suppression de l'H<sub>2</sub>S se fait par addition d'air intégré au réacteur.

La suspension des déchets est déshydratée au moyen d'une centrifugeuse. L'eau est réutilisée dans le pulpeur pour malaxer et dans le crible rotatif pour écurer.

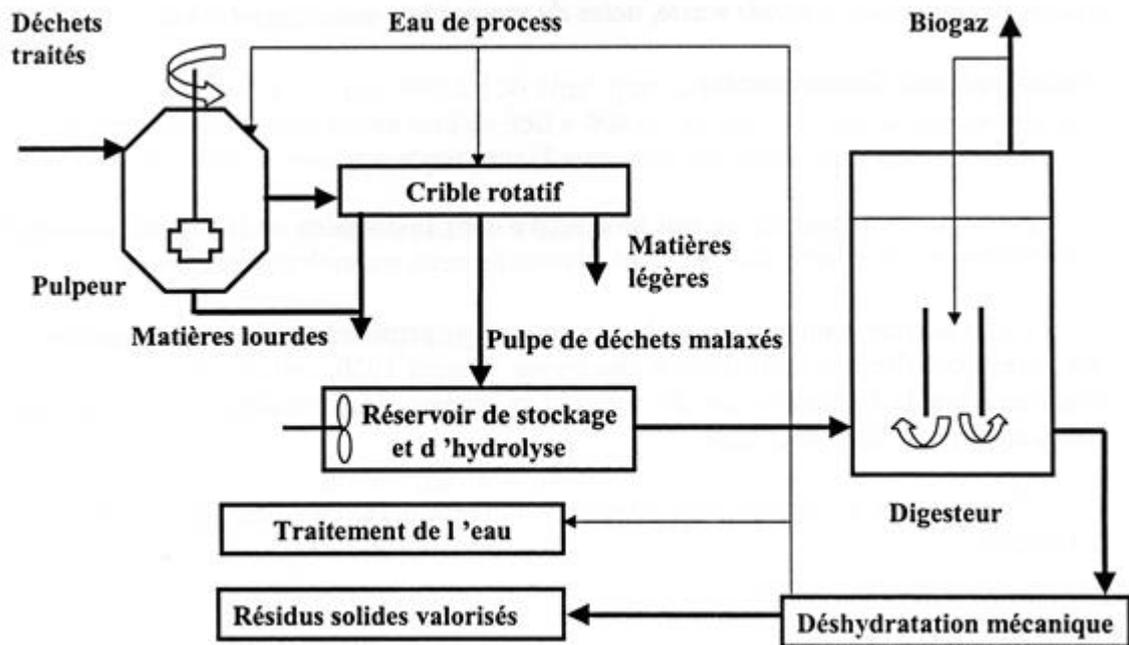


Figure 3. 21 : Schéma de principe du procédé humide à deux étapes de LINDE.

A Barcelone, sur le site d'Ecoparc 1 Linde a installé ce procédé pour traiter des ordures ménagères brutes. Un système de grappin permet en plus d'éliminer des lourds dans l'acidogénèse. Sa capacité sera de 100 000 t/an. Il est composé de 4 digesteurs de 6 400 m<sup>3</sup>.

### 3.3.6.1 Le procédé BRV

La matière subit un tri puis un compostage systématique de deux ou trois jours où la température monte à 45-50 °C. La matière passe dans un calibreur qui a pour objectif de calibrer les déchets à 40-50 mm de diamètre. Le réacteur consiste en des containers parallépipédiques horizontaux avec une agitation à pales transversales, ce qui leur confère un avancement séquentiel de la matière. En fond du digesteur, un système permet de pousser la matière qui aurait tendance à sédimenter. La teneur en matière sèche est de 15 à 45 %. Il peut fonctionner en thermophilie ou mésophilie.

En sortie, le digestat subit une déshydratation mécanique. Le schéma du procédé est représenté figure 3. 22 ci-dessous.

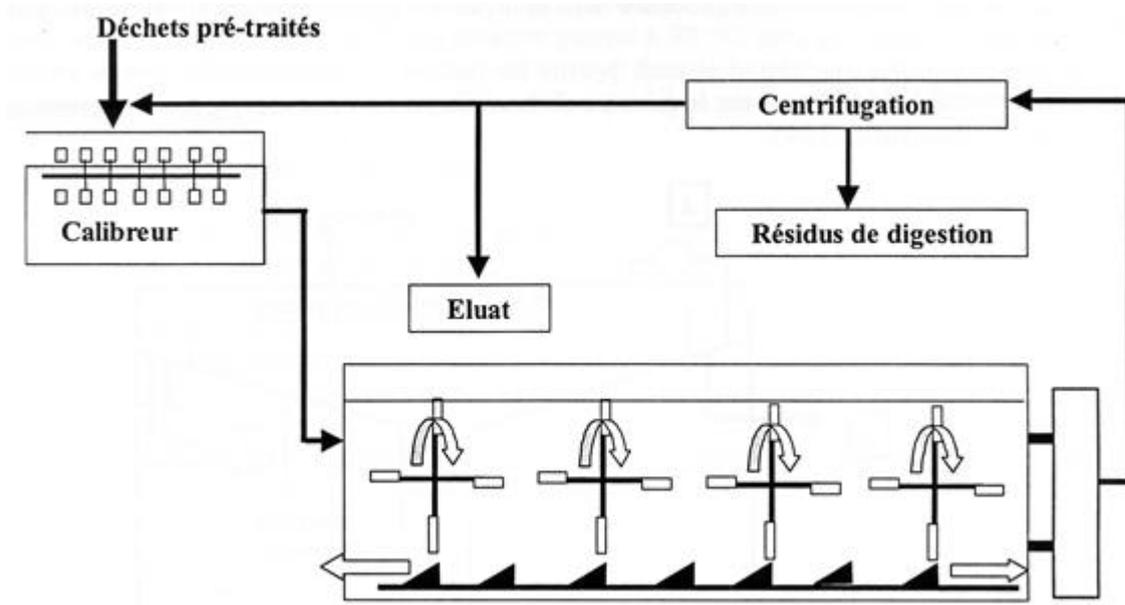


Figure 3.22 : Schéma du procédé BRV exploité par Linde

**Exemple de l’installation à Sagard (Allemagne)**

Mise en service en 1996, elle traite 48 000 t/an de lisier de bovins, des déchets commerciaux (cuisine, aliments périmés, graisses) et la fraction fermentescible des ordures ménagères.

Les déchets subissent tout d’abord une pasteurisation de 1H à 70 °C et sont ensuite introduits dans 3 digesteurs horizontaux de 710 m<sup>3</sup> chacun. La digestion se fait en thermophile à 55-58 °C et le temps de résidence est de 14 jours. La teneur en matière sèche est d’environ de 18 %.

Le taux de dégradation de matière organique est de 55 %, il produit 1 800 000 Nm<sup>3</sup> de biogaz par an à 60-65% de méthane.

L’unité produit 45 700 t/an d’engrais liquide et 3 600 MWh/an dont les deux tiers sont en sur plus et 5 400 MWh/an de chaleur.

**Nota : Autres applications du procédé BRV**

Ce procédé BRV peut être appliqué en fermentation en deux étapes, « sèches / sèches » en thermophilie ou mésophilie.

La phase d’hydrolyse et d’acidogénèse peut être réalisée en anaérobie ou en introduisant de l’oxygène, car la perte de matière organique soluble due à la formation de biomasse est largement compensée par une acidogénèse plus rapide.

Les charges appliquées sont du même ordre de grandeur que pour les stratégies en une étape. Par exemple, elles sont de 8 kg MV/m<sup>3</sup>/J pour le procédé BRV à Heppenheim et de 6 kg de MV/m<sup>3</sup>/J pour le procédé Schwarting-Uhde. (Trösch et Nie mann, 1999).

Trösch W., Niemann V. (1999) *Biological waste treatment using the thermophilic schwarting-Uhde proches. In II int. Symp. Anaerobic digestion of solids waste, Barcelona june 15-17 1999, vol 2, pp 338-341*

### 3.3.7 Entec Environment Technology

C'est une société autrichienne qui s'est installée en Allemagne. Pour le traitement des déchets, elle commercialise deux procédés dont un système agité mécaniquement : le procédé BIMA.

Le procédé BIMA repose sur le principe de la réalisation du mélange, grâce à la pression du biogaz produit (figure 3.23).

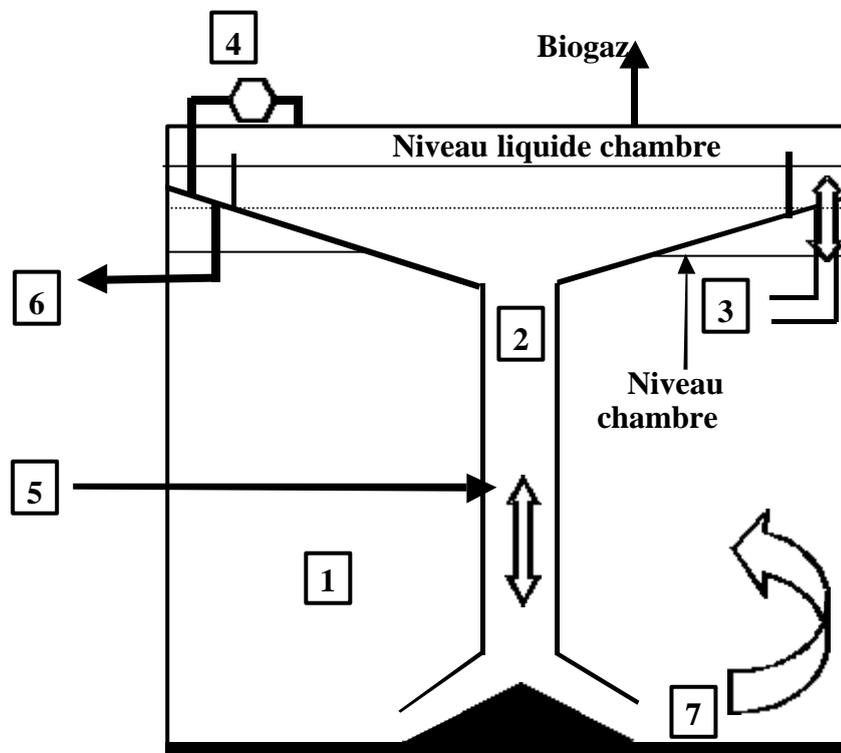


Figure 3.23 : Schéma du procédé BIMA

Au départ les deux niveaux de liquide sont identiques. La vanne 4 qui connecte le biogaz des deux chambres est fermée.

Le biogaz produit, va s'accumuler dans la chambre principale et le niveau de liquide dans la chambre principale baisse. Le digestat va passer dans la chambre supérieure par 3 et par 2.

La pression du biogaz dans la chambre principale correspond à la différence de liquide entre les deux chambres.

A la pression maximale, le substrat est ajouté par 5 et la même quantité sort par 6.

La vanne 4 est ouverte et le niveau du digestat de la chambre haute redescend par 2 et par 3 et celui de la chambre basse monte.

En arrivant en 7, un système permet de donner un mouvement de rotation au digestat.

Cette technologie est appliquée au traitement des boues, des lisiers, des déchets organiques urbains et industriels et les boues de Step. Cette société à une soixantaine de références.

### **Exemple d'application : Unité d'Ellert**

Les déchets des restaurants et industriels sont hydrolysés et acidifiés dans un bioréacteur avec un temps de séjour de 3 jours avec un pH de 4.5. Le résidu produit est envoyé dans une installation d'hygiénisation où la température monte à 70 °C avec un temps de séjour de 2 heures. Après refroidissement, le produit est envoyé dans le bioréacteur 340 m<sup>3</sup>. En sortie, le digestat subit une centrifugation et la partie solide est stockée pendant 7 jours puis compostée.

Les caractéristiques de l'unité sont :

- volume des déchets introduits est de 22 m<sup>3</sup>/j ;
- le temps de séjour est de 16 jours ;
- la teneur en matière sèche est de 10 % environ à 85 % de SV ;
- le temps de séjour est de 16 jours ;
- la charge organique est de 5 kg de MV/m<sup>3</sup>/j ;
- la production de biogaz est de 550 m<sup>3</sup>/tonne de MV ajoutée.

La société ENTEC commercialise aussi un digesteur agité mécaniquement par des turbines à vitesse lente pour traiter les déchets.

### **3.3.8 La société MAT**

C'est une société allemande qui commercialise le Procédé BTA. Elle l'applique en une ou deux étapes. Le schéma de principe des procédés est reporté ci-dessous, figure 3.24.

- **Application du procédé en une étape**

La figure 3. 24 (a) représente le schéma de principe de la stratégie en une étape.

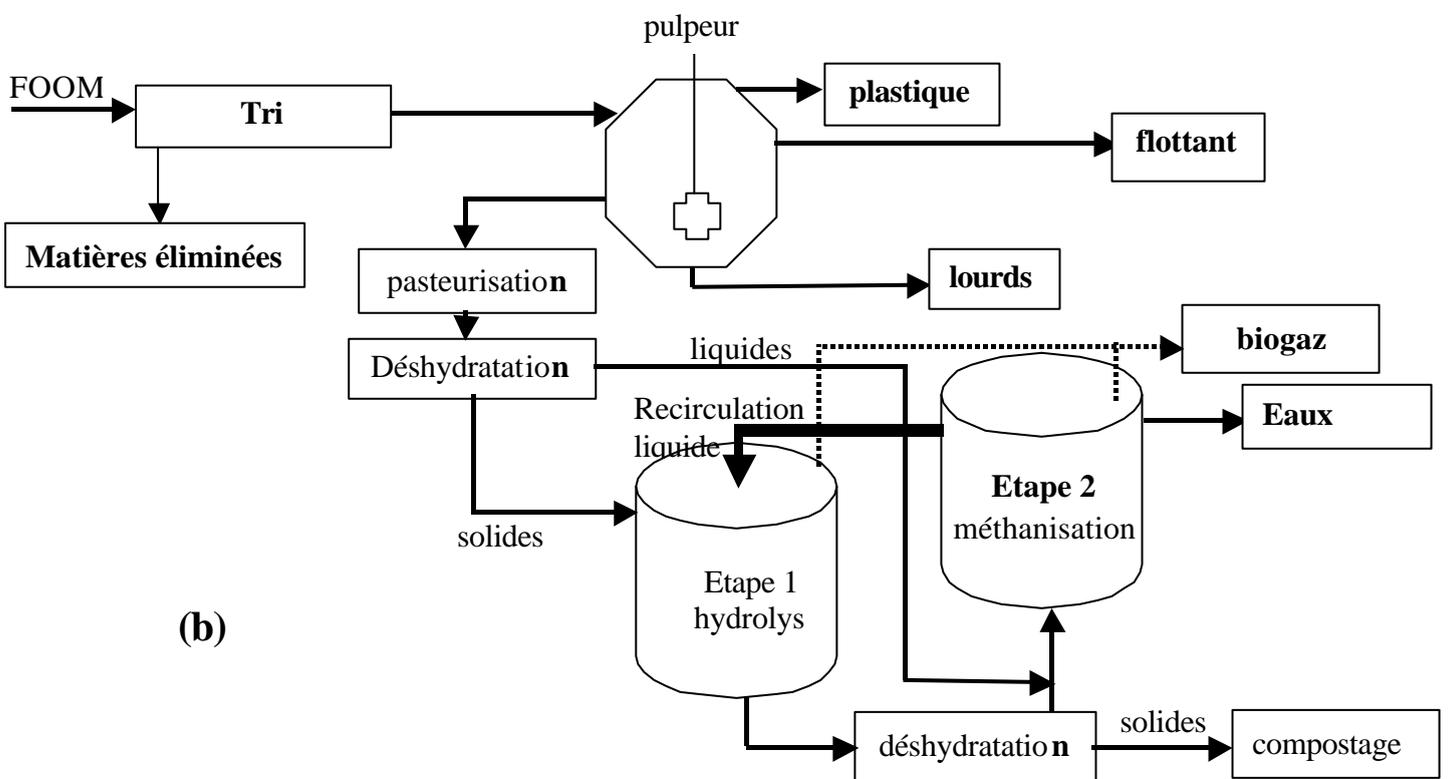
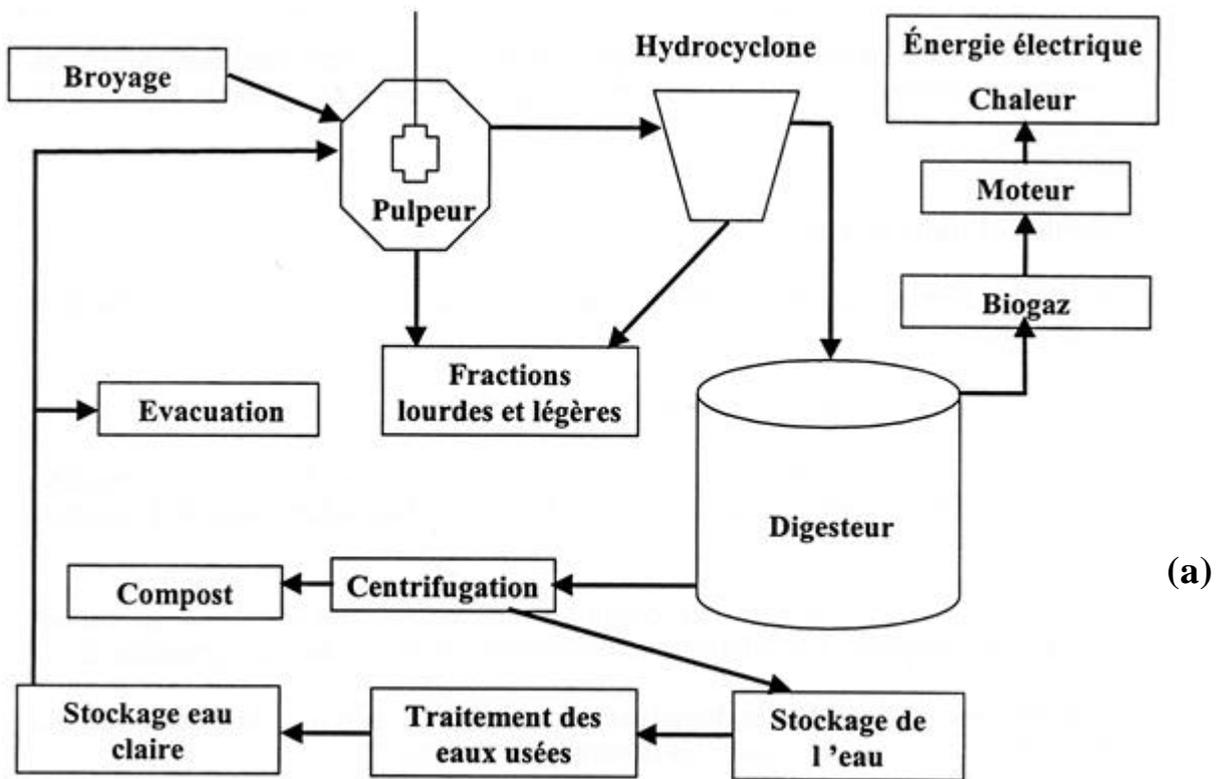


Figure 3.24 : Schéma du procédé BTA en une étape (a) en deux étapes (b)

Dans la stratégie à une étape, les déchets subissent tout d'abord un broyage pour être ensuite envoyés dans un pulpeur, pour dissoudre la matière et séparer la première fraction de lourds qui tombent au fond (pierre, métaux, os...) contrairement à la fraction de légers qui flotte (plastiques, tissus...). Ils sont séchés de 3 à 5 jours à 80°C. La seconde fraction de lourds, comme le sable et autres inertes, est éliminée dans l'hydrocyclone afin de limiter les phénomènes d'abrasion.

Le produit est donc envoyé dans un digesteur, qui a un temps de résidence de 14 jours et qui est agité par recirculation du biogaz. La température est de 37 °C.

Le biogaz est valorisé et le digestat est centrifugé. L'eau est traitée et recyclée pour partie alors que la partie solide est compostée.

- **Applications du procédé en deux étapes**

C'est un procédé « humide/humide » en mésophilie (figure 3.24 (b)). Une séparation magnétique permet de récupérer les déchets ferreux et le reste subit un broyage et une séparation dans un pulpeur. Une étape d'hygiénisation (à 70 °C, une heure) est ajoutée avant le traitement biologique si les déchets sont d'origine agro-alimentaire ou si le digestat ne subit pas de compostage. Ensuite une déshydratation envoie la fraction liquide directement dans le méthaniseur et la fraction solide dans un réacteur mélangé qui réalise l'hydrolyse et l'acidification. Après séparation de la liqueur mixte, le lixiviat est envoyé dans un filtre anaérobie avant de retourner vers l'acidogénèse.

Du point de vue performance, on retrouve industriellement des temps de séjour bas dans le réacteur d'acidogénèse et des charges organiques qui sont celles des réacteurs traitant des effluents dans la partie méthanogénèse avec des charges de 10 à 15 kg de DCO/m<sup>3</sup> de réacteur/j.

Cette société a une vingtaine de références sur différentes sortes de déchets.

*Vandevivere O.P., De Baere L., Verstraete W., (2002), Types of anaerobic digester for solids wastes, in Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, Mata Alvarez ed., IWA publishing, ISBN : 1900222 14 0, pp111-139*

### **3.3.9 Alcyon Eng. S.A.**

Cette société commercialise le procédé WAASA.

Ce procédé a vu le jour en Finlande en 1989 et il a été développé par Citec. Actuellement, la société Alcyon SA commercialise le procédé. Elle affiche 13 références sur des déchets solides municipaux dont une unité avec des boues de Step.

Le principe de ce procédé est d'être composé de trois zones : une zone dans laquelle on réalise le mélange déchets et inoculum (qui est du digestat), une zone agitée et une zone de sédimentation.

### Exemple de l'unité de Vaasa :

C'est la première construction située à Vaasa en Finlande. Elle est composée de deux unités de méthanisation :

- la première unité traite 11 000 t/an de boues de Step ;
- la seconde unité traite 15 300 t/an de fraction organique des ordures ménagères issues de 20 000 tonnes d'ordures brutes et 8 000 t de biodéchets issus de la collecte sélective.

Si le premier digesteur (sur boues) est conduit en mésophile toutes les autres applications sont conduites en thermophilie. Les informations ci-dessous sont donc relatives au réacteur 2.

Le procédé consiste en un tri des déchets et par leur passage dans un « Mixseparator » qui est un pulpeur permettant ainsi de séparer les flottants et les lourds.

Le procédé fonctionne donc en thermophilie.

La teneur en matière sèche du digestat varie de 10 à 15 %.

Le rapport C/N des brutes est de 42 et 12 pour les biodéchets de la FOOM issus de la collecte sélective. Le digestat a un C/N de 7.

La production de biogaz est de 2 000 000 m<sup>3</sup>/an. Le rendement de production de biogaz est de 124 à 140 m<sup>3</sup>/t d'ordures ménagères traitées. Il est composé de 63 % de méthane, 36 % de CO<sub>2</sub>, de 5 à 12 ppm d'H<sub>2</sub>S et moins de 0,5 % de N<sub>2</sub>.

Le procédé produit 11 400 t/an de digestat (ou 74 kg(MS)/t de déchets traités)

Et des eaux résiduaires à hauteur de 3400 t/an. Leur composition est reportée sur le tableau 3.4 ci-dessous.

Matières en suspension (MES)	947 mg/l
PH	7,5
DBO	288 mg/l
DCO	1450 mg/l
P t	12,8 mg/l
N t	850 mg/l
N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	787 mg/l

Tableau 3.4 : Composition des eaux résiduaires du procédé Waasa (à Vaasa Finlande)

### 3.3.10 Le procédé Schwarting-Umwelt (Allemagne)

Elle commercialise un procédé basé sur la stratégie des « réacteurs pistons » (figure 3.12) et l'a appliquée pour traiter la FOOM (3 références), les boues de Step (4 références) et la co-digestion (8 références).

Elle a appliqué aussi son procédé à la fermentation en deux étapes qui est représenté sur la figure 3.25.

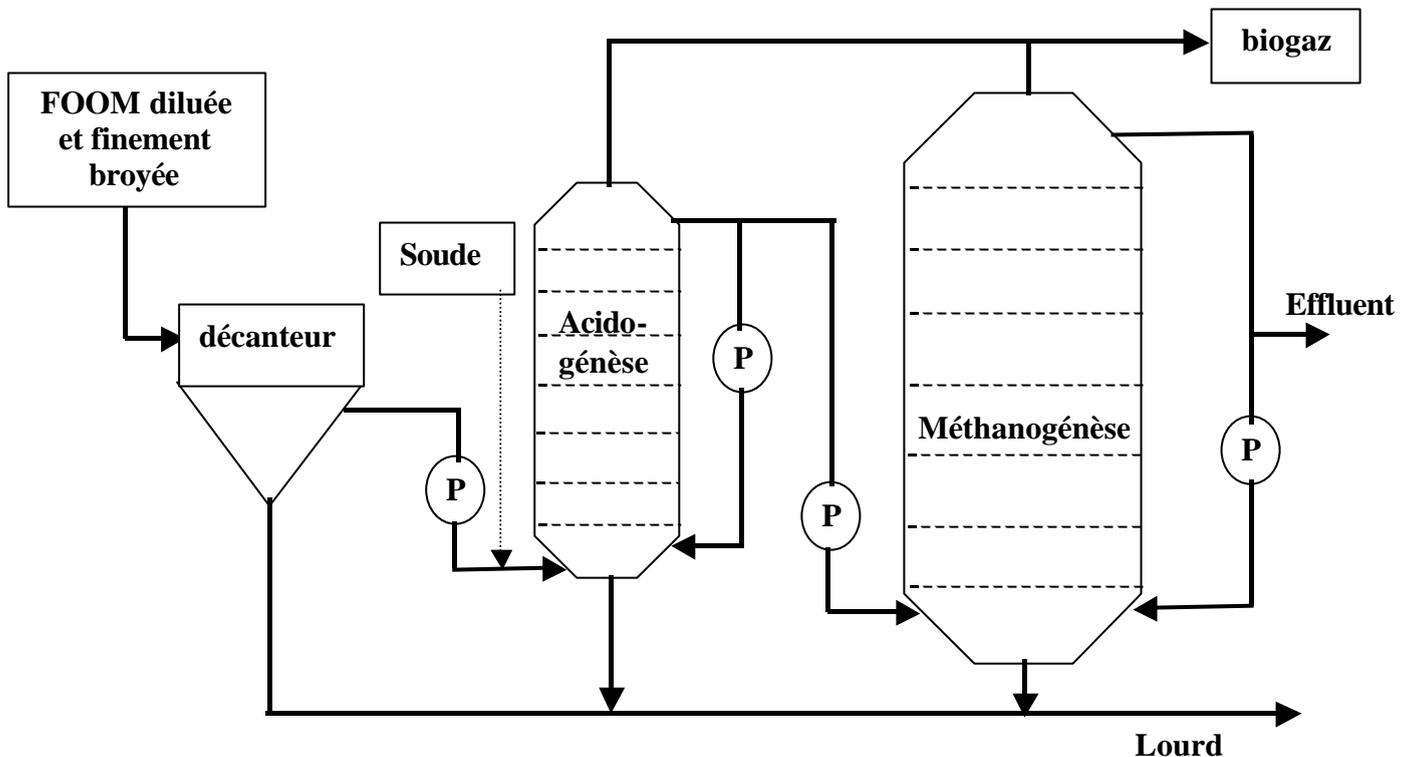


Figure 3.25 : Schéma du procédé Schwarting-Udhe en deux étapes (P: pompe)

C'est un système « humide-humide » appliqué en thermophilie. Il nécessite un broyage très fin de la matière relativement « propre » pour éviter le bouchage des grilles. Elle va passer dans un décanteur qui éliminera les particules lourdes et la fraction légère va en hydrolyse et acidogénèse puis en méthanogénèse. C'est le même type de réacteur qui est utilisé pour les deux étapes biologiques. Ce procédé travaille à environ 6 kg de MV/m<sup>3</sup> de réacteur et par jour.

*Vandevivere O.P., De Baere L., Verstraete W., (2002), Types of anaerobic digester for solids wastes, in Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, Mata Alvarez ed., IWA publishing, ISBN : 1900222 14 0, pp111-139*

### 3.3.11 Autres sociétés commercialisant des digesteurs

On en a plus d'une vingtaine. La liste des sociétés constructrices de digesteurs traitant des déchets est reportée en annexe 1.

### 3.4. Visites d'unités industrielles

Ce paragraphe devrait être situé en annexe. Il a été conservé ici car il complète utilement les informations du paragraphe 3.3.

#### 3.4.1 Procédé Dranco à Brecht

Cette unité est la seconde unité de Brecht : dite Brecht II (visite du 7 septembre 2001).

L'unité de Dranco a été mise en place en 2000. C'est une unité de 50 000 t/an qui traite des biodéchets. Elle fait suite à l'unité de 25 000 t/an installée en 1990 (Brecht I).

Elle appartient aux collectivités locales et est gérée par Organic Waste Systems.

Les déchets organiques sont des déchets verts, des déchets de cuisine dans des sacs et des déchets industriels. L'unité travaille 6 jours par semaine.

- **Le procédé**

Le digesteur est un réacteur de 3 150 m<sup>3</sup> avec 25 m de haut et de 13 m de diamètre sur un fond conique. Il est en acier. C'est un procédé de type mélangé par recirculation du digestat. L'alimentation se fait par le haut et la sortie par le bas. C'est un procédé dit sec, à 30 % de matière sèche et thermophile puisqu'il fonctionne à 55 °C. Il est construit en acier avec 30 cm de laine de roche pour l'isoler.

Le schéma de la filière est représenté sur la figure 3.26.

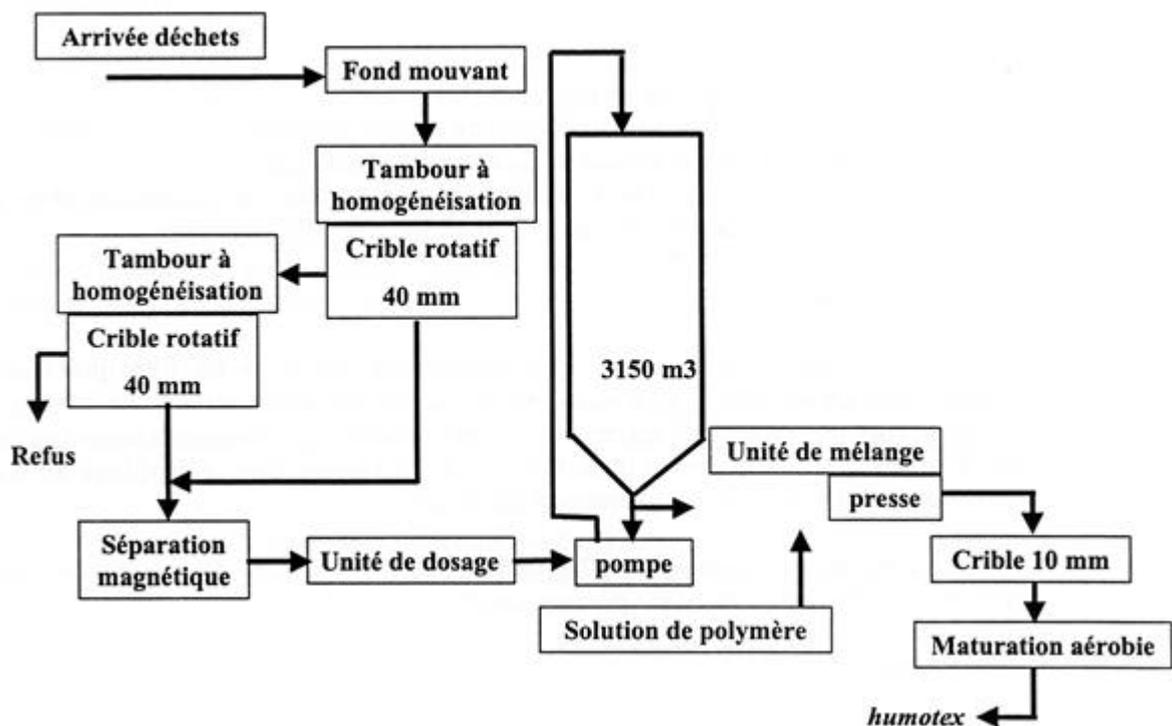


Figure 3.26 : Schéma du second procédé Dranco à Brecht (Brecht II).

Les déchets organiques sont stockés et alimentent le procédé en passant par un « fond mouvant » puis par deux tambours à homogénéisation en série, qui dilacèrent et qui tamisent à 40 mm (ils ont 3 m de diamètre et 12 m de longueur et sont pleins à 50 %). Le flux matière passe par un séparateur magnétique, puis une unité de dosage qui alimente la pompe de mélange des boues, issues du digesteur, avec le substrat. Ce mélange retourne en tête du digesteur.

Le gaz est envoyé dans un gazomètre et ne subit qu'une condensation (naturelle en sortie d'un digesteur thermophile) et un tamisage. Il est envoyé dans un gazomètre et une torchère en cas de nécessité. Cette torchère n'est là que pour des questions de sécurité et de maintenance. C'est une torche à haute température.

Ce biogaz ne nécessite pas de traitement plus poussé car il ne contient pas d'H<sub>2</sub>S contrairement à celui qui est produit par les « déchets gris ».

Le biogaz est brûlé dans des moteurs à gaz couplés à des groupes électrogènes, qui produisent de l'électricité. Les gaz de fumée sont utilisés pour produire de la vapeur qui est injectée au niveau de la pompe d'alimentation pour maintenir la température à 55 °C.

Les boues en surplus sont mélangées à un polymère puis pressées. La fraction solide est tamisée à 10 mm. La fraction liquide est stockée puis centrifugée. Les eaux vont en station d'épuration et la fraction solide rejoint la partie solide tamisée pour aller ensuite en compostage aérobie.

- **Les caractéristiques de fonctionnement**

Elles sont reportées ci-dessous :

- temps de séjour de 10 à 15 jours ;
- production de biogaz : 100 m<sup>3</sup>/tonne de déchets apportés. Le biogaz à 65% de CH<sub>4</sub> en hiver, on a plus de biogaz car la composition change ;
- la charge organique est de 4 à 6 Kg de matière volatile / m<sup>3</sup> de réacteur et par jour ;
- les charges maximales se situent entre la 30<sup>ème</sup> et 40<sup>ème</sup> semaine.

- **Compostage**

Les boues issues du digesteur sont compostées. En sortie du filtre presse, les boues anaérobies sont de 45 à 50 % de matière sèche. Le produit tamisé est envoyé dans un bâtiment fermé pour faire des andins qui ont environ 2,5 m de hauteur. Ils sont aérés par le bas pendant 14 jours. L'air est collecté (comme dans l'usine) et est envoyé dans 4 biofiltres de 1 mètre de hauteur environ. Le support est du compost lui-même !

Le compost est composé de 57,8 % de matière sèche et 37,4 % de solide volatil. Il est certifié et contrôlé depuis deux ans par une société d'état (VLACO).

- **Bilan matière**

Sur 100 kg qui entrent, 40 kg se retrouvent dans l'eau, 10 kg sont des déchets, 15 kg vont dans le biogaz et 35 kg restent dans le compost.

- **Aspect énergétique**

En Belgique, il faut que 3 à 4 % de l'électricité soit d'origine renouvelable sinon cela se traduit par des amendes. On estime que 200 Kw/h sont récupérés par tonne de déchets apportés. En électricité, on produit au maximum 1 300 kw/h (le 7 septembre, l'usine consommait 400 kw et avait 780 kw en surplus).

- **Aspect économique**

D'un point de vue économique les informations sont rares.... Pour cette unité :

- l'investissement est de 13 millions d'euros ;
- 10 personnes travaillent en deux équipes ;
- l'électricité représente 25 euros/tonne de déchets. Elle est vendue 12 euros cent le kw/h ;
- le compost : 5 euros la tonne.

Le coût de traitement est de 75 US \$ la tonne de déchets.

- **Aspect nuisance**

Les nuisances observées sur place sont principalement une odeur importante d'ammoniac, et de COV qui régnait dans l'usine. L'explication donnée a été : « les portes étant ouvertes pour la visite, on arrête l'extraction car on aspirerait de l'air de l'extérieur » ! Il faut noter que les abords ne présentaient pas d'odeur particulière.

### **3.4.2 Procédé VALORGA à Amiens**

Le contrat pour la construction du premier site industriel au monde de traitement de déchets par méthanisation en continu fut signé en décembre 1985 à Amiens (France). Le gérant du site est la société IDEX. Il faut noter que cette unité est une technologie ancienne qui ne correspond plus à la stratégie de Steimüller Valorga. Elle est néanmoins intéressante car c'est l'une des premières à avoir été mise en place en Europe.

L'usine d'Amiens, mise en service en août 1988, traitait au départ 55 000 tonnes d'ordures ménagères par an collectées en vrac (ordures brutes). Elle avait 3 digesteurs de 2 400 m<sup>3</sup> chacun. Sa capacité totale de traitement est passée à 72 000 tonnes de déchets par an, avec le traitement des déchets ménagers d'Abdeville à partir de 1994.

Depuis 1996, l'usine traite aussi les déchets du sud du District grâce à la construction d'un 4<sup>ème</sup> digesteur de 3 500 m<sup>3</sup>, ce qui porte la capacité annuelle de traitement à 85 000 tonnes de déchets ménagers.

- **Caractéristiques des déchets**

Les caractéristiques présentées ci-dessous, ont été déterminées à partir d'une campagne de mesure sur 12 mois. Cette composition est indiquée dans le tableau 3.5 ci-dessous.

<b>Description</b>	<b>Composition moyenne (%)</b>	<b>MS<sup>(*)</sup> (%)</b>	<b>MSV/MS<sup>(*)</sup> (%)</b>
Papiers cartons	32	65	80
Fermentescibles	32	40	65
Plastiques	13	80	85
Textiles	3	80	80
Métaux	5	95	0
Inertes/verres	15	95	0

(\*) MS = Matière Sèche : (\*) MSV = Matière Sèche Volatile

Tableau 3.5 : Composition des ordures ménagères de la ville d'Amiens

- **Description de l'usine**

Les déchets étant collectés en vrac, l'usine comprend une unité de tri mécanique pour séparer la fraction organique (déchets de cuisine, de jardin et une partie des papiers-cartons) des autres fractions (métaux, verre, plastique). Le schéma de l'unité est représenté en figure 3.27.

Elle est composée de :

- l'unité de tri comprend : la réception des déchets dans une fosse et leur reprise par grappin, le tri granulométrique, le tri des métaux ferreux, la réduction granulométrique, le tri des inertes lourds ;
- l'unité de méthanisation dispose de 3 digesteurs de 2 400 m<sup>3</sup> et un 4<sup>ème</sup> de 3 500 m<sup>3</sup>, la fermentation est réalisée en régime mésophile ;
- le traitement des boues : il n'y a pas d'eau excédentaire. Les eaux de procédé après élimination des refus solides sont entièrement recirculées pour dilution des déchets après tri. Les caractéristiques de cette eau sont 2 à 7 g/l d'AGV du lundi au vendredi, 10 g/l d'alcalinité ;
- l'unité d'affinage : après un stockage aérobie le compost est criblé afin d'éliminer tous les résidus tels que le plastique ;
- utilisation du biogaz : sur le site d'Amiens, le biogaz produit est transformé en vapeur : 95 % de la production sont vendus à un industriel voisin du site et 5 % sont utilisés pour le réchauffage des digesteurs.

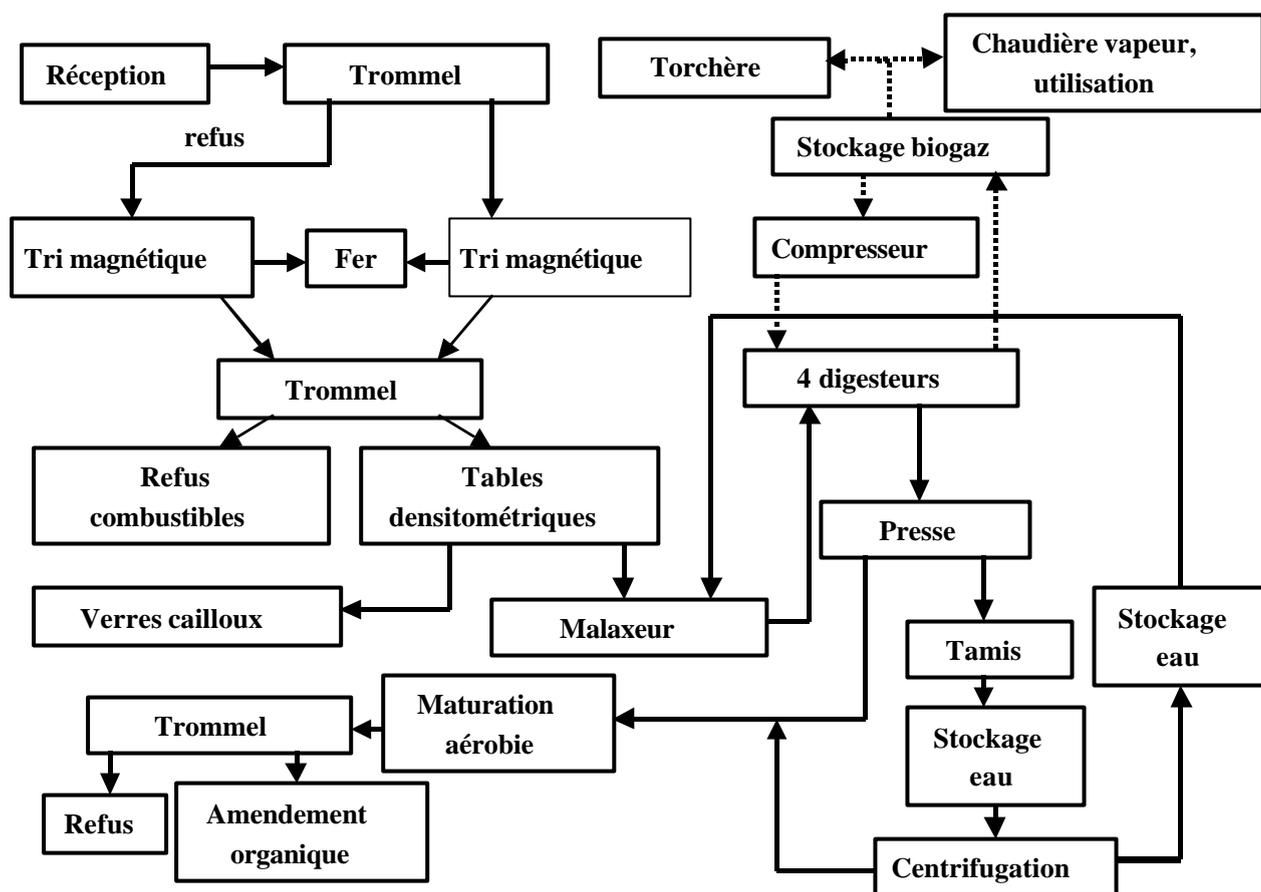


Figure 3.27 : Schéma du procédé Valorga à Amiens

- **Performances**

Les quantités d'ordures traitées au cours des onze premières années, sont représentées sur le tableau 3.6 ci-dessous :

	Quantité annuelle
1989	52 352
1990	50 033
1991	52 510
1992	53 695
1993	55 425
1994	60 613
1995	71 865
1996	76 205
1997	83 126
1998	80 912
1999	87 471

Tableau 3.6 : Quantités d'ordures traitées au cours des onze premières années par la ville d'Amiens (tonnes)

Le refus primaire est d'environ 20 % et le refus d'affinage de 10 à 15%.

La quantité moyenne de biogaz produit est de 150 Nm<sup>3</sup> de biogaz par tonne de déchets triés, c'est à dire 125 Nm<sup>3</sup> de biogaz par tonne de déchets bruts.

Le rendement en biogaz est de 400 m<sup>3</sup>/t de matière sèche volatile. La productivité en gaz, exprimée en tonne de déchets frais, est assez élevée ; ceci est dû à la teneur en matière sèche des déchets bruts d'Amiens riches en papier et carton.

Le biogaz produit est analysé par chromatographie toutes les deux heures. Sa composition moyenne est de 56 % de CH<sub>4</sub> et le biogaz contient des traces d'hydrogène sulfuré en quantité variable (H<sub>2</sub>S) (200 à 2 500 ppm). Il avait ce jour là 0,03 % d'hydrogène.

- **Bilan matière**

Le bilan matière annuel est présenté à la figure 3.28.

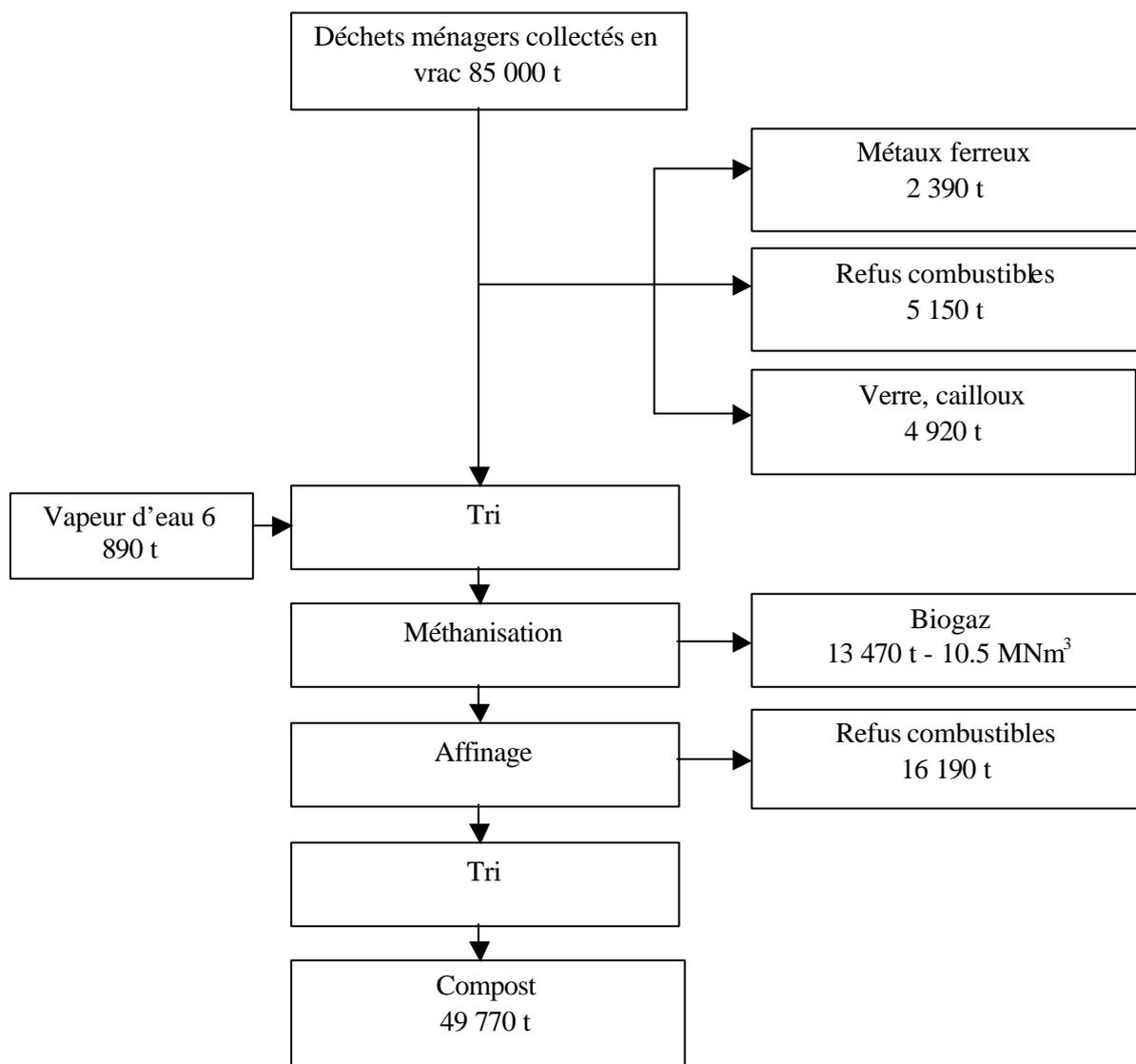


Figure 3.28 : Bilan matière annuel de l'unité de méthanisation d'Amiens.

- **Qualité du compost**

Le compost affiné constitue un fertilisant organique apprécié car il favorise l'amélioration de la qualité des sols. Il fait l'objet d'un suivi qualitatif mensuel pour déterminer sa valeur agronomique et ses teneurs en métaux lourds. Le tableau 3.7 ci-dessous présente la composition de l'affinât produit à Amiens.

<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>AMIENS (collecte en vrac)</b>
Matière Sèche (MS)	% poids brut	55
Matière Sèche Volatile (MSV)	% poids sec	42
Carbone organique (C)	% poids sec	18-20
Azote Total	% poids sec	1,1
C/N (carbone/azote)		18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	% poids sec	0,78
K <sub>2</sub> O total	% poids sec	1,04
pH		8
Cd total	ppm/sec	2-3
Cr total	ppm/sec	100-250
Cu total	ppm/sec	70-150
Hg total	ppm/sec	2-3
Ni total	ppm/sec	30-50
Pb total	ppm/sec	350-850
Zn total	ppm/sec	400-750
Inertes totaux	% poids brut	≤ 12
Densité brute		0,5

Tableau 3.7 : Qualité du compost d'Amiens

- **Refus combustibles**

Les refus de la chaîne de tri et de la chaîne d'affinage constituent un combustible à haut pouvoir calorifique. Ils peuvent être traités par une unité d'incinération.

La qualité des refus combustibles d'Amiens est indiquée dans le tableau 3.8 ci-dessous.

<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur</b>
Matière sèche (MS)	%	70,29
Teneur en carbone	% MS	46,54
Teneur en hydrogène	% MS	7,29
Teneur en soufre	% MS	0,39
Teneur en chlore	% MS	3,68
Teneur en oxygène	% MS	20,61
PCS brut	th/t	3 483
PCI brut	th/t	3 040

Tableau 3.8 : Composition des refus combustibles d'Amiens

- **Aspects économiques**

Le coût de traitement revient à 420 F/t. Il faut compter 150 F/t pour l'amortissement. Il y a 35 % des ordures brutes qui vont en décharge (refus) à 250F/t ceci coûte donc 80 F par tonne d'ordures brutes arrivant à l'usine.

(nota : à Varennes – Jarcy unité de méthanisation en construction en France, le coût de revient est de 165 F/t hors amortissement, et l'usine a coûté 150 millions de francs. Elle reçoit 70 000 t/an d'ordures brutes et 30 000 t/an de biodéchets. En incinération Onyx Filiale de Vivendi serait à 185F/t).

### **3.4.3 Procédé Valorga à Engelskirchen**

Le propriétaire du site est BAV Aufbereitung Biogener Abfälle GmbH et Co KGB.

L'usine est située à Leppe, près d'Engelskirchen (40 km de Cologne), en Allemagne. Elle traite les biodéchets d'un SIVOM de 23 communes représentant 400 000 habitants.

Le procédé Valorga est à la base de la partie digestion anaérobie. La maturation du compost s'effectue dans des tunnels de maturation.

Les objectifs étaient les suivants :

- production d'un compost en conformité avec la norme allemande LAGA M 10 ;
- production d'électricité couvrant les besoins de l'usine ;
- traitement des eaux usées permettant l'envoi des excédents hydriques en STEP.

L'usine a démarré en février 1998. Sa capacité de traitement est de 35 000 tonnes par an de déchets fermentescibles.

- **Caractéristiques des déchets**

La matière organique provient d'une collecte sélective incluant des déchets de cuisine (60 %) et de jardin (40 %).

Ils contiennent 32 à 42 % de MS et 50 à 75 % de matière solide volatile (MSV) exprimés sur matière sèche.

Des variations de matière sèche et de matière sèche volatile sont observées en raison de la variation de la proportion de déchets de cuisine dans les déchets de jardin en fonction de la saison.

- Description de l'usine

Le schéma de la filière de traitement est représenté à la figure 3.29.

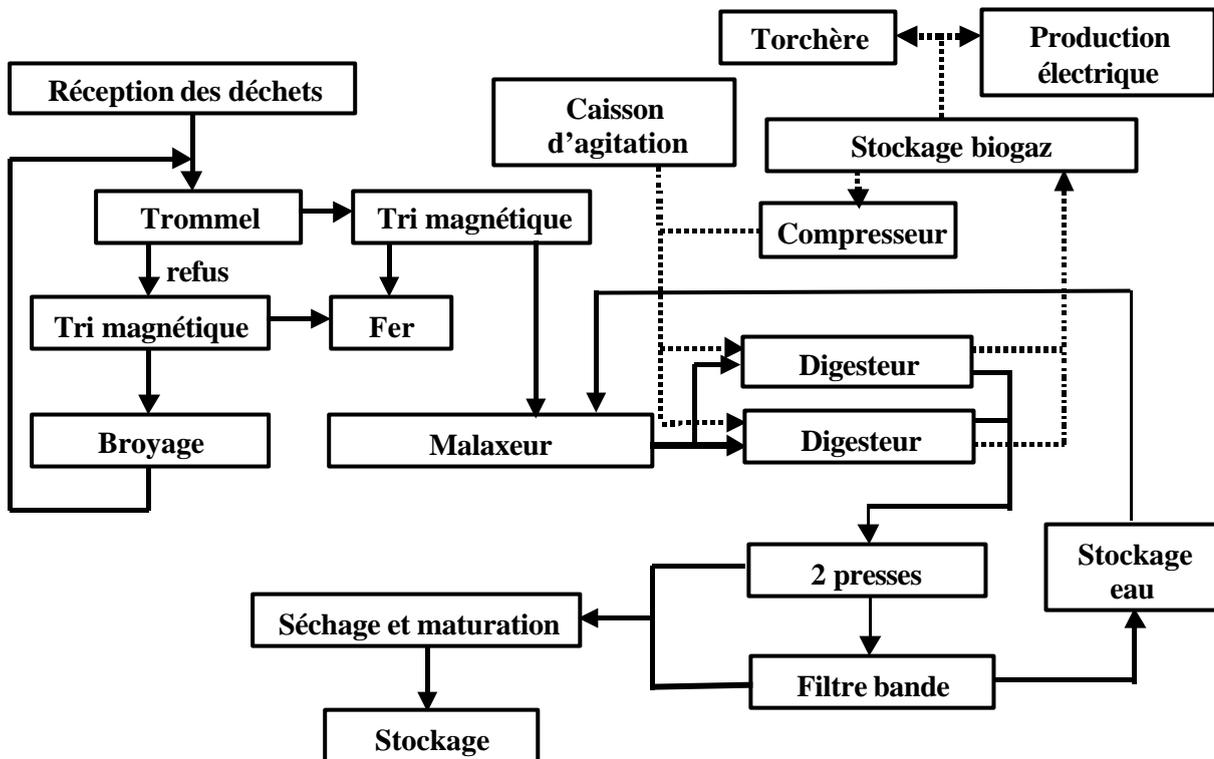


Figure 3.29 : Schéma du procédé Valorga sur l'usine d'Engelkirchen

Les gaz sont traités pour éviter les odeurs.

L'usine est constituée des unités suivantes :

- une unité de préparation des déchets : réception des déchets, séparation magnétique des métaux ferreux et réduction granulométrique ;
- une unité de méthanisation : dilution et mélange de la matière organique, introduction dans les deux digesteurs de 3 000 m<sup>3</sup> chacun, stockage du biogaz, compression et agitation, extraction gravitaire. La digestion s'effectue en régime mésophile. Le digesteur est divisé en 8 secteurs de mélange (40 injecteurs par secteur ). Un secteur est agité toutes les 20 mn ;
- le traitement des matières digérées : déshydratation mécanique de la matière digérée, élimination des refus solides contenus dans les boues. Une partie des eaux excédentaires est utilisée pour la dilution de la matière entrante. L'excédent est décanté et envoyé vers la station de traitement des eaux usées ;

- une unité d'affinage du compost comprenant 7 tunnels de 320 m<sup>3</sup> chacun (20x8x5). La matière repose sur un tapis poreux qui est tiré en fin de cycle pour récupérer le compost. La première étape de maturation du compost dure 2 semaines. Il est ensuite criblé, séché permettant l'élimination des inertes (cailloux, plastiques) et stocké pendant 1 mois. Lors du tamisage du compost, le refus est recyclé en tête de compostage. Ce compost est dans un état de maturation de 5. (nota : la norme allemande LAGA- M10 mesure la maturité du compost par une échelle de 1 à 5 avec des méthodes d'échauffement et de respirométrie. A une valeur de 4 il est semi-mûr et à 5 il est mûr) ;
- une unité de traitement d'air : extraction de l'air vicié, lavage acide et biofiltre ;
- une unité de production d'électricité : le biogaz est envoyé dans deux moteurs (750 kw chacun) transformé en électricité par deux groupes électrogènes d'une puissance électrique totale de 940 KW.

- **Performances**

Ces digesteurs fonctionnent avec des teneurs en matière sèche de 36 % dont 70 % de MSV.

Leur temps de séjour est de 25 jours minimum et la production de biogaz est de 100 à 110 Nm<sup>3</sup> par tonne entrant dans les digesteurs soit un rendement spécifique en méthane de 240 à 260 Nm<sup>3</sup> par tonne de MVS entrante dans le digesteur. La puissance d'électricité installée est de 940 Kw.

Le rendement spécifique en biogaz qui lui correspond est de 510 m<sup>3</sup>/t de MSV consommée.

Au cours de l'année, la production varie suivant la proportion de déchets de cuisine par rapport aux déchets de jardin.

La teneur moyenne en méthane est de 56 % à 58 % et il contient 50 ppm d'H<sub>2</sub>S.

- **Bilan matière**

La figure 3.30 représente le bilan matière pour la capacité annuelle moyenne de traitement.

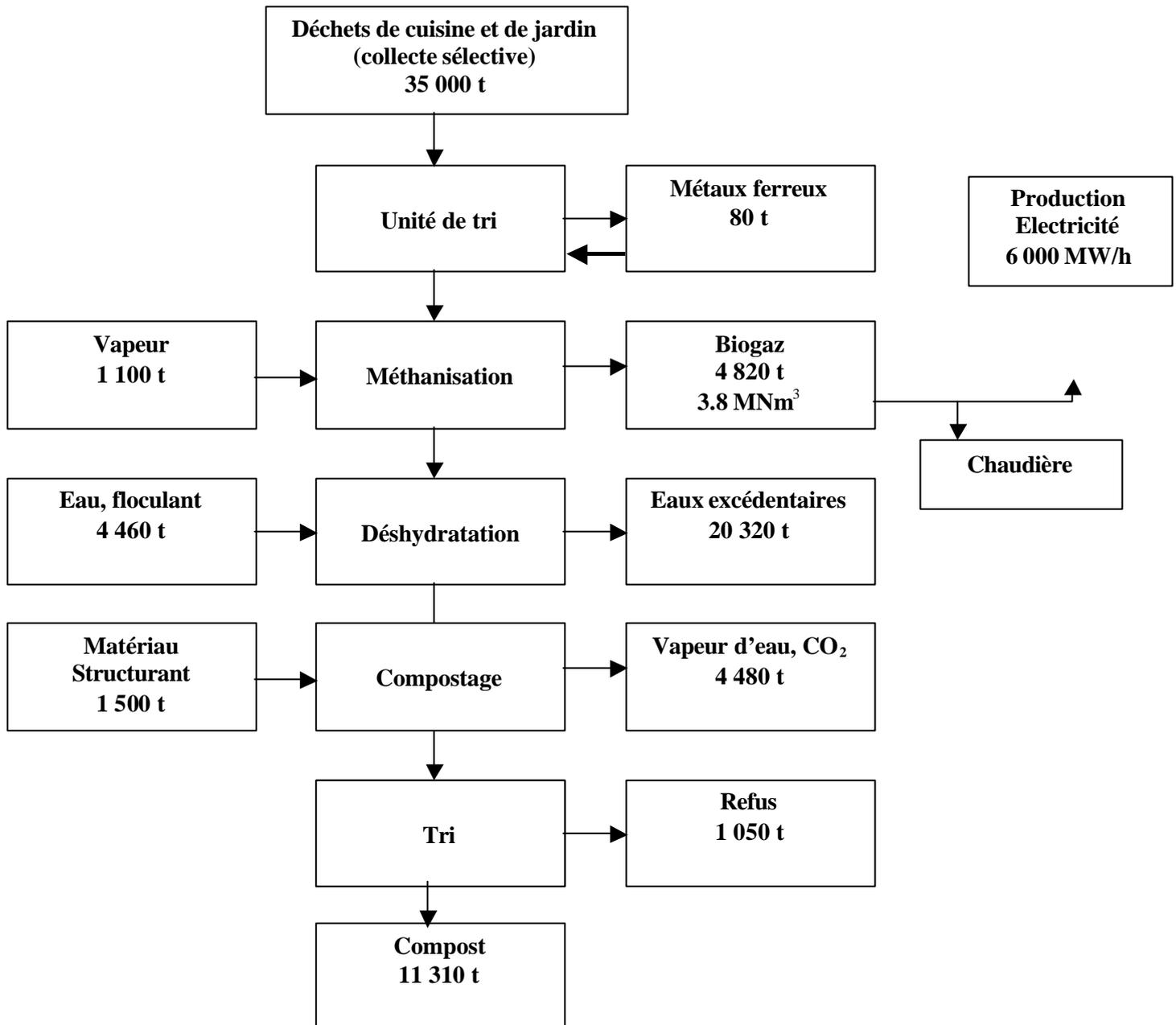


Figure 3.30 : Bilan matière de l'unité sur un an

- **L'investissement**

Il était de 26 millions de DM.

- **La station d'épuration**

Les excédents hydriques sont envoyés dans une station d'épuration qui traite aussi les lixiviats de la décharge. C'est une boue activée, couplée à un système d'ultra filtration. Ce principe de station est pratiquement installé dans toutes les décharges d'Allemagne. Le schéma de la station est représenté sur la figure 3.31.

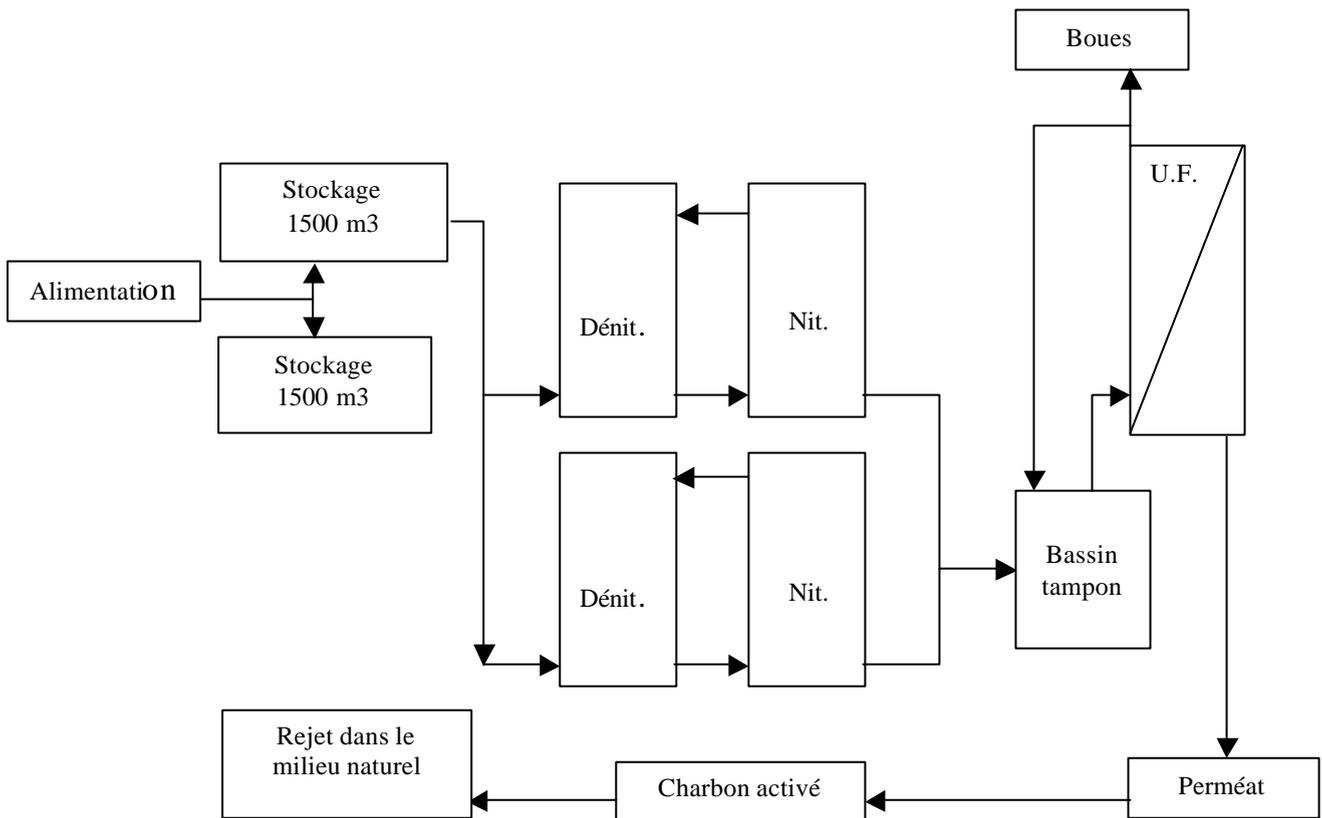


Figure 3.31 : Schéma de la station d'épuration d'Engelkirchen

Ils traitent un débit de  $650 \text{ m}^3$  par jour à  $3\,000 \text{ mg/l}$  de DCO. Les réacteurs biologiques sont des gaz lifts qui sont alimentés avec de l' $\text{O}_2$  pur.

Les membranes sont des membranes organiques qui ont un pouvoir de coupure de  $50 \text{ K}$  Daltons. Il y a 8 modules d'UF soit  $320 \text{ m}^2$  installés. Leur durée de vie est de 3 à 5 ans et le perméat sort à  $500/600 \text{ mg/l}$ . Les boues sont traitées en Step par digestion anaérobie.

Après traitement au charbon actif, le rejet est de  $200 \text{ mg/l}$  en DCO,  $80 \text{ mg/l}$  en  $\text{NH}_3$ , et  $0,5 \text{ mg/l}$  d'AOX.

L'investissement était de 10 millions de DM il y a 6 ans et le coût de fonctionnement est de  $10 \text{ à } 13 \text{ DM/m}^3$ .

### 3.5 Le traitement du biogaz

Le biogaz est composé de méthane, gaz carbonique mais aussi d'hydrogène sulfuré et d'autres éléments organiques ou minéraux en petite quantité. L'utilisation du biogaz dans des moteurs, directement ou après compression, nécessite un traitement pour réduire voire éliminer l' $H_2S$  et le gaz carbonique. On estime actuellement, que l'on a environ un million de véhicules qui fonctionnent au gaz naturel. Son utilisation permet d'économiser 40 à 50% des coûts de maintenance. Un biogaz propre peu avoir les même avantages et contribue bien sûr à l'utilisation de l'énergie renouvelable.

#### 3.5.1 Elimination du gaz carbonique ( $CO_2$ )

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour éliminer le gaz carbonique.

- Lavage à l'eau

On utilise la grande solubilité du  $CO_2$  de l'eau pour le séparer du méthane. Le procédé est réalisé sous pression et élimine aussi l' $H_2S$ . Ce procédé nécessite de renouveler l'eau et demande donc de grande quantité.

- Lavage au polyéthylène glycol

Le principe repose aussi sur la grande solubilité du  $CO_2$  et de l' $H_2S$  dans ce produit. Il est plus efficace que le précédent mais nécessite aussi la régénération du solvant. C'est une technique très appliquée aux USA.

- Tamis moléculaire au carbone

Il utilise la différence des caractéristiques d'adsorption du méthane et du gaz carbonique sur le carbone. A haute pression le méthane s'adsorbe puis est relargué en diminuant la pression. Pour éviter la perte d'énergie due à la compression, les récipients sont liés les uns aux autres de telle façon qu'un récipient sous pression est directement connecté à un récipient dépressurisé. L'élimination de l' $H_2S$  est réalisée avant par des filtres à charbon actif.

- Techniques membranaires

Les membranes utilisent deux techniques : une séparation en portant le gaz à une haute pression et une séparation par membrane gaz-liquide.

Dans le premier cas, les membranes soumises à un gaz haute pression sépare sélectivement l'hydrogène sulfuré ou le gaz carbonique. Cette séparation se fait progressivement en trois étages pour atteindre 96 % de pureté.

Le second cas est une nouvelle application pour le biogaz et elle utilise des membranes hydrophobes microporeuses qui sont à l'interface entre le gaz et le liquide. Le gaz carbonique et l'hydrogène sulfuré se dissolvent dans le solvant liquide alors que le méthane reste dans le gaz et est récupéré.

### 3.5.2 Élimination de l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S)

L'hydrogène sulfuré du biogaz provient de la dégradation de protéines et d'autres composés soufrés. Sa concentration varie de quelques centaines de ppm à partir des déchets municipaux à plusieurs milliers de ppm dans les biogaz issus des fumiers et de déchets industriels riches en protéine.

Cette molécule doit être retirée car elle est la cause de corrosion dans les systèmes de combustion et de pollution car elle forme des oxydes de soufre dans les fumées. Pour les moteurs de véhicule, sa concentration doit être inférieure à 10 ppm. Les techniques d'élimination sont représentées ci-dessous.

- Désulfuration biologique

Des bactéries sont capables d'oxyder l'hydrogène sulfuré en soufre avec de l'oxygène et du fer. Ces organismes peuvent être exploités en ajoutant 2 à 5% d'air dans le biogaz présent dans le headspace du digesteur. On a donc la formation de petites particules de soufre qui se déposent dans le digesteur. Si cette technique réduit la teneur en H<sub>2</sub>S du biogaz, elle ne permet pas d'atteindre des valeurs suffisamment basses pour l'alimentation directe des moteurs.

Ce système peut être décliné par la réalisation d'un biofiltre qui reçoit le biogaz dopé à l'air. Les microorganismes fixés sur le support réalisent la réaction biologique. Cette technique doit être utilisée avec précaution pour éviter les risques d'explosion.

- Réaction avec le fer ou les oxydes de fer

L'H<sub>2</sub>S réagit rapidement avec les chlorures ou les oxydes. Cette réaction peut être réalisée par addition du chlorure de fer dans le milieu réactionnel ou en faisant passer du biogaz à travers un lit d'oxyde de fer.

La première technique est peu coûteuse à réaliser mais ne permet pas d'obtenir des valeurs suffisamment basses pour les moteurs.

L'oxyde de fer peut se présenter sous différentes formes, copeaux, particules ...Le lit réactionnel doit être régénéré pour reformer l'oxyde de fer. Ce procédé étant fortement exothermique, cet aspect doit être maîtrisé.

- Charbon actif

Le charbon actif imprégné d'iodure de potassium peut jouer le rôle de catalyseur de la réaction entre l'oxygène et l'H<sub>2</sub>S pour former de l'eau et du soufre. La réaction s'opère généralement à 7-8 bars et 50 - 70 degrés C. Si le gaz a une forte concentration en H<sub>2</sub>S (plus de 3 000 ppm), une régénération périodique est nécessaire.

### 3.6 Bilan des performances des digesteurs anaérobies sur déchets

Ces chiffres ne sont là que pour donner une idée. Ils sont issus de la littérature du constructeur ou calculés à partir de leurs données. Les teneurs en matière sèche peuvent dépendre de la nature des biodéchets entrant. On doit considérer qu'elles peuvent varier au moins de +/- 5 % au moins. Donc un digesteur travaillant à 30 % de MS peut se trouver avec des valeurs allant de 25 à 35 % de MS suivant les substrats entrants. Le même type de variation peut être obtenu avec la température de fonctionnement. Donc, ce sont des valeurs à consommer avec modération !

Site / constructeur	Substrats	Temps . (° C)	Taux de MS dans le digesteur (%)	Temps de séjour (jours)	Charge dans le réacteur kg MV/m <sup>3</sup> /j	Rendement en méthane (m <sup>3</sup> /t M V)
Amiens/ Valorga	O M brutes* 60 % MS 63 % MV	37	25-35	20 (18-22)	7 (a)	220-250
Engelskirchen/ Valorga	Biodéchets 32-42 % MS 50-75 % MV	37	36	25 mini	3,7 (a)	240-260
Tilburg / Valorga	Biodéchets MS 37-55 % MV 32-57 %	40	30	22-55	2,96 (a) 4,4 (b)	210-290
Bretch/ OWS Dranco 2	Biodéchets MS 40 % MV 55 %	55	31	10 à 15	4 à 6 kg	272 (a)
Bassum /OWS Dranco	Déchets gris MS 57 % MV 51 %	55	41	-	-	304(a)
Lelystad/Arcadis Biocel	Biodéchets	35-40	35-40	21	4,5 (a)	169(a)
Kompogas/ Kogas Bülher	Biodéchets	55	30	20	6 (c)	354(a)

MS Matière Volatile en % par rapport au brut

MV Matière sèche, en % par rapport à la MS

\*Refus 15% avant entrée dans le digesteur

(a) recalculé (En cas d'absence d'informations nous avons pris pour les biodéchets 40 % MS et 55% MV, biogaz à 60% CH<sub>4</sub>)

(b) en régime permanent

(c) M Levasseur communication personnelle

Tableau 3.9 : Comparaison des performances de différents procédés de digestion anaérobie

### **3.7 Comparaison de coûts d'investissement et de fonctionnement**

Dans ce paragraphe, nous allons essayer de donner une idée du coût d'investissement et de fonctionnement de quelques unités de méthanisation de déchets. Il est bien évident que de nombreux facteurs interviennent sur ces valeurs comme :

- la nature du déchet qui implique des prétraitements plus ou moins poussés ;
- une valorisation plus ou moins facile des produits ;
- la situation géographique ;
- des contraintes du maître d'ouvrage ;

Ce coût est fourni par le constructeur : il leur a été demandé de fournir le coût d'investissement et de fonctionnement pour trois sites bien identifiés fonctionnant sur trois substrats différents.

Le retour de l'information a été très faible, notamment sur les coûts de fonctionnement (les constructeurs ne possédant pas l'information). La demande adressé directement aux exploitants a eu un retour pratiquement nul !

**Tableau 3.10 :**

Constructeur	Site et année de démarrage	Type de déchets et capacité *	Volume des digesteurs (m <sup>3</sup> )	Coût d'investissement (Euros)	Coût de fonctionnement * (Euros/t)
Valorga	Amiens (1979)	OB 85000t/an	2400x 3 et 3500	ND	86,9**
	Leppe(1998)	BD(FFOM) 35 000t/an	2x3000	12,5Mio	53,7
	Varennes Jarcy (en construction)	OB 70 000 t/an BD 30 000 T/an	2x4200	23 Mio	25***
	Freiburg (1999)	BD (FFOM)	4000	9,9	60
ENTEC	Dedelow (Allemagne)	Fumier de bovins	2x4000	2,5 Mio	ND
	Juneda (Espagne)	Lisier de porc	2x3000	1,5 Mio	ND
	Tornitz (Allemagne)	Lisier de porc +fientes de volailles	5100	1,7 Mio	ND
Linde	Barcelone Ecoparque1 (2001)	FFOM+	6700x 4	9,6 Mio	ND
	Hoppstadten (2002)	23 000 t/an FFOM + BD	1500	8,7Mio	ND
	Wels (1996)	FFOM 15 000 t/an	1600	1,8 Mio	ND
OWS	Bretsch 2 (2000)	BD 50 000 t/an	3500	13 Mio	75
	Kaiserslautern	DG 20 000 t/an	2400	15 Mio	ND
	Rome	OB 40 000	3100	4Mio	ND

Sigle : OB Ordures brutes, BD biodéchets, FFOM Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères, DG déchets gris, ND Non disponible

\* par rapport à la matière entrante

\*\* avec amortissement

\*\*\* hors amortissement

Si pour un constructeur (ici Linde) on calcule le coût d'investissement par m<sup>3</sup> de digesteur et les coûts d'investissement rapportés à la tonne de matière à traiter on a le tableau 3.11

Nature du procédé	Coût spécifique invest. k Euros/m <sup>3</sup> de digesteur	Coût spécifique invest. k Euros/t de matière entrante à l'usine
Thermophile sec	7,37	0,37
Thermophile humide	1,26	0,104
Mésophile humide	3,41	0,061

Tableau 3.11 : Coûts d'investissement pour différentes technologies par Linde

La stratégie « thermophile sec » présente l'investissement le plus important, mais ce choix est souvent justifié par une meilleure hygiénisation du produit. Le thermophile humide nécessite de plus gros volume de réacteur et traite des déchets plus chargés en eau que le digesteur thermophile sec.

### 3.8. Comparaison de l'eau usée produite en fonction des critères de fonctionnement

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer les quantités d'eau produites suivant les différents cas de figures possibles.

On partira sur les critères de calcul selon deux cas de figure :

**Cas 1 :** Un biodéchets ayant 40 % de MS. On produit 50 % de la masse entrante en compost. Ce compost a 45 % d'eau (soit 45,8 % de la MS entrante se retrouve sous forme de MS du compost)

On considèrera quatre valeurs possibles de teneur en eau dans le digesteur : 40, 30, 20 et 5% de MS.

**Cas 2 :** Un biodéchets ayant 20 % de MS qui sera donc plus fermentescible et dont 20 % de la MS entrante se retrouve sous forme de MS du compost. Ce compost aura aussi 45 % d'eau.

Pour les deux cas, on considère que le gaz sort de l'usine sec et qu'il n'y a pas de déperdition d'eau lors du compostage et qu'on ne recycle pas l'eau.

Les résultats sont reportés sur le tableau 3.12, ci-dessous pour une tonne de biodéchets bruts à l'entrée.

	Teneur en MS du digesteur	Quantité d'eau apportée (kg)	Quantité d'eau usée produite (kg / tonne de biodéchets)	Capacité de la station d'épuration en Equivalents Habitants
<b>Cas 1</b>	40%	0	375	1284
<b>Cas 1</b>	30%	333	708	2424
<b>Cas 1</b>	20%	1000	1375	4708
<b>Cas 1</b>	5%	7000	7375	25256
<b>Cas 2</b>	20%	0	782	2678
<b>Cas 2</b>	5%	3000	3782	12952

Tableau 3.12 : Comparaison des volumes d'eau produits en fonction des différentes stratégies de méthanisation choisies.

- **Stations d'épuration à mettre en place**

La capacité des stations à mettre en place est reportée sur la dernière colonne du tableau 3.12. Pour cela, on considèrera que la concentration de la DCO de l'eau produite est de 3g/l et que l'unité traite 50 000 t/an de biodéchets par an.

Pour le cas 1 par exemple, si on réalise une teneur 30 % de MS dans le digesteur (fermentation sèche), la quantité de DCO à éliminer par an sera de 106,2 tonnes, ce qui conduira une station d'épuration de 2 424 équivalents habitants.

Par contre, dans le cas d'une digestion réalisée à 5 % d'eau ce serait une station de 25 250 équivalents habitants qu'il faudrait mettre en place !

### 3.9 Description des expériences au stade laboratoire et pilote

#### 3.9.1 Les pré-traitements

Les pré-traitements restent un domaine de recherche ou de nombreuses stratégies ont été évaluées principalement au stade laboratoire. Parmi ceux-ci, deux d'entre eux qui peuvent avoir un intérêt industriel.

- hydrolyse sous pression à chaud. Cela consiste à porter à 40 bars et à plus de 200 degrés C la matière dans un réacteur spécifique ;
- les co ou prétraitements d'oxydation (peuvent être réalisés, par exemple, par une oxydation à l'ozone des boues de Step).

#### 3.9.2 Le procédé à acidogénèse multiple

Le principe de ce procédé consiste à mettre en place plusieurs réacteurs de liquéfaction acidogène des déchets solides et d'envoyer les lixiviats obtenus dans un réacteur de méthanisation. Le principe de ce procédé est représenté sur la figure 3.32.

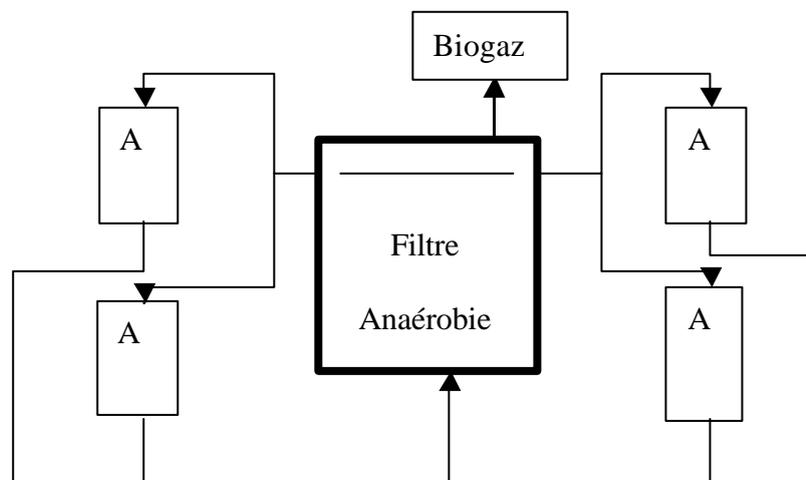


Figure 3.32 : Schéma du procédé (A : réacteur d'acidogénèse)

Ce procédé consiste en une liquéfaction discontinue des déchets dans différents réacteurs acidogènes. Les lixiviats sont envoyés dans un digesteur qui aura à traiter des liquides. L'effluent qui sort du digesteur est recyclé et permet ainsi la réutilisation de l'eau. En fin d'hydrolyse, on peut réaliser un compostage des déchets restants.

Ce type de procédé présente les avantages suivants :

- une adaptation des conditions d'acidogénèse à chaque déchet (notamment lors des retraits de fruits et légumes) afin d'optimiser les conditions d'hydrolyse de chacun d'eux ;
- le réacteur de méthanogénèse fonctionne de manière optimale ;
- on centralise le traitement de déchets divers ;
- on produit un biogaz et le reste de la matière organique est composté ;
- le gaz formé dans les réacteurs d'acidogénèse ( $H_2$  et  $CO_2$  voire aussi  $CH_4$ ) peut être envoyé dans le réacteur de méthanisation ;
- on peut envisager en fin d'acidogénèse une petite phase de méthanisation (dans le réacteur d'acidogénèse) pour stabiliser le produit avant son extraction.

Ce procédé a été testé au stade laboratoire sur différents biodéchets d'origine industrielle (feuilles de salade, épluchures de pomme de terre, marc de pomme... ). Les principales caractéristiques obtenues à ce stade sont :

- 80 % d'hydrolyse en acidogénèse (ormis sur marc de pomme) ;
- des charges de 4 kg DCO/m<sup>3</sup>/j en moyenne sur l'ensemble ;
- 17 jours de TSH ;
- élimination globale moyenne de 87% de la matière organique.

Ce procédé a été repris par les corréens et a été rapporté sous le nom de MUSTAC pour Multi-step Sequential batch Two-phase Anaerobic Composting.

*Raynal J., Delgenès J.P., Moletta R., (1998), Two phase anaerobic digestion of solid wastes by a multiple liquefaction reactors process, Bioresource Technology, 65, pp97-103.*

*S.-K. Han, H.-S. Shin, Y.C. Song, C.-Y. Lee, S.-H.Kim, 2001, Novel anaerobic process for the recovery of methane and compost from food waste, 9<sup>th</sup> world congress on anaerobic digestion 2001, Anaerobic conversion for sustainability, Antwerpen 2-6 septembre Belgium.*

### 3.9.3 Le couplage digestion de déchets et traitement des eaux usées.

La réglementation demande de plus en plus souvent un traitement de l'azote et du phosphore présents dans les eaux usées. Pour éliminer ces deux éléments par voie microbienne, il faut une source de carbone.

Or, dans le traitement des eaux usées urbaines, la matière organique disponible entrante est insuffisante pour réaliser ces traitements. L'idée de l'équipe Cecchi (Université de Venise et actuellement Université de Trévise) et de Mata Alvarez (Université de Barcelone) est d'installer une unité d'acidification des déchets urbains pour produire des AGV, qui seront utilisés comme source de carbone dans la station d'épuration de la ville. Dans ce procédé, une partie de l'azote et du phosphore est récupérée sous forme d'un précipité de struvite.

Il est décrit ci dessous, figure 3.33 :

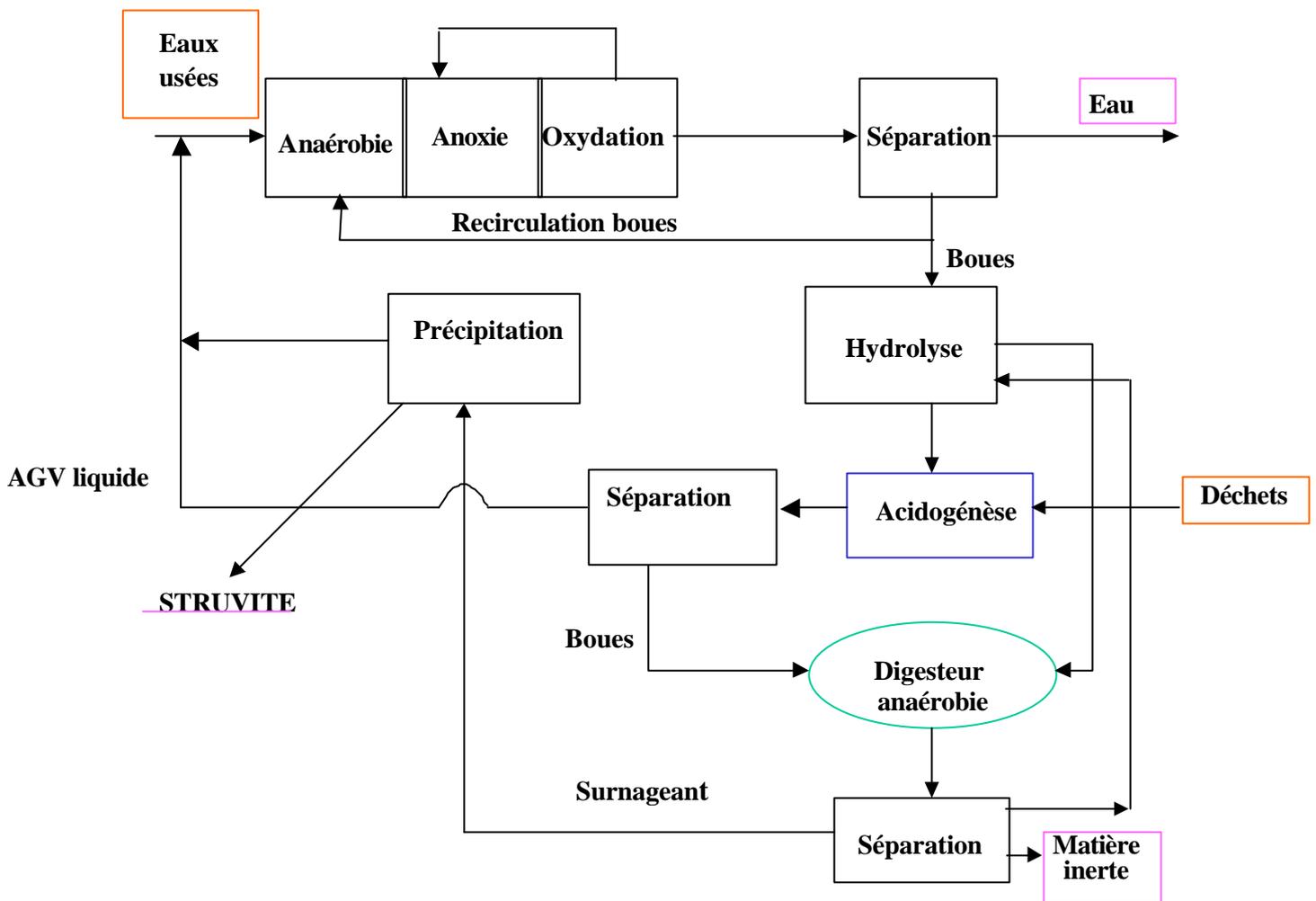


Figure 3.33 : Schéma du couplage de la digestion anaérobie des déchets et du traitement des eaux urbaines

Cecchi F., Battitoni P., Pavan P., Fava G., Mata Alvarez J. (1994) Anaerobic digestion of OFMSW and BNR processes : a possible intégration. Preliminary results, *Water Science and Technology* , 30, 8, pp 65-72

### 3.9.4 Digestion par ruissellement de « déchets verts »

Dans la gamme des réacteurs rustiques méthanisant des déchets verts, il est intéressant de noter l'expérience indienne de méthanisation par ruissellement. De manière générale, les déchets sont introduits sans broyage par le haut du réacteur et on a une recirculation d'eau une fois par jour. Le digesteur ayant un coefficient de vide important ressemblerait à un « lit bactérien anaérobie » dans lequel, le support serait la matière à digérer. Le schéma d'un tel réacteur est représenté sur la figure 3.34 ci-dessous.

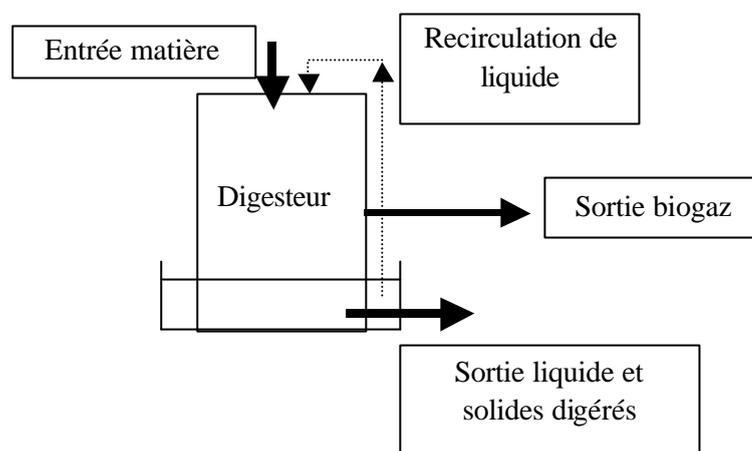


Figure 3.34 : Schéma du digesteur à ruissellement

Ce type de réacteur a été développé par le laboratoire ASTRA de l'Indian Institute of Science à Bangalore.

*Chanakya H.N., Srikumar K.G., Anand V., Modak J., and Jagadish, (1999) Fermentation properties of agro residues, leaf biomass and urban market garbage in a solid phase biogas fermenter, Biomass and bioenergy, 16, 417-429.*

### 3.9.5 Fluidisation des déchets solides

L'idée ici, est de fluidiser des déchets dans un milieu de méthanisation. Il a été appliqué en Inde aux déchets agricoles que sont les cosses de café. Pour ce type de procédé, il s'avère nécessaire d'avoir un substrat relativement homogène, ce qui peut être le cas dans l'industrie.

Ce type de réacteur a aussi été développé en Inde par le laboratoire ASTRA de l'Indian Institute of Science à Bangalore (Chanakya communication personnelle).

### 3.9.6. L'hyperthermophilie

Certains auteurs ont rapportés des activités méthanogènes sur effluents contenant de l'acétate à des températures très élevées (jusqu'à 75°C.). La mise en œuvre de telle température peut être intéressante lorsqu'on veut hygiéniser aussi la matière.

Scherer et coll (1999) ont traité des déchets gris (qui contiennent encore 20 à 50 % de matières organiques) en deux étapes. Ils ont montrés que l'hydrolyse pouvait se faire en hyperthermophilie( au dessus de 55 °C) mais pas la méthanisation. Une hydrolyse à 65°C (avec un temps de séjour de 4,3 jours et de 55°C dans le second étage (avec un temps de séjour de 14,2 jours) permet la dégradation d'environ 80 % de MV entrantes.

Scherer P.A., Vollmer G.R., Fakhouri T. Martensen S. (1999) *Development of a methanogenic process to degrade exhaustively municipal « residual refuse » (MRR) resp « grey waste » under thermophilic and hyperthermophilic conditions, Proceeding of II international symposium on anaerobic digestion of solid waste, Barcelona 15-17 june 1999 Volume 1, pp 65-74.*

### 3.9.7. Le couplage digestion anaérobie-ozonation

Les traitements physico-chimiques sont nécessaire à la mise en œuvre de la digestion anaérobie des déchets principalement pour le tri et le broyage. Les techniques d'oxydation peuvent fragiliser la matière, permettant ainsi d'aller plus loin dans les rendements de transformation. Lors du traitement des effluents urbains (par boues activée), l'ozonation des boues excédentaires permet déjà d'avoir une production nulle en boues (procédé « biolysis » de Ondéo Degrémont). Cette ozonation peut être aussi appliquée aux boues en pré-traitement ou en co-traitement, suivant que l'ozonation se fait avant digestion anaérobie ou après (avec recyclage partielle dans le digesteur à boues).

En pré-traitement l'ozone solubilise 19 et 37 % des solides à des doses d'ozone respectivement de 0,015 et 0,05 g de O<sub>3</sub>/g MS . Ces pré-traitements permettent une meilleure réduction des solides et une récupération de méthane plus importante. On a une amélioration de 35 à 90 % du taux de réduction des solides.(Goel et coll 2002)

Le co-traitement des boues par l'ozone est schématisé sur la figure 3.35.(Battimelli et coll 2002).

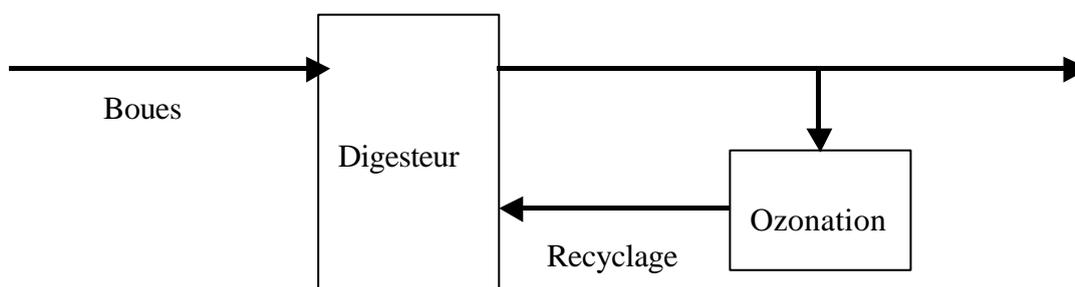


Figure 3.35: Schéma de principe du co-traitement par ozonation des boues de station d'épuration par digestion anaérobie.

Les doses appliquées dans ce cas sont de 0,16 g de O<sub>3</sub> / g de MS. Le taux de recyclage optimum des boues est de 25 % et permet de passer d'un taux de réduction des solides de 35 % (sans recyclage ) à 55%. Le taux d'élimination de la DCO est alors de 66%.

Goel R., Tokutomi T., Yasui H., Noike T. (2002), *Anaerobic digestion of excess activated sludge hydrolysed with ozone pretreatment* , *Proceeding of 3th international Symposium on anaerobic digestion of solid waste, Munich, 18<sup>th</sup> to 20 September 2002.*

Battimelli A., Millet C., Delgenes P., Moletta R., (2002), *Anaerobic digestion of waste activated sludge combined with ozone post treatment and recycling.* *Proceeding of 3th international Symposium on anaerobic digestion of solid waste, Munich, 18<sup>th</sup> to 20 September 2002.*

## Chapitre 4

### Le biogaz « à la ferme »

La production du biogaz à la ferme, à partir des lisiers et de déchets agricoles, s'est largement développée en Chine et en Inde, mais ce sont principalement des digesteurs de très faible capacité. Connus respectivement sous le nom de « réacteur chinois » et de « gobar gaz », leur utilisation est avant tout un objectif de production d'énergie pour des besoins domestiques.

En France, le biogaz à la ferme date des années 40. Pendant la guerre, on produisait un biogaz de fumier avec les digesteurs Ducellier Isman. C'étaient des systèmes batch avec une pré-fermentation aérobie, pour éviter l'acidogénèse lors du démarrage de la réaction biologique. Dans les années 70, suite à la crise pétrolière, on a vu fleurir de nombreux « digesteurs à la ferme » mais le nombre actuel des digesteurs en fonctionnement serait uniquement de 6 !

En Europe, la production de biogaz à la ferme est réalisée dans des digesteurs industriels qui fonctionnent le plus souvent en co-substrat (co-digestion). Les principaux pays qui ont développé cette stratégie sont l'Allemagne et le Danemark mais la Suisse (60 digesteurs à la ferme), l'Autriche, le Portugal, l'Italie, la Finlande connaissent aussi un fort essor des installations de biogaz à la ferme.

L'Allemagne est un pays qui a le plus développé le biogaz à la ferme.

Depuis 1994, on compte dans ce pays, plus de 1 600 installations de méthanisation (tout confondu) dont 800 sur déchets agricoles.

Les unités peuvent être individuelles à l'échelle d'une ferme ou centralisées regroupant plusieurs fermes. Elles traitent souvent des déchets extérieurs avec les déchets qu'ils produisent (co-digestion). Le biogaz est essentiellement valorisé en co-génération. L'électricité est vendue au réseau à 0,102 euros/kWh. Les installations peuvent être tout ou en partie auto-construites par les agriculteurs eux-mêmes ou bien livrées « clés en mains ».

Dans ce chapitre, nous aborderons les exemples de biogaz à la ferme, principalement à travers l'expérience Allemande et ceux mis en place dans les unités centralisées de traitement du Danemark..

#### 4.1 Potentiels méthanogènes de différents substrats

Les déchets agricoles et notamment les lisiers présentent un potentiel méthanogène intéressant comme le montre le tableau 4.1

Substrats	Matière Sèche %	Matière volatile/ matière sèche (%)	Potentiel méthanogène*
Fumier de bovins	25- 40	70	200-400
Lisier de bovins	5-12	75-85	200-350
Lisier de porcins	3-8	70-80	250-500
Fiente de volailles	10-30	70-80	350-600
Tontes de pelouse	20- 25	90	550
Paille	70	90	350-450
Déchets de cuisine	10	80	500-600
* m <sup>3</sup> de biogaz à 60% de CH <sub>4</sub> par tonne de Matière Volatile			

Tableau 4.1 : Potentiel méthanogène des déchets agricoles

#### 4.2 Digesteurs types pour la méthanisation des déchets agricoles

On distingue 3 types de digesteurs :

- En fonctionnement discontinu. Ce sont plusieurs digesteurs en parallèle avec recirculation du lixiviat. Les temps de séjour sont de 2 à 3 mois. Le schéma de fonctionnement est reporté ci-dessous sur la figure 4.1.

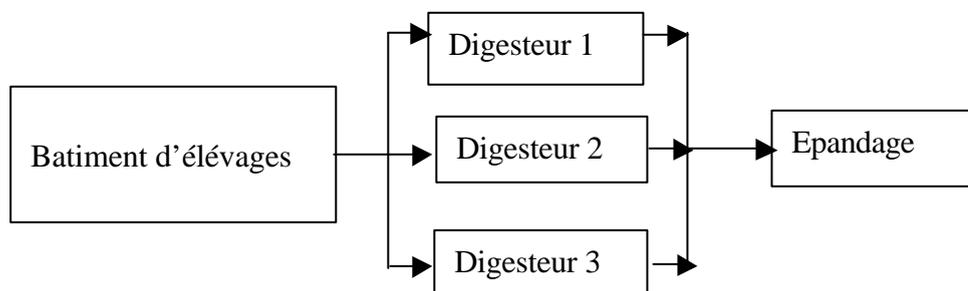


Figure 4.1. : Schéma de la mise en œuvre de digesteurs en discontinu

- En fonctionnement continu (ou semi-continu)

Dans cette stratégie, on distingue deux technologies différentes. La première est la mise en œuvre d'un brassage interne qui conduit à un réacteur dit « mélangé » et le second est plutôt du type « piston ».

- Digesteur type mélangé

Dans ce système un brassage est réalisé par un système à pales. Comme le montre la figure 4.2

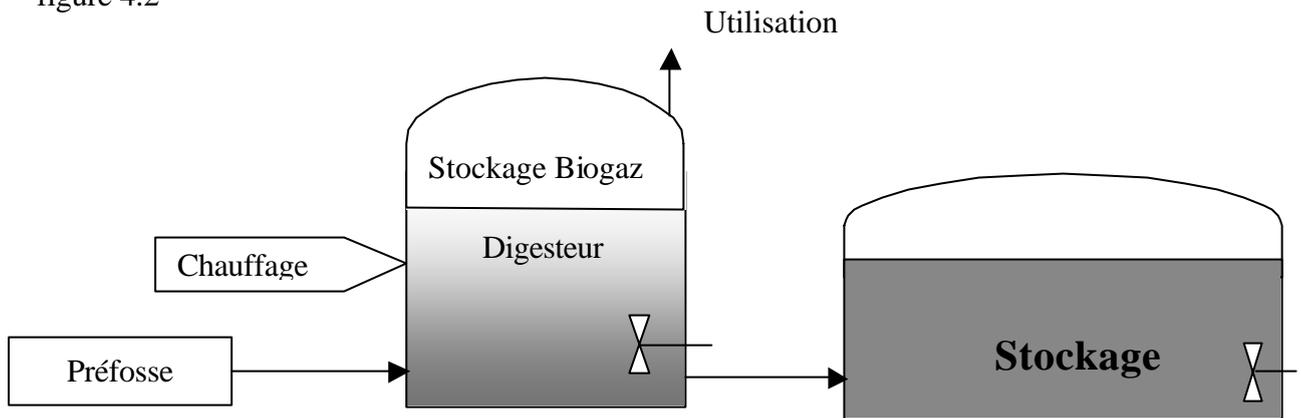


Figure 4.2 : Schéma d'un réacteur mélangé

- Digesteur type piston

Dans cette stratégie, c'est un système cylindrique où le substrat avance sous l'influence de pales. Il est représenté sur la figure 4.3

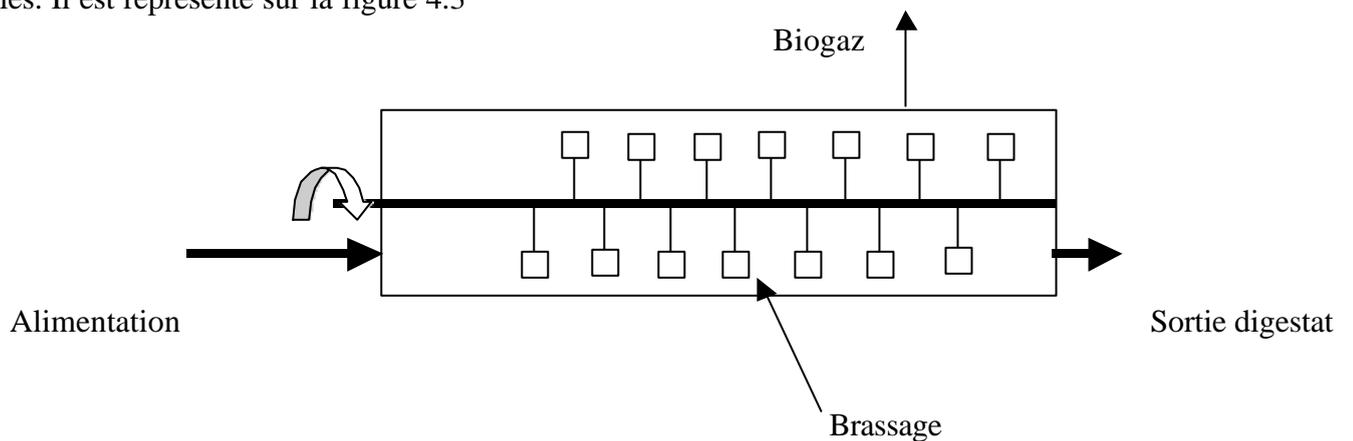


Figure 4.3 : Digesteur type piston pour traiter des déchets agricoles

## 4.3 Exemples de procédés mis en place en Allemagne

### 4.3.1 Principaux constructeurs allemands

Nous rapporterons ici, les principaux constructeurs allemands qui ont une forte activité dans le domaine du biogaz à la ferme. Certains digesteurs sont réalisés en auto-construction par les agriculteurs, avec l'aide de cabinets d'ingénierie.

- **BEKON**

C'est un système de digestion discontinu avec recirculation du percolat. Il est représenté figure 4.4. Ce système qui a l'avantage de la simplicité permet une bonne maîtrise des temps de séjour. Les cuves sont chargées avec un mélange de déchets et d'inoculum. Une recirculation du lixiviat est réalisée afin d'améliorer les vitesses de méthanisation.

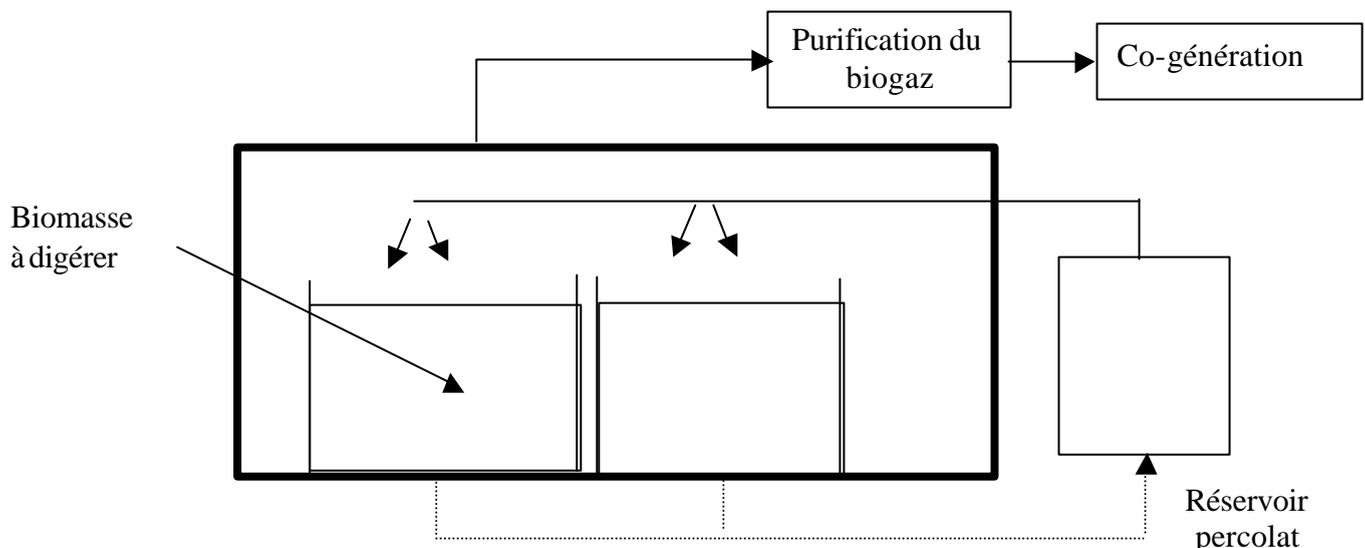


Figure 4.4. : Schéma du système de la société BEKON

C'est une fermentation sèche qui permet d'obtenir un rendement de 100 m<sup>3</sup> de méthane/t d'herbe et 180 m<sup>3</sup> de méthane /t de maïs ensilé.

- **Weltec Bio Power**

C'est une toute nouvelle société. Elle a été créée en juillet 2001 par deux sociétés WEDA et Stallkamp. La technologie de son digesteur consiste en une cuve pouvant aller de 70 à 5 000 m<sup>3</sup> dont le schéma est représenté ci-dessous (figure 4.5). C'est un digesteur de type fosse mélangée.

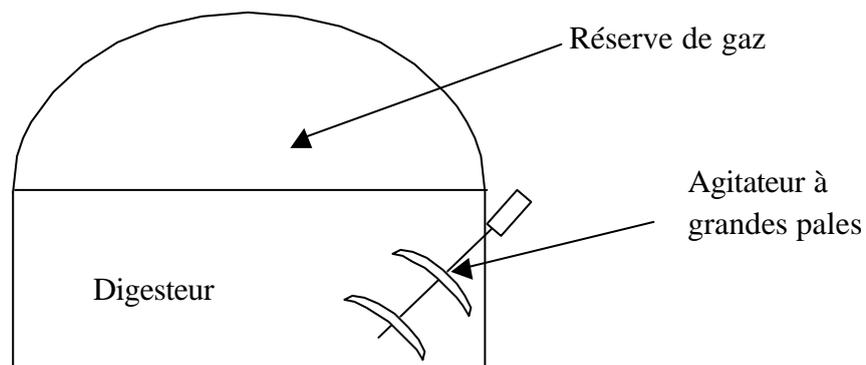


Figure 4.5 : Schéma du digesteur Weltec Bio power

- **LIPP GmbH**

Le schéma de principe est reporté ci-dessous figure 4.6. C'est un digesteur de type fosse mélangée, qui peut recevoir des déchets de végétaux agricoles et des déchets organiques issus des ordures ménagères.

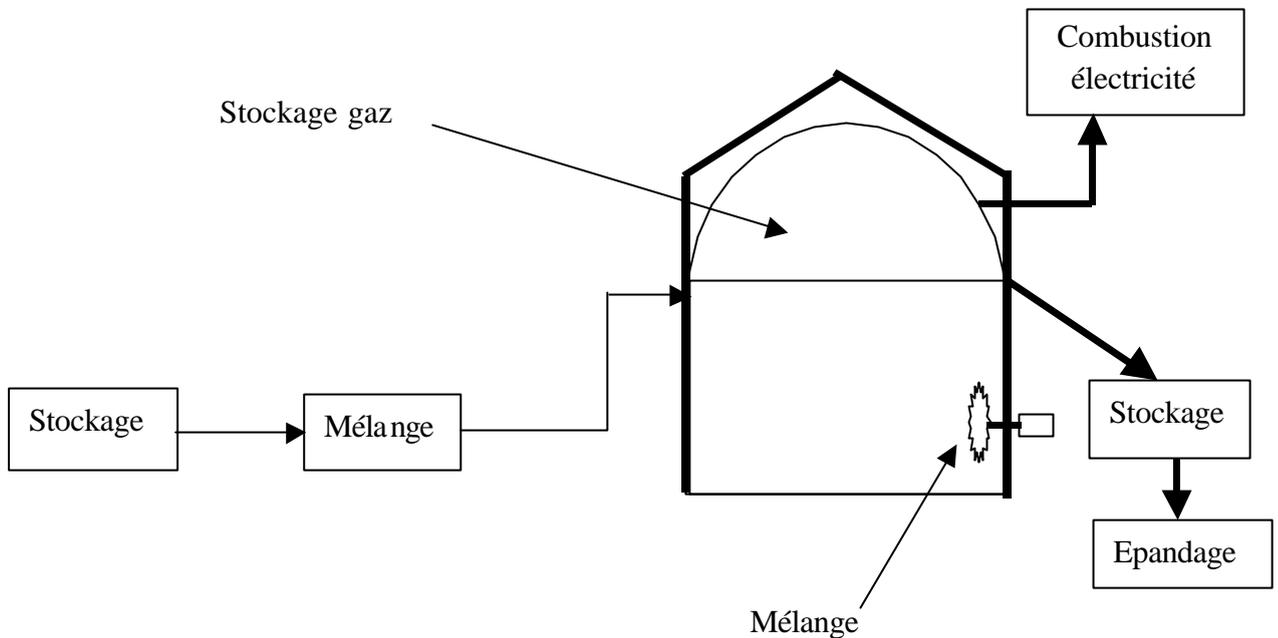


Figure 4.6. : Digesteur LIPP

Les digesteurs ont de 3 à 40 m de diamètre. Le biogaz produit est à environ 70 % de CH<sub>4</sub>.

- **AAT Abwasser und Abfaltechnik GmbH & Co**

C'est un digesteur appliqué à différents types de substrat comme le fumier, déchets organiques industriels ou municipaux, boues de step. C'est un digesteur de type fosse dont le mélange est réalisé par le biogaz formé via la connexion de deux zones de stockage de gaz. Le schéma de principe est reporté dans la figure 4.7 ci-dessous.

Comme pour d'autres procédés appliqués aux déchets solides urbains, ce digesteur utilise le biogaz produit pour créer une agitation du digestat.

La vanne est fermée, le biogaz formé est piégé dans la couronne extérieure et sort dans le cylindre central. Le niveau de digestat monte dans ce cylindre (schéma A). On ferme la sortie de biogaz et on ouvre la vanne. Les pressions de biogaz s'équilibrent, le digestat descend au centre et monte sur les côtés (schéma B), créant ainsi un "mélange". Le système s'équilibre et en refermant la vanne, on peut recommencer (schéma C).

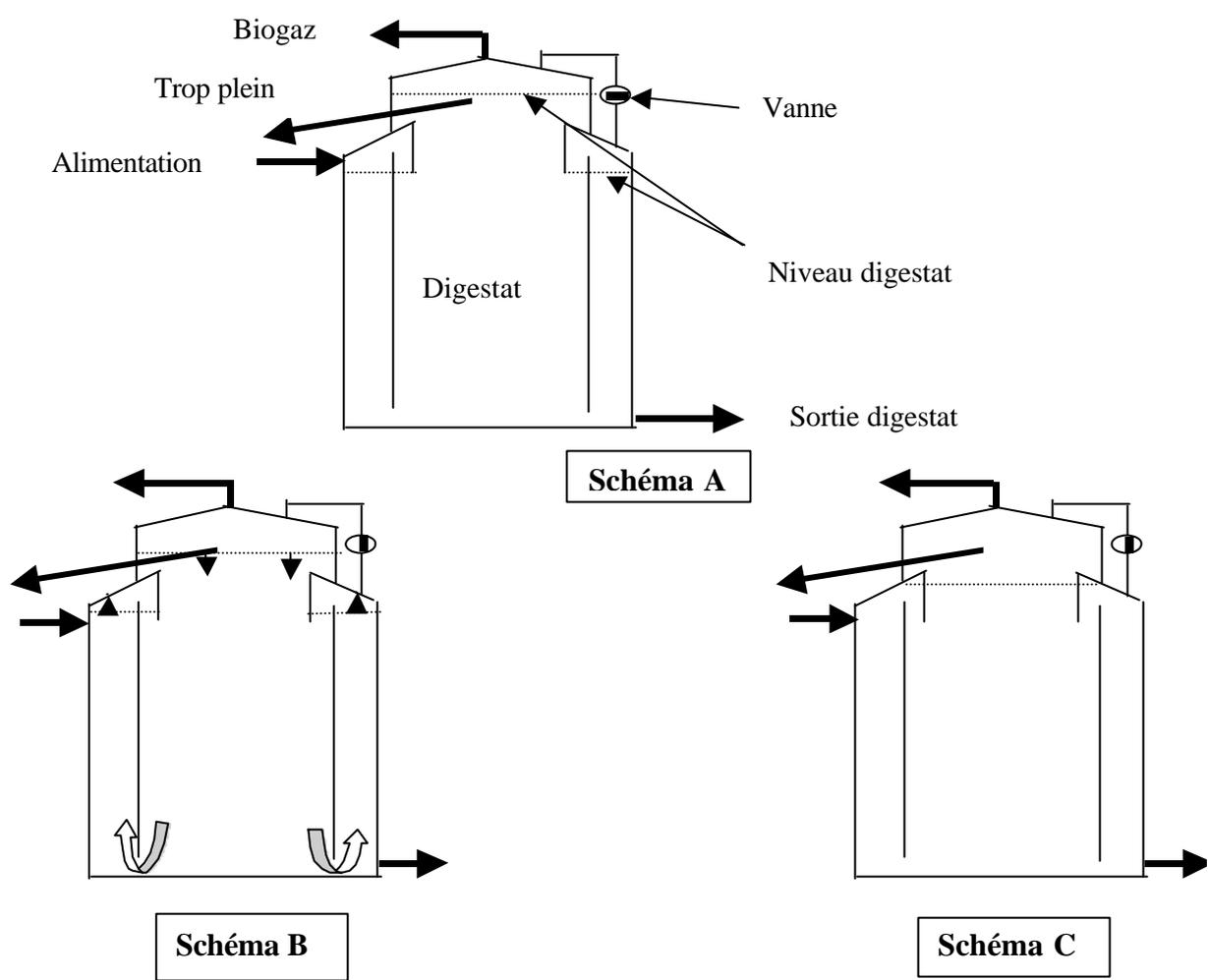


Figure 4.7 : Schéma du procédé AAT

Cette société affiche 34 références dont des volumes de réacteur maxi de 8 000 m<sup>3</sup>. Sur du fumier, ils fonctionnent à 12 % de matière sèche.

- **Navatech**

Elle commercialise le système piston et la matière avance à l'aide de pales. Son principe de mise en œuvre est représenté sur la figure 4.8 ci -dessous.

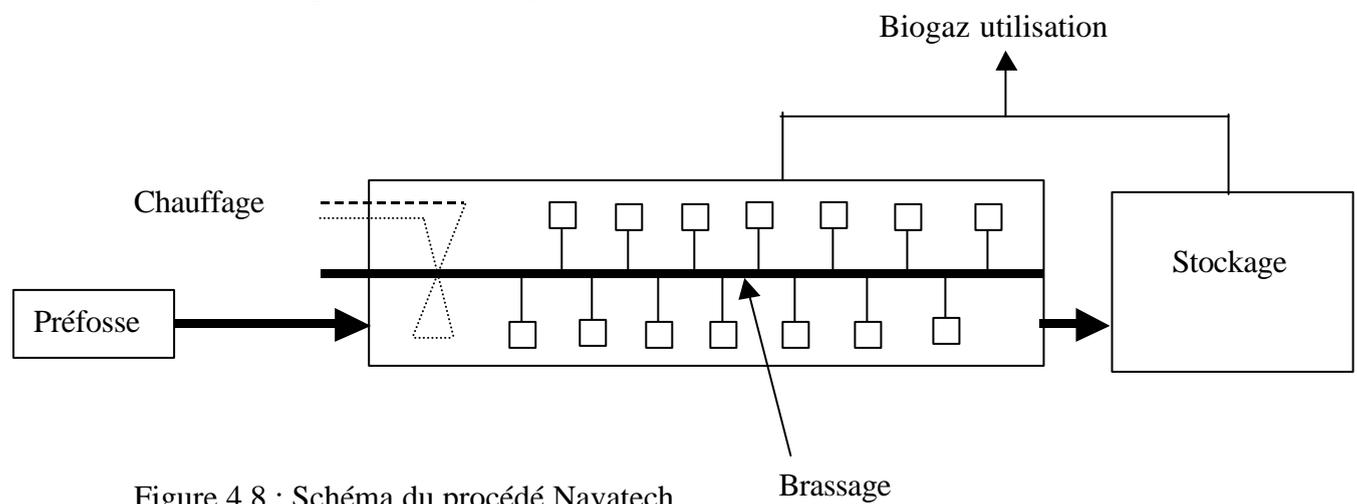


Figure 4.8 : Schéma du procédé Navatech

- **Autres sociétés commercialisant des digesteurs**

Nous citerons : AN Mashinnenbau und, Mannesmann Shieffert GmHb, Schmack biogas GmBh, dm 1-2, Borsig energy, UTS Umwelt-Technik-Sud GmBh, ECB enviro Berlin AG...

#### 4.3.2. Exemple d'une installation à Petersauach

C'est une installation située à l'Ouest du Nuremberg. Elle a été construite en 1997 (figure 4.9).

Elle a été conçue et construite par un particulier Christian Schneider en lien avec l'association allemande Fachverband Biogas. Cette ferme possède 800 places de porcs à l'engrais et 400 poules pondeuses. Elle traite annuellement 2 200 m<sup>3</sup> de lisier auquel s'ajoute 400 tonnes d'ensilage. Les effluents digérés sont épandus sur les cultures de la ferme (50 ha).

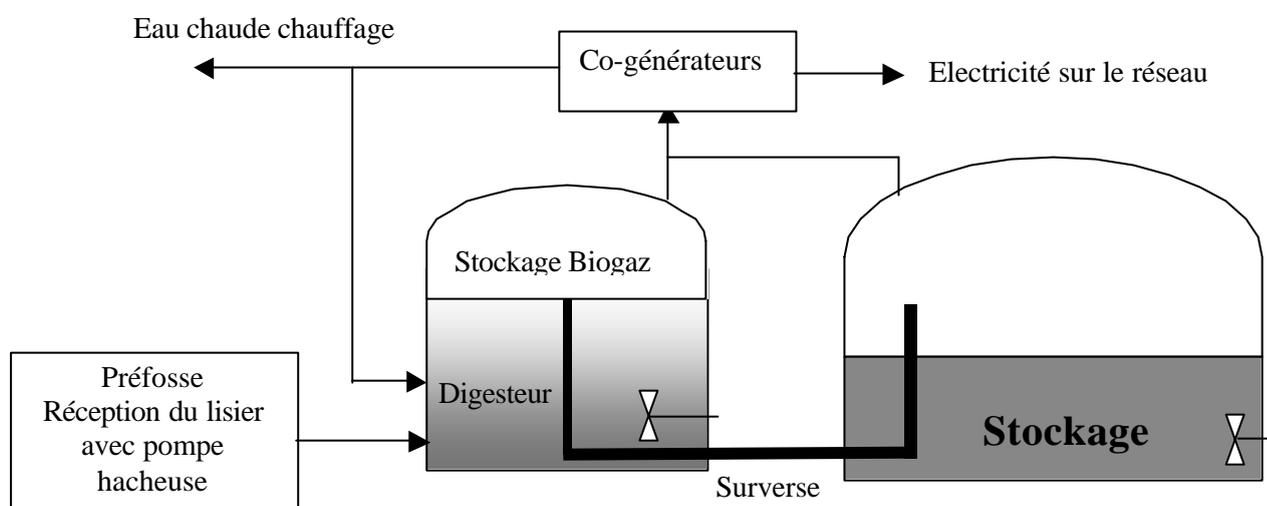


Figure 4.9. : Schéma de l'installation de Petersauach

Les données techniques de l'installation sont reportées ci-dessous.

- Déchets à traiter :
 

Lisier de porcs à 7% de MS	2 000 t/an
Fiente de poules	200 t/an
Ensilage d'herbe	200 t/an
Ensilage de maïs	200 t/an
- Volumes :
 

Digesteur	380 m <sup>3</sup>
Stockage du gaz (couvertures)	300 m <sup>3</sup>
Stockage du digestat	1 200 m <sup>3</sup>
- Méthanisation :
 

Temps de séjour dans le digesteur	1,5 mois
Température	35 °C. (30 à 40 ° C).
Production de biogaz	350 m <sup>3</sup> /J

- Cogénération :	
Puissance électrique	15 et 22 kW
Puissance thermique	30 et 45 kW
Production d'électricité	240 000 kWh
Production de chaleur	400 000 kWh

80 % du biogaz est produit dans le digesteur, le reste provient du stockage du lisier à température ambiante. Le biogaz est sommairement épuré avec une petite quantité d'air ce qui permet d'obtenir des concentrations en H<sub>2</sub>S de 60 ppm.

La valorisation du biogaz permet de produire 650 kWh électriques par jour et 1100 kWh thermiques. L'électricité est vendue 0,103 euros/kWh et 20 % de la chaleur annuelle produite sert à chauffer le digesteur.

L'investissement total pour cette installation était de 128 000 euros et l'exploitant a reçu une aide de 25 %. L'installation procure un revenu annuel de 24 000 euros (hors comptabilisation du travail) et des dépenses de 1 800 euros. Le temps de retour sur investissement est de 6 ans sans compter les gains de fertilisant et les odeurs évitées.

*La méthanisation à la ferme , Fiches techniques éditées par Eden ([www.eden-enr.org](http://www.eden-enr.org)), et l'Agence Régionale pour l'Environnement ([www.arpe-mip.fr](http://www.arpe-mip.fr))*

#### **4.4. Les unités de biogaz centralisées au Danemark**

Les informations rapportées ci-dessous représentent l'état de la situation en 1998.

Après la crise pétrolière des années 70, le Danemark a installé des digesteurs anaérobies pour produire de l'énergie en remplacement de l'énergie fossile. Il a opté pour une structure centralisée, récupérant de la biomasse autour d'une zone géographique. Le pays compte actuellement une vingtaine d'unités centralisées. Elles sont principalement placées dans la partie ouest du pays.

Le Danemark produit environ 35 à 40 millions de tonnes par an de fumier qui est la majeure partie de la ressource en biomasse. Il représente en gros 75 % de la biomasse traitée dans ces digesteurs, le reste étant des déchets principalement issus des industries alimentaires. Quelques unités traitent des boues urbaines avec le fumier et 4 unités peuvent traiter des ordures ménagères triées à la source.

Le fumier, principalement le lisier, est transporté de la ferme par les véhicules de l'usine. Les autres déchets sont transportés par les industriels ou les municipalités.

#### 4.4.1 Concept des unités de co-digestion

La mise en place de ce concept a nécessité une organisation dans les transports que cela soit pour apporter la matière à l'usine ou pour ramener les digestats dans les champs. Le concept de ces unités centralisées est représenté sur la figure 4.10.

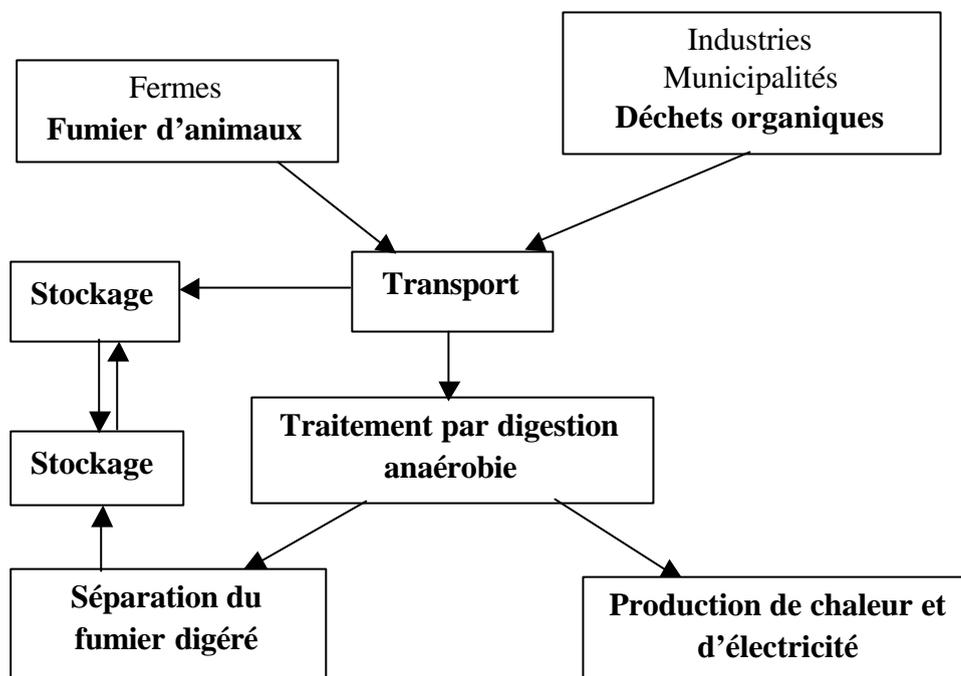


Figure 4.10 : Concept des unités centralisées au Danemark

Le biogaz produit est traité et habituellement utilisé pour produire de la chaleur qui est distribuée aux alentours et de l'électricité qui est vendue sur le réseau.

#### 4.4.2 Les aspects administratifs et politiques

Il est bien évident qu'une telle opération ne peut être réalisée qu'avec une série de mesures pour favoriser sa mise en œuvre.

Des contraintes législatives ont favorisé le développement de ces unités, elles sont :

- 6 à 9 mois de stockage du fumier dans les fermes ;
- restrictions sur l'épandage du fumier ;
- pas de déchets organiques dans les décharges ;
- mise en place de taxes sur les déchets quand ils sont incinérés et non recyclés ;
- les sociétés d'électricité sont obligées d'acheter le biogaz sur une base de prix fixée par la loi.

D'un point de vue économique, le gouvernement a pris certaines mesures :

- subventions de 20 à 40% au début de l'investissement. Maintenant, elles sont réduites car il estime que les risques encourus sont moindres ;
- le biogaz et la chaleur issue du biogaz sont exemptés de taxe sur l'énergie ;
- subventions de l'état de 0,27 couronnes par kWh d'électricité produite ;
- prêts à taux réduits concédés sur une longue période (20 ans).

Les objectifs du gouvernement danois pour 2005 sont :

- 20% de réduction de l'émission de CO<sub>2</sub> par rapport à 1988 ;
- 50% des déchets organiques doivent être recyclés ;
- la production de biogaz doit être quadruplée par rapport à 1995.

#### 4.4.3. Les aspects gisements

Sur les 40 millions de tonnes de fumier dont dispose le Danemark, en 1998 environ 1 million de tonnes ont été traitées dans ces unités : 51% sont du lisier de porcs, 44% du fumier de bovins 4% du mélange des deux et 1% du fumier de volailles ou d'élevages de visons et des déchets agricoles. A cela, il faut ajouter 325 000 tonnes d'autres déchets soit 24 % de l'ensemble traité.

Le tableau 4.2. ci-dessous donne une vue complète des déchets traités dans les différents sites du Danemark.

	Unité	V. Hjermitstlev	Vegger	Davinde	Sinding-Orrer	Fangel	Revninge	Ribe	Lintrup	Lemvig	Hodsager
Années de construction	Année	1984	1985	1988	1988	1989	1989	1990	1990	1992	1993
Capacités du digesteur	m <sup>3</sup>	1500	800	750	2100	3200	540	4650	6900	7000	880
Température (m/t)		m	t	m	t	t	t	t	t	t	m
Fumier de bétail	m <sup>3</sup>	7015	13656	6728	11980	11541	5311	91164	45671	51031	10449
Lisier de porcs	m <sup>3</sup>	3595	0	4707	23654	32462	2206	24492	32494	67372	1619
Fumier de volailles	m <sup>3</sup>					2482		917			
Fumier de visons	m <sup>3</sup>				86	48		2347	33	1075	
Autres fumiers	m <sup>3</sup>					1971			13097		
Déchets agricoles	m <sup>3</sup>										180
Total agricultural biomass	m <sup>3</sup>	10610	13656	11435	35720	48504	7517	118920	91295	119478	12248
Déchets organiques provenant de :											
Contenu de panse	m <sup>3</sup>		1150		5797	2276		19695	5567	11673	3898
Boues grasses ou de flottation	m <sup>3</sup>		2613	254		3855	807	11887	591	6441	
Fourrage	m <sup>3</sup>				59				364	564	275
Travail du poisson	m <sup>3</sup>	5296	1288	501				2515	17705	5012	1874

Fruits et légumes	m <sup>3</sup>					529	837		49		
Industries de boissons	m <sup>3</sup>										
Laiteries	m <sup>3</sup>				2649			5851		7917	
Industries du sucre	m <sup>3</sup>										
Terre de blanchiment	m <sup>3</sup>		1447		3776						
Tanneries	m <sup>3</sup>	340				1527					
Industries médicales	m <sup>3</sup>		96		448	956	628	3059	7321		
Autres industries	m <sup>3</sup>		99		994			51	155	256	
Boues urbaines	m <sup>3</sup>		205						6118	5046	187
Ménages	m <sup>3</sup>										
Total des déchets	m <sup>3</sup>	5636	6898	755	13723	9143	2272	43058	37870	36909	6234
Biomasse totale	m <sup>3</sup>	16246	20554	12190	49443	57647	9789	161978	129165	156387	18482
Biomasse par jour	m <sup>3</sup>	45	56	33	135	158	27	444	354	428	51
Production de biogaz, 1 000 m <sup>3</sup>		1492	2013	282	2348	2275	355	4762	3718	5302	656
Biogaz par jour	m <sup>3</sup>	4088	5515	773	6433	6233	973	13047	10186	14526	1797
Rendement en Biogaz	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	92	98	23	47	39	36	29	29	34	35

Tableau 4.2 : Traitement de la biomasse et production de biogaz en 1998  
m = mésophilie, t = thermophilie) démarrage inclus

	Units	Hashøj	Thorso	Århus	Filskov	Studsgård	Blåbjerg	Snertinge	Blåhøj	Vaarst/Fjellerad <sup>1</sup>	Nysted <sup>1</sup>
Années de construction	année	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Capacités du digesteur	m <sup>3</sup>	2900	4600	7500	880	6000	5000	2800	2800	2000	5000
Température (m/t)		m	t	m	t	t	t	t	t	t	m
Fumier de bétail	m <sup>3</sup>	7822	29432	18413	17655	13908	58650	9949	20821	8458	8841
Lisier de porcs	m <sup>3</sup>	17718	45232	103401	841	72567	23703	19055	2120	6350	45550
Fumier de volailles	m <sup>3</sup>		1138								165
Fumier de visons	m <sup>3</sup>								148		
Autres fumiers	m <sup>3</sup>	1957	15910	88		760	7207				
Déchets agricoles	m <sup>3</sup>		29		18				194		
Biomasse totale agricole	m <sup>3</sup>	27497	91741	121902	18514	87235	89560	29004	23283	14808	54556
Déchets organiques provenant de :											
Contenu de panse	m <sup>3</sup>	7639	10026	3045	5454	4880		116	159	5436	125
Boues graisseuses ou de flottation	m <sup>3</sup>	8213	4200	1030	6052	563	5689	6210	4685	5355	408
Fourrage	m <sup>3</sup>		125	833		33		41	179	8	62
Travail du poisson	m <sup>3</sup>	576	1561	0			7285	25	1792	1740	54
Fruits et légumes	m <sup>3</sup>			49			26	1586			137
Industries de boissons	m <sup>3</sup>			0				2208	177		
Laiteries	m <sup>3</sup>			5460		10515	2507			166	
Industries du sucre	m <sup>3</sup>										1819
Terre de blanchiment	m <sup>3</sup>			1322		5455				359	
Tanneries	m <sup>3</sup>			0			4509			27	
Industries médicales	m <sup>3</sup>	1264	2308	5247		1036		3118		2816	678
Autres industries	m <sup>3</sup>	965		403		889	1051				510
Boues urbaines	m <sup>3</sup>		5052				4306	1501			
Ménages	m <sup>3</sup>			54		864				582	
Total des déchets	m <sup>3</sup>	18657	23272	17443	11506	24235	25373	14805	6992	16489	3793
Biomasse totale	m <sup>3</sup>	46154	115013	139345	30020	111470	114933	43809	30275	31297	58349
Biomasse par jour	m <sup>3</sup>	126	315	382	82	305	315	120	83	86	160
Production de biogaz, 1000 m <sup>3</sup>		2504	3281	3860	1224	5841	3300	1694	1353	2382	1450
Biogaz par jour	m <sup>3</sup>	6860	8989	10575	3353	16003	9041	4641	3707	6526	3973
Rendement en Biogaz	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	54	29	28	41	52	29	39	45	76	25

Tableau 4.2 (suite) : Traitement de la biomasse et production de biogaz en 1998  
m = mésophilie, t = thermophilie) démarrage inclus

A partir de la biomasse, indiquée en 1998, on a 50,1 millions de m<sup>3</sup> de biogaz produits, ce qui donne une moyenne de 37 m<sup>3</sup> de biogaz par m<sup>3</sup> de biomasse traitée.

Dans des situations classiques, on a 20 m<sup>3</sup> de biogaz par m<sup>3</sup> de lisier. Ceci signifie qu'on a environ 45 % de la production de biogaz. L'apport de déchets est donc essentiel au succès économique de l'opération.

#### **4.4.4. Conditions de mise en œuvre des digesteurs**

Le transport des effluents est réalisé par des camions qui appartiennent à l'usine pour le transport des fumiers ou aux collectivités et industriels pour le transport des déchets.

La température de mise en œuvre des digesteurs est soit mésophile (45 %) soit thermophile (55 %).

Les charges appliquées varient en fonction du site.

Pour l'unité de Nysted (construite en 1998), qui fonctionne en mésophilie, on a une charge brute de 32 kg de biomasse brute par m<sup>3</sup> de réacteur et par jour (avec une masse volumique considérée à 1) et un rendement en biogaz de 25 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de biomasse et par jour.

Pour l'unité de Vaarst / Fjelleradon (construite en 1997), qui fonctionne en thermophilie, on a une charge organique de 43 kg de biomasse brute par m<sup>3</sup> de digesteur et par jour avec un rendement en biogaz de 76 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de biomasse.

Jusqu'en 1990, le système d'agitation est réalisé par des systèmes immergés à vitesse de rotation rapide. De meilleurs résultats ont été obtenus par des agitateurs à rotation lente placés en haut des digesteurs.

Sur l'unité de Fangel, (et d'autres par la suite) le traitement de l'H<sub>2</sub>S se fait par addition de 5 % d'air au biogaz dans un réservoir maintenu humide par le recyclage du liquide séparé de l'effluent du digesteur.

#### 4.4.5. Aspects économiques

Le tableau 4.3. ci-dessous, représente les caractéristiques techniques des unités ainsi que les investissements et les financements pour les dix unités construites entre 1993 et 1998.

	Unité	Hashøj	Thorso	Århus	Filskov	Studsgård	Blåbjerg	Snertinge	Blåhøj	Vaarst/Fjellerad <sup>2</sup>	Nysted <sup>2</sup>
Années de construction	Année	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Biomasse <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /day	126	315	382	82	305	315	120	83	86	191
Production de gaz <sup>1</sup>	1000 m <sup>3</sup>	2504	3281	3860	1224	5841	3300	1694	1353	2382	1450
Fournisseurs de fumier	-	17	75	45	7	50	58	14	15	14	35
<b>Investissements</b>											
Unités de biogaz <sup>4</sup>	1000 Dkr	18300	25600	54200	9500	46550	35400	18600	16500	30950	31700
Véhicules	1000 Dkr	1200	3500	-	700	3700	3500	1200	400	1300	1200
Réservoir de stockage <sup>5</sup>	1000 Dkr	2300	-	-	1000	2850	3000	1200	400	-	1800
Séparation fac.	1000 Dkr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres investissements	1000 Dkr	-	-	-	12000 <sup>7</sup>	2600 <sup>8</sup>		26800 <sup>7</sup>	16100 <sup>7</sup>		8980 <sup>7</sup>
<b>Total</b>	<b>1000 Dkr</b>	<b>21800</b>	<b>29100</b>	<b>54200</b>	<b>23200</b>	<b>55700</b>	<b>41900</b>	<b>47800</b>	<b>33400</b>	<b>32250</b>	<b>43700</b>
<b>Financement</b>											
Subventions aux investissements	1000 Dkr	5100	6300	10840	2500	13900	9700	9200	6900	7700	8500
Rapport de subvention	%	23	22	20	11	25	23	19	21	23	19
Prêts indexés	1000 Dkr	16700	22000	43360	17700	418000	32200	38600	26500	15700	35200
Prêts hypothéqués	1000 Dkr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prêts bancaires	1000 Dkr	-	800	-	3000	-	-	-	-	8850	-
Capital propre	1000 Dkr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1000 Dkr</b>	<b>21800</b>	<b>29100</b>	<b>54200</b>	<b>23200</b>	<b>55700</b>	<b>41900</b>	<b>47800</b>	<b>33400</b>	<b>32250</b>	<b>43700</b>

Tableau 4.3. : Caractéristiques techniques des unités ainsi que les investissements et les financements pour les dix unités construites entre 1993 et 1998. Exprimé en couronne danoise soit 0,135 euros par Dkr.

1. Apport de biomasse et production de biogaz en 1998.
2. Période de démarrage inclus.
3. Considéré en fonctionnement normal.
4. Unité de production de biogaz , incluant le pré et post stockage, les pipelines et l'unité CHP.
5. Réservoir de stockage de lisier à la ferme ou en zone rurale, excepté pour Sinding et en partie Studsgard, ou les réservoirs sont situés à l'unité de biométhanisation..
6. Eoliennes.
7. Appareillage de combustion de la paille et de copeaux de bois et système de chauffage du district.
8. Pipeline pour le pompage du lisier.

Toutes les unités ont reçu des subventions du gouvernement de 20 à 40 %. Celles ci sont plus faibles maintenant car le risque est réduit.

Les unités centralisées danoises sont organisées de différentes manières : 9 d'entre elles appartiennent à des fermiers organisés en coopérative, 5 sont des coopératives qui incluent fermiers et utilisateurs d'énergie, 3 appartiennent à des municipalités, deux sont des fondations privées et une appartient à une société privée.

#### 4.4.6 La situation économique actuelle

Pour les années 1996/1997, la situation économique de nombreux sites est bonne comme le montre le tableau 4.4 ci-dessous.

	Années de construction	Acceptable	En équilibre	En cours d'amélioration	Non satisfaisant
Vester Hjermitlev	1984		X <sup>1)</sup>		
Vegger	1985	X <sup>1)</sup>			
Davinde	1988			X	
Fangel	1989				X <sup>1)</sup>
Revninge	1989		X <sup>1)</sup>		
Ribe	1990	X			
Lintrup	1990		X		
Lemvig	1992	X			
Hodsager	1993		X		
Hashoj	1994	X			
Thorso	1994		X		
Århus Nord	1995				X
Filskov	1995			X	
Sinding/Studsgard	1988/1996				X
Blabjerg	1996	X			
Snertinge	1996				X
Blahoj	1997			X	

Tableau 4.4. : Evaluation de la situation économique des unités centralisées de biogaz au Danemark situation en 1998.(Fjellerad et Nysted ne sont pas incluses car lors de cette étude elles n'étaient pas en opération normale sur toute une année).

1) Après avoir obtenu des facilités de remboursement.

Parmi les problèmes que rencontrent ces unités on a :

- manque de substrat ;
- construction inappropriée et mauvais équipement ;
- coût de l'énergie qui a baissé.

En intégrant un tel système les fermiers en tirent plusieurs avantages :

- économie dans le stockage du lisier ;
- transport du lisier à l'unité de traitement et retour « d'engrais » sur leurs champs par les camions, ce qui permet des économies de transport fermes-champs ;
- ils peuvent récupérer plus de produits à épandre qu'ils n'en fournissent ;
- le retour sur les champs d'un mélange issu des bovins et des porcs (le lisier de porcs a un déficit de potassium et un surplus de phosphore ce qui est l'inverse pour le lisier de bovins) ;
- économie d'achat d'engrais chimique.

Sur la région de Lintrup, une étude sur 10 fermiers a montré qu'ils économisaient environ 5 couronnes danoises par m<sup>3</sup> de lisier apporté aux unités de traitement.

#### 4.4.7 Coût du traitement des déchets dans les unités de production de biogaz décentralisées au Danemark

Ces unités de traitement ont été décentralisées pour apporter une solution intégrant les problèmes de l'agriculture, de l'énergie et de l'environnement. La connaissance des coûts de fonctionnement est important pour la pérennisation de la stratégie.

Dans les unités danoises, on a typiquement 20 % de la biomasse totale en déchet ce qui augmente la production de biogaz et les rentrées financières. Les coûts typiques de traitement de la biomasse sont reportés sur le tableau 4.5 ci-dessous.

	<b>Couronnes Danoises par m<sup>3</sup> de biomasse traitée</b>
Transport de la Biomasse :	
• Coûts de fonctionnement	15
• Coûts d'investissement	4
Digestion anaérobie	
• Coûts de fonctionnement	17
• Coûts d'investissement	26
<b>Total des coûts de traitement</b>	<b>62</b>
Vente d'énergie	51
Déficit sur le coût de traitement	-11

Tableau 4.5. : Coûts typiques de traitement de la biomasse (1 Dkr = 0,135 Euros)

Ce calcul est basé sur :

- une capacité de traitement de 300 m<sup>3</sup> par jour ;
- un rendement de biogaz de 30 m<sup>3</sup> de biogaz par m<sup>3</sup> de biomasse ;
- introduction de 20 % de déchets ;
- la biomasse résiduelle est un lisier ;
- le prix du biogaz est de 1,70 DKK par m<sup>3</sup> ;
- intérêts sur investissement de 5% ;
- période d'amortissement de 15-20 ans pour l'investissement du digesteur ;
- période d'amortissement de 7 ans pour l'investissement du camion ;
- période d'amortissement de 15 ans pour l'investissement de la citerne.

La vente du biogaz ne compense pas le coût de traitement.

Mais la mise en décharge des déchets coûte 50 à 100 DKK par m<sup>3</sup> de déchets. Comme on en ajoute 20 % environ, cela compense la perte voire permet de diminuer des dépenses.

Au Danemark, l'incinération coûte 200 à 300 DKK la tonne, le compostage 300 à 400 DKK la tonne et 50 à 60 DKK pour le traitement en unité centralisée.

#### **4.4.8 Exemple de l'unité de Nysted**

Cette unité a été construite en 1997-1998. Elle appartient à un groupe de fermiers. La production animale est dominée par l'élevage de porcs.

Le réacteur est mésophile (38 °C.) avec une étape de post hygiénisation de 8 h à 55° C.

L'unité reçoit du lisier et du fumier de 36 fermes. Il est composé de : 82 % de lisier de porcs, 17% de lisier de bovins et 1% de fumier de volailles.

Le lisier est mélangé et co-digéré avec des déchets organiques de l'industrie sucrière, l'industrie médicale, des tanneries, des graisses et des boues d'abattoirs, des déchets de fruits et légumes et de faibles quantités d'autres déchets organiques.

L'unité est aussi capable de traiter des déchets ménagers triés à la source.

Au dessus du réservoir de stockage, il y a un ballon à double membrane de stockage du biogaz qui récupère aussi le biogaz issu du stockage.

Le biogaz est utilisé dans un moteur de 2 300 kW. L'électricité produite est envoyée au réseau. Elle correspond à une consommation annuelle de 1 300 foyers.

La chaleur récupérée est envoyée dans 150 foyers du village de Kettinge.

Les principales caractéristiques de l'unité sont :

- déjections animales 180 t/jour ;
- autres biomasses 31 t/jour ;
- production de biogaz 2,6 millions de N m<sup>3</sup>/an ;
- volume du digesteur 5 000 m<sup>3</sup> ;
- température de fonctionnement 38 °C. ;
- hygiénisation 8 h à 55°C. ;
- volume de stockage du gaz 2 500 m<sup>3</sup> ;
- utilisation du biogaz cogénération et combustion pour eau chaude ;
- transport 2 camions remorque de 18 m<sup>3</sup> ;
- distance moyenne de transport 7 km ;
- investissement 43,7 millions de DKK ;
- subvention gouvernementale 8,5 millions de DKK ;
- constructeur Krüger Ltd ;
- démarrage 1998.

Le schéma de l'unité est représenté sur la figure 4.11 ci-dessous.

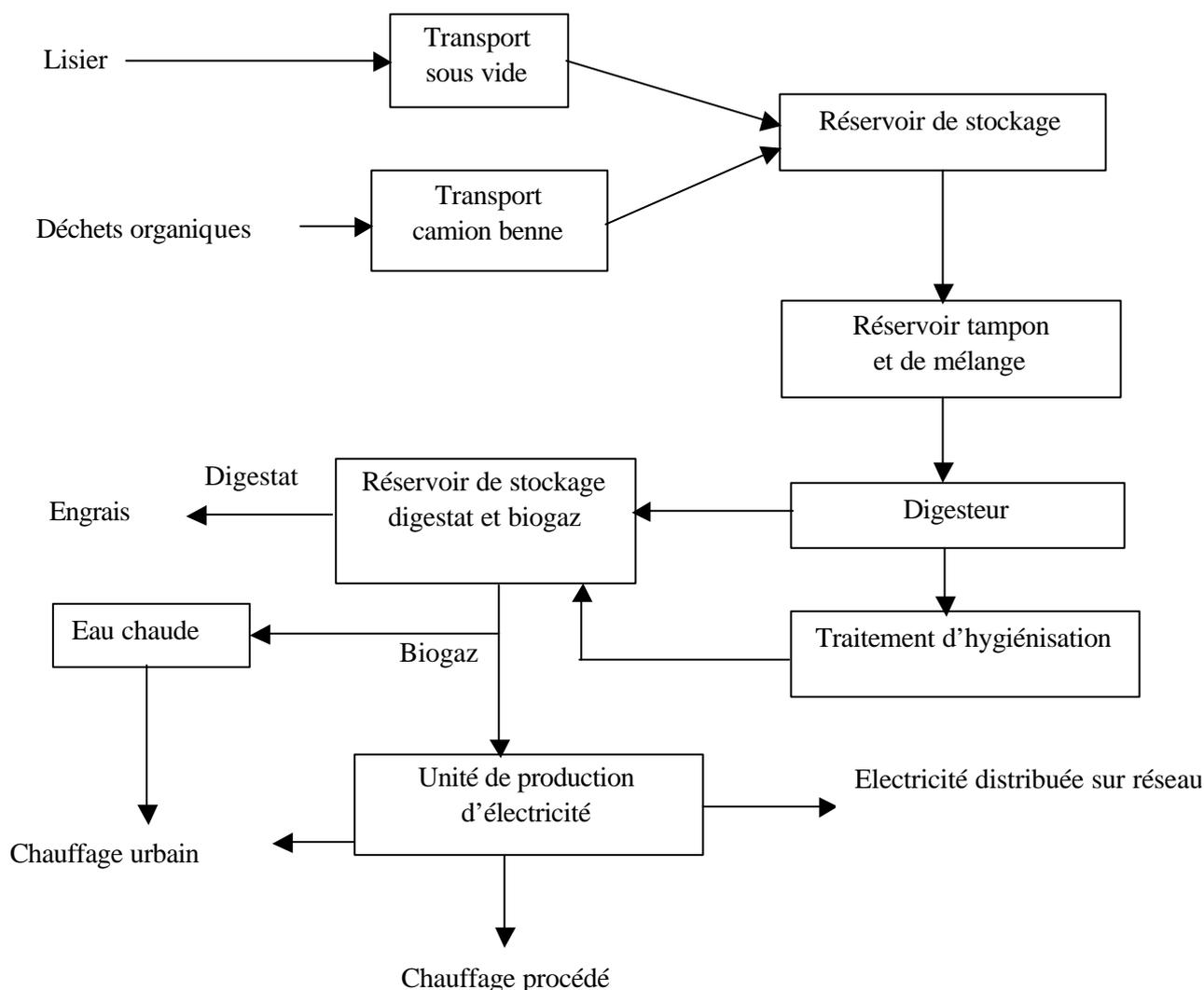


Figure 4.11 : Schéma de l'unité de Nysted

Danish Institute of Agriculture and fisheries economics, (1999), *Centralised Biogas Plants Integrated energy production, waste treatment and nutrient redistribution facilities.*

Agence danoise de l'énergie (1996), *les installations de biogaz centralisées au Danemark, février 1996.*

Danish Centralised Biogas plants- plant description. (2000) Bioenergy department, university of southern Denmark.

#### 4.5 : Exemple d'une unité de méthanisation du lisier en France : la plateforme ADAESO à Montardon

C'est une unité de digestion anaérobie, qui traite depuis 20 ans les rejets de lisier de la station expérimentale des élevages de porcs de Montardon dans la zone péri-urbaine de Pau (64). Ce lisier comprend aussi les déjections de palmipèdes qui représentent 20 % des volumes entrants. Les effluents digérés sont utilisés pour fertiliser les cultures de maïs. Depuis deux ans des travaux sur la digestion anaérobie de co-substrat ont été réalisés.

##### 4.5.1 Schéma de l'installation

Le schéma de l'installation est représenté sur la figure 4.12 ci-dessous.

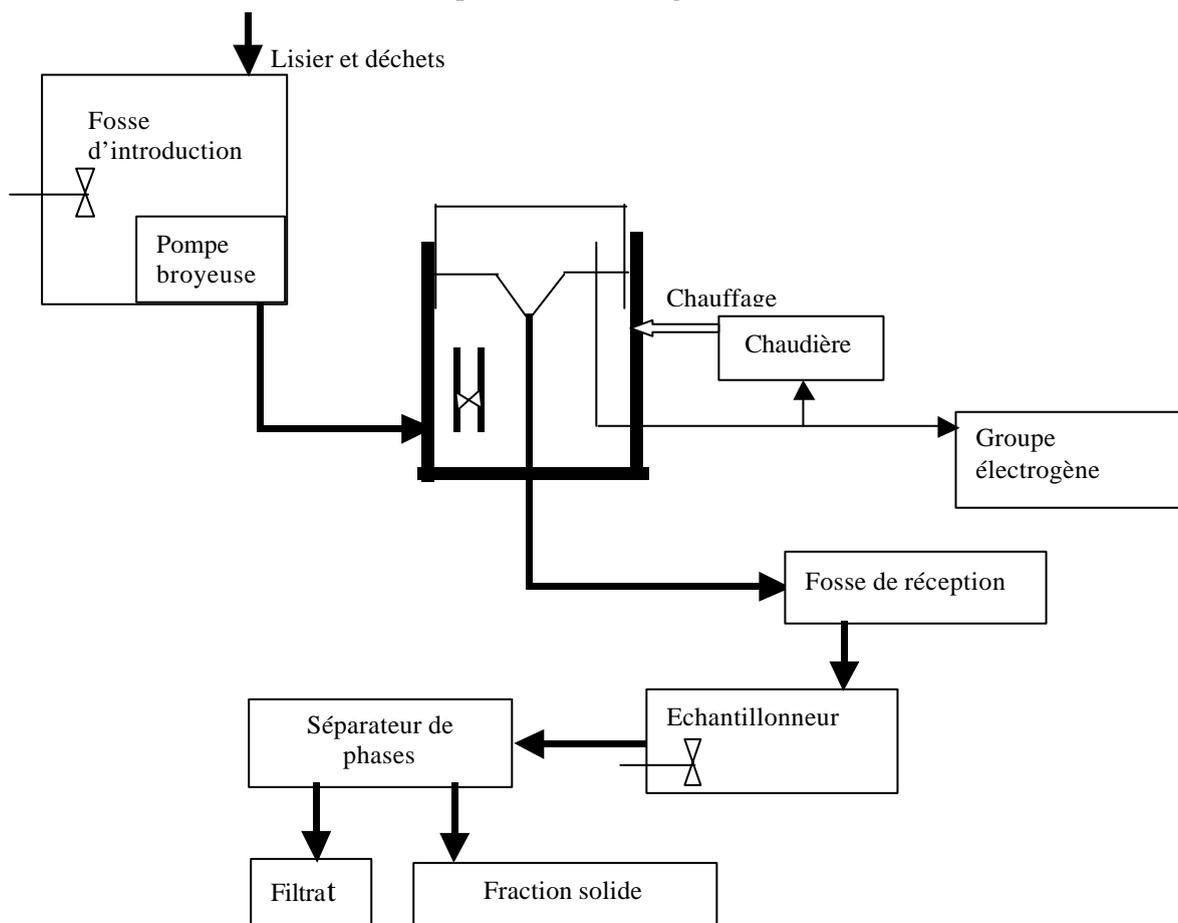


Figure 4.12 : Schéma de l'installation de Montardon

Le lisier est envoyé dans une fosse couverte de 15 m<sup>3</sup>. Le stockage est agité et évacué par une pompe broyeuse.

Le digesteur est un silo en béton calorifugé de 6 m de haut et de 5,5 m de diamètre et a un volume utile de 150 m<sup>3</sup>. Il est surmonté d'un gazomètre mobile métallique de 100 m<sup>3</sup>. A l'intérieur trois colonnes en triangle munies d'un agitateur mécanique à hélice qui assure l'homogénéisation. Les parois de ces colonnes sont chauffées pour assurer une bonne température. Une fosse de 60 m<sup>3</sup> permet un stockage avant le traitement du digestat.

Au niveau de l'échantillonneur, on peut avoir une récupération du digestat pour analyse.

Un séparateur de phase de type presse à vis réalise la récupération de la partie solide qui va subir un compostage aérobie. La partie liquide est stockée puis épandue sur du maïs en interligne sous le feuillage.

#### 4.5.2 : Caractéristiques de fonctionnement du digesteur

L'alimentation habituelle est de 13 à 15 m<sup>3</sup>/jour de lisier de porcs et de palmipèdes en raison d'un pourcentage de 80/20 respectivement. Des essais d'addition de déchets agricoles ont été réalisés.

Au lisier, des déchets provenant d'unités de séchage de maïs grains et d'épis de semence sont ajoutés. Ils sont constitués de glumes (enveloppe de grains de maïs), de grains concassés, de petits grains et en moindre proportion de morceaux de rafles ou de tiges. Ces déchets ont 75 % de matière sèche dont 97 % de matière volatile.

La température mésophile est de 38°C et le temps de séjour de 11 à 12 jours. C'est une fermentation qui est réalisée à quelques pourcents de matière sèche.

L'addition de lisier seul (13m<sup>3</sup>/j) a été comparée à l'introduction du lisier (idem 13 m<sup>3</sup>/j) avec 800 kg / jour de déchets. Les performances des deux systèmes sont reportées ci-dessous tableau 4.6.

	TSH (j)	Charge organique (1)	Rendement volumique (2)	Teneur en MS dans le digesteur	Production CH <sub>4</sub> (3)	Abattement matière (%)
Lisier seul 13 m <sup>3</sup> /J	11,1	1,13	0,58	1,1 %	298	66,1
Lisier + Déchet 800 Kg/j	12,5	3,8	1,78	2,4%	264	52,2

(1) kg MSV/m<sup>3</sup> de réacteur /jour

(2) Nm<sup>3</sup> /m<sup>3</sup> de réacteur /jour

(3) N litres de CH<sub>4</sub> / kg MSV

Tableau 4.6. : Comparaison des performances de la digestion anaérobie de lisier et de lisier additionné des déchets agricoles.

Le maximum de matière sèche obtenu lors de l'addition des déchets est de 5,5%.

### 4.5.3. Caractérisation des effluents

Le digestat subit un post traitement qui sépare la fraction liquide et solide. Le rendement de séparation de la matière sèche est d'environ 22 % sur une grille de 150 µm.

Les compositions des différentes fractions après séparation sont reportées sur le tableau 4.7 .

Caractéristiques	Unités	Fraction liquide	Fraction solide	
			Brute	Maturée*
Eau	g/kg poids brut	983	772	692
Matière sèche	g/kg poids brut	17	228	307
Matière sèche volatile (MVS)	g/kg poids brut	11,05	160	193
Matière minérale	g/kg poids brut	5,95	67	114
NtK	g/kg MVS	198	43	42
N- NH <sub>4</sub>	g/kg MVS	186	3,61	0,83
N-NO <sub>3</sub>	g/kg MVS	Inf.10 <sup>-4</sup>	Inf.10 <sup>-4</sup>	0,72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	g/kg MVS	36,92	110	128
K <sub>2</sub> O	g/kg MVS	48,82	12,2	19,5
*maturation aérobie en andains pendant 60 jours avec deux retournements				

Tableau 4.7 : Caractéristiques des effluents solides et liquide issus de la co-digestion lisier et déchets.

Le filtrat a une faible siccité et contient la majeure partie de l'azote initial sous forme de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

La fraction solide a une siccité de 22,7 % en MS et contient la majeure partie du phosphore soluble et une part de l'azote sous forme inorganique. Des fibres restent présentes ce qui facilite le compostage de la matière. Le produit présente des caractéristiques conformes à la norme NF 44-051.

*Castaing J., Pouech P., Coudure R., (2002) Digestion anaérobie de lisiers de porcs en mélange avec des déchets agro-industriels, Journées de la recherche porcine,34,pp195-202.*

# Chapitre 5

## Impacts environnementaux de la digestion anaérobie des déchets

### 5.1 Impact environnemental des installations

Les unités de traitement des déchets par méthanisation sont des installations industrielles, qui présentent bien sûr les impacts environnementaux traditionnels des implantations industrielles (sur le paysage, circulation de véhicules, dégagement de fumées...). Elles ont aussi des caractéristiques particulières liées à leur activité. Il n'existe que peu de publications sur les impacts environnementaux de la digestion anaérobie.

Ces unités reçoivent des déchets, ce qui implique une circulation importante de camions (généralement couverts). Mais l'aspect le plus important est, sans nul doute, la genèse d'odeurs désagréables.

L'aéroulque de ces unités doit être bien maîtrisée et généralement, elles disposent toutes d'un système de captage et de traitement des odeurs.

Les visites faites à Bretch en Belgique, à Amiens, à Engelkirchen et à l'Ecoparc 1 de Barcelone montrent que dans l'usine, il existe toujours des odeurs, mais que celles-ci ne s'étendent pas sur l'extérieur. La mise en place donc d'unités de traitement par méthanisation ne doit pas normalement, générer de conflits environnementaux avec le voisinage.

Les aspects environnementaux abordés ici seront liés à l'effet hygiénisant de la digestion anaérobie sur certains microorganismes et parasites connus, sur la qualité des composts (ici de la digestion anaérobie) et surtout sur l'élimination des odeurs liées au traitement des déchets.

Le terme «d'hygiénisation» correspond à l'impact d'un traitement conduisant à la réduction de germes indésirables dans un milieu solide ou liquide. Il faut donc considérer que l'on a «hygiénisation» quand ce nombre diminue mais que le produit est «hygiénisé» quand les valeurs résiduelles sont conformes à la législation en vigueur ou à un objectif fixé.

### 5.2 Impact du procédé sur l'hygiénisation de la matière

#### 5.2.1. Comparaison de l'impact des procédés d'hygiénisation sur boues de stations d'épuration urbaines (STEP)

La digestion anaérobie mésophile et thermophile ont été comparées entre elles (et aux différentes techniques traditionnelles) pour l'abattement des coliformes, des entérocoques, des spores sulfito-réductrices et des salmonelles. Les valeurs reportées sur le tableau 5.1 ci-dessous proviennent de stations d'épuration industrielles. Elles sont comparées au séchage thermique pour avoir une référence.

<b>Procédés</b>	<b>Abattement Coliformes (NPP/g MS)</b>	<b>Abattement Entérocoques (NPP/g MS)</b>	<b>Abattement Sulfito-réductrices (NPP/g MS)</b>	<b>Abattement Salmonelles (NPP/g MS)</b>
Séchage thermique (référence)	3,6 - 4,9	3,71 - 5,77	2,44 - 5,05	4
Digestion anaérobie thermophile	1,94 - 4,19	1 32 - 2,98	0 - 1,38	2 - 4
Digestion anaérobie mésophile*	1,78 - 3,06 0 - 2,65	0 - 1,94 0,44 - 3,94	0 - 0,39 0 - 0,81	0 - 5 0 - 3

Tableau 5.1 : Elimination des germes bactériens en digestion anaérobie, mésophile et thermophile. L'abattement est exprimé en log. (\* deux boues différentes ont été testées).

NPP : « Nombre le Plus Probable ». C'est le nombre de microorganismes présents dans 1 gramme de Matière Sèche. Il est obtenu par dilution et croissance sur un milieu nutritif. Les dilutions maximales, qui donnent une croissance, permettent d'exprimer le NPP. (Most Probable Number MPN en anglais). Le nombre est exprimé en logarithme décimal.

Un autre aspect important de l'hygiénisation des boues qui est constitué par l'élimination des parasites tel que les Helminthes et les Giardias. L'effet de la digestion anaérobie a été comparé au séchage thermique tableau 5.2.

	<b>Helminthes totaux (Cufs/10 g MS)</b>	<b>Helminthes viables (Cufs/10 g MS)</b>	<b>Giardias totaux (Kystes/10 g MS) (en log)</b>	<b>Giardias viables (Kystes/10 g MS) (en log)</b>
Séchage thermique (référence)	32 - 88	10 - 17	5,74 - 6,04	- **
Digestion anaérobie thermophile	0 - 10	1 - 9	0 - 0,95	3,97 - 4,53
Digestion anaérobie mésophile*	0 - 7 0 - 5	0 - 9 0	0 - 0,84 0 - 0,15	3,99 - 4,3 0 - 4,23

Tableau 5.2. : Abattement des parasites (exprimé en log) par digestion anaérobie. (\* deux boues différentes ont été testées, \*\* pas de Giardia à l'entrée du système).

Le séchage thermique qui a été utilisé comme référence dans ces tableaux, permet de voir qu'en ce qui concerne l'élimination des germes totaux, qu'il est bien sûr généralement plus efficace que la digestion anaérobie. Ceci se vérifie aussi pour l'abattement de parasites.

La digestion anaérobie thermophile a un effet hygiénisant supérieur à la digestion anaérobie mésophile.

L'arrêté du 8 janvier 1998 fixe les seuils de microorganismes pathogènes admissibles par les boues de stations d'épuration et préconise les méthodes analytiques. Cette réglementation française est comparée aux réglementations européennes et américaines sur le tableau 5.3. C'est un domaine extrêmement important et qui subira de nombreux additifs dans les années qui viennent.

L'effet de la digestion anaérobie thermophile sur la réduction des coliformes fécaux et sur les œufs d'helminthes a également été montré par Cabirol et coll (2001). Avec un temps de séjour de 20 jours, le taux de coliformes fécaux est inférieur à 1 000 MPN/g MS et on a moins de 0,28 larves /g de MS. Ces auteurs considèrent que la digestion anaérobie est appropriée pour atteindre l'épandage de biosolids de classe A de l'EPA des USA.

*Ducray F., Bonnin C., Huyard A., Schwartzbrod J., Henry A.L., 2000, Impact des filières de traitement des boues sur l'hygiénisation des boues. 4<sup>ème</sup> Journées Information Eau, JIE 2000, Poitiers 13- 15 septembre 2000, Acte du colloque Tome 1, pp 31.1-31.17*

*Cabirol N., Rojas Oropeza and M. Noyola A. (2001) Removal of Helminth eggs and fecal coliforms by anaerobic thermophilic sludge digestion ; Actes du 9<sup>th</sup> World congress Anaerobic digestion, Anaerobic conversion for sustainability Anvers 266 septembre 2001, part 1, pp369-374*

Réglementation	Réglementation française	Réglementation européenne			Réglementation américaine	
	Arrêté du 08/01/1998	Projet futur Directive européenne 20/01/2000 (voir annexe 2)			EPA 40 CFR 503	
Classification des boues	Boues hygiénisées	Type A	Type B	Type C	Classe A	Classe B
Réduction Salmonella Senftenberg W 775 Réduction Matières Volatiles Réduction Entérovirus Réduction œufs D'helminthes viables		5 log			38 % 3 log 2 log	
Coliformes fécaux Salmonelles Entérovirus Œufs d'helminthes viables	(*) <8 NPP/10 g TS <3 NPP/10 g TS <3 œufs/10 g TS	<5 10 <sup>3</sup> CFU/g TS <0 CFU/50 g TS			<10 <sup>3</sup> NPP/g TS Ou <3 NPP/4 g TS <1 NPP/4 g TS <1 œuf/4 g TS	<2 10 <sup>6</sup> CFU/g TS

Tableau 5.3 : Comparaison des réglementations : française, européenne et américaine  
(\*) quantité suivie périodiquement après détermination d'un seuil lors de la caractérisation du procédé.

NPP voir tableau 5.1.

TS : « Total Solids » ou solides totaux

CFU signifie « Colony Formation Unit ». C'est aussi une détermination du nombre de microorganismes. Il est déterminé par culture sur milieu nutritif gélosé. C'est le nombre de microorganismes qui va donner une colonie (un groupe de microorganismes liés entre eux ne va donner qu'une colonie).

### 5.2.2. Impacts de la digestion anaérobie sur les microorganismes pathogènes des biodéchets : exemple du procédé « Biocel »

Ce procédé traite les biodéchets en discontinu à des températures mésophiles. Le temps de fermentation est de 3 semaines. Le compost est le produit final issu de la digestion anaérobie.

Des études microbiologiques ont été faites (en digesteur de 0,3 m<sup>3</sup>) afin de suivre la réduction de quelques microorganismes. Les résultats sont reportés sur le tableau 5.4 ci-dessous.

Pathogène	Type	Inoculum (cfu/g)	Présent dans le compost après 21 jours (cfu/g.j)	% de réduction
Enterobacteriaceae	Humaine animale bactéries pathogènes (contamination fécale)	1,6 10 <sup>7</sup>	1,2 10 <sup>3</sup>	99,99%
Salmonella typhimurium	Humaine animale bactéries pathogènes (infection de l'intestin)	1,4 10 <sup>7</sup>	Inférieur à 3	Sup. à 99,99%
Pseudomonas solanacearum	Bactérie pathogène des plantes (racines marrons des pommes de terre)	Tissus de pomme de terre infectés (+/- 50 unités au total)	Inférieur à 1	Sup. à 99,99%
Fusarium oxysporum	Champignon pathogène des plantes (maladie des racines)	8,4 10 <sup>4</sup> dans les biodéchets	Inférieur à 1	Sup. à 99,99 %

Tableau 5.4 : Inactivation de différents pathogènes pendant la digestion anaérobie des biodéchets avec le procédé Biocel

Cet effet d'hygiénisation est attribué par l'impact inhibiteur (voire toxique) des AGV sur ces microorganismes AGV qui sont produits en début de digestion.

*Eric Ten Brummeler, 1999, Full scale experience with BIOCEL-process, Second international symposium on anaerobic digestion of solid wastes, Barcelona*

### 5.3. Impact du procédé sur l'émission d'odeurs

#### 5.3.1. Evaluation et comparaison aux émissions du compostage

Les unités de méthanisation transforment la matière organique dans des réacteurs fermés, donc pas d'odeur. Si odeurs il y a, elles peuvent venir de la manipulation des déchets ou bien du compostage de la matière résiduelle issue du méthaniseur. De Baer (1999) rapporte une étude de De Bo de 1997 qui montre que le compostage aérobie présente plus de nuisance dans ce domaine que le compostage des résidus anaérobies.

Les émissions des composés organiques volatils émis pendant le compostage aérobie et le compostage anaérobie (digestion suivie de 2 semaines de compostage) sont reportées sur le tableau 5.5 ci-dessous.

	<b>Maturation après D.A.</b>	<b>Rapport : Aérobie/ maturation D.A.</b>	<b>Composés</b>
283,6	0,033	8593,9	Alcools
150,4	0,466	322,7	Cétones
82,4	2,2	37,5	Terpènes
52,7	0,003	17 566,7	Esters
9,3	0,202	46	Sulfures organiques
7,5	0,086	87,2	Aldéhydes
2,6	0,027	96,3	Ethers
588,5	3,017	195,1	Composés organiques volatiles totaux
158,9	97,6	1,6	NH <sub>3</sub>
<b>747,4</b>	<b>100,617</b>	<b>7,4</b>	<b>Total</b>

Tableau 5.5. : Emissions des composés volatils pendant le compostage aérobie et la maturation après la digestion anaérobie, (exprimées en gramme par tonne de déchets biologiques).

La quantité de composés organiques rejetés est bien supérieure pour le compostage aérobie que pour la maturation après digestion anaérobie. Le fait, que le biogaz formé est soit brûlé dans des torchères soit dans des moteurs, fait que le risque est détruit par la combustion. Ce n'est pas le cas en compostage aérobie car il s'échappe généralement pendant la réaction.

La digestion anaérobie est suspectée de produire de grosses quantités d'ammoniac. Elles sont en réalité 40 % inférieures à celles générées par le compostage aérobie.

En poids, 97 % des émissions sont générées par l'ammoniac et 3 % principalement par les terpènes en maturation anaérobie.

*De Baer (1999), Anaerobic digestion of solid waste : state of art , Proceeding of 2th International symposium on anaerobic digestion of solid waste, Barcelone 15 17 juin 1999 Vol. 1 pp 290-299*

### 5.3.2. Traitement des odeurs

Les odeurs générées par les différents points des unités sont principalement des Composés Organiques Volatils (COV) ou encore de l'ammoniac. Elles peuvent être traitées de différentes manières : par voie biologique ou physico chimique.

L'air vicié récupéré peut être traité par des systèmes physico-chimiques (avec lavage par des liquides ou combustion) ou par des systèmes biologiques composés principalement de filtres bactériens avec des supports fixant les microorganismes.

- **Filtres bactériens**

Le principe réside dans le passage de l'air vicié dans un filtre contenant des supports. Ce filtre reçoit un milieu nutritif pour compléter la consommation des molécules odorantes à éliminer. Les supports utilisés sont composés de copeaux de bois, de composts, de tourbes, d'écorces...

Ce procédé est celui utilisé par les constructeurs de digesteurs.

- **Autres techniques possibles**

Parmi les autres techniques de traitement de l'air, on peut citer le biolavage, le lavage chimique, l'incinération et le traitement catalytique.

### 5.4 Toxicité des résidus de digestion anaérobie

Schnürer et coll (2001) ont mesuré l'influence de l'addition des boues de digestat de la fraction organique des ordures ménagères. Ils ont testé deux aspects : la respiration induite par le substrat (RIS), le potentiel d'oxydation de l'ammonium (POA).

L'addition de digestat induit une légère augmentation de la RIS, ce qui indique que les microorganismes utilisent, au moins en partie, la matière organique ajoutée. Les bactéries nitrifiantes (qui oxydent l'ammoniac) sont partiellement inhibées par la fraction organique du digestat. Cette inhibition serait plus importante pour les résidus obtenus en thermophile que les résidus obtenus en mésophile.

Ces résultats demandent à être confirmés.

*Schnürer A., Nyberg K., Johansson M. (2001) Toxicity of anaerobic residues, Actes du 9<sup>e</sup> World congress Anaerobic digestion, Anaerobic conversion for sustainability Anvers 266 septembre 2001, part 1, pp409-414*

# Chapitre 6

## La législation française relative à la digestion anaérobie

La digestion anaérobie met en œuvre des réactions microbiennes qui traitent des déchets et qui produisent un biogaz combustible, des eaux usées et un compost. Parler de la législation sur le biogaz peut être très rapide, car il y a peu de textes spécifiques au biogaz ou un immense chantier si l'on considère tous les côtés des digesteurs.

### 6.1 La réglementation biogaz : étude du club Biogaz de l'ATEE

Un travail récent du club Biogaz de l'ATEE (sortie 2002) dénommé « Recueil de textes réglementaires Biogaz » fait un large point sur le sujet, tout du moins dans l'hexagone. Ce texte est reporté en annexe 3.

Ce recueil comporte les aspects relatifs :

- à la fraction fermentescible des ordures ménagères ;
- aux stations d'épuration urbaines et industrielles ;
- aux élevages et aux déjections animales ;
- aux décharges ;
- aux méthaniseurs ;
- aux rejets solides ;
- aux rejets liquides ;
- aux rejets gazeux.

### 6.2 Projet de directive en cours de la Communauté Européenne concernant le traitement des déchets biologiques

C'est une directive de la direction général de l'environnement qui a pour objectif de promouvoir :

- la prévention ou la réduction des biodéchets ;
- leur réutilisation ;
- leur recyclage ;
- leur traitement biologique pour l'élimination par compostage ou digestion anaérobie ;
- leur traitement mécanique ;
- leur utilisation comme source d'énergie.

Elle décrit les biodéchets convenant au traitement biologique.

Les points marquants relatifs à la digestion anaérobie des déchets sont reportés ci-dessous :

- la digestion anaérobie doit réduire la fermentescibilité des déchets, maximiser la production de biogaz et que l'utilisation du digestat entraîne un bienfait agricole. Les effluents liquides doivent être traités ;
- les exigences requises pour garantir un niveau d'assainissement suffisant du digestat sont : qu'une température minimale de 55°C doit être maintenue pendant 24 heures sans interruption et que le temps de rétention hydraulique dans le réacteur soit au moins de 20 jours. En cas de température plus basse, les déchets doivent être préchauffés à 70 °C pendant 1 heure, soit post traiter de la même manière soit subir un compostage ;
- le biogaz utilisé comme combustible dans un moteur à combustion interne doit respecter un certain nombre de limites d'émissions reporté sur le tableau 6.1 ci-dessous ;

<b>Paramètre</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur limite</b>
Poussière	mg/m <sup>3</sup>	50
NOx	mg/m <sup>3</sup>	500
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	500
CO	mg/m <sup>3</sup>	650
H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup>	5
HCl	mg/m <sup>3</sup>	30
HF	mg/m <sup>3</sup>	5

- le biogaz ne pouvant être utilisé sur place, doit être brûlé en torchère à au moins 900 °C avec un temps de séjour de 0,3 secondes ;
- le digestat produit, importé, échangé et commercialisé doit correspondre à une des deux classes définies : classe 1 et classe 2. Il en est de même pour les « déchets dits stabilisés ». Ils doivent répondre aussi à une fréquence de conformité analytique. Le compost ou le digestat de classe 1 pourra être épandu sans restriction particulière, le compost ou digestat de classe 2 pourra être utilisé en quantité ne dépassant pas 30 tonnes de matière sèche par hectare en moyenne sur 3 ans ;

- le compost ou digestat final est réputé assaini et doit avoir aucune *Salmonella spp* dans 50 g de produit (en révision) et aucune *Clostridium perfringens* dans 1 gramme. Un litre de compost ou de digestat doit renfermer moins de trois graines d'adventices en germination ;
- les déchets dits stabilisés peuvent être épandus s'ils ne sont pas destinés à la production de fourrage ou de culture vivrière. La fréquence autorisée est de 200 tonnes de MS à l'hectare tous les 10 ans ;
- aucune station de traitement biologique ne doit être exploitée sans permis. Pour les stations de compostage ou de fermentation anaérobie produisant moins de 500 tonnes de digestat des exemptions peuvent s'appliquer. Les unités produisant plus de 10 000 tonnes par an de digestat devront mettre en place un système d'assurance qualité pour le procédé de traitement.

**Liste des constructeurs de digesteurs traitant des résidus solides**

<b>SOCIETE</b>	<b>ADRESSE</b>	<b>CP</b>	<b>VILLE</b>	<b>PAYS</b>	<b>TELEPHONE</b>	<b>TELECOPIE</b>	<b>E-MAIL</b>
<b>AAT GmbH &amp; Co</b>	Kellhofstrasse 12	A-6922	WOLFURT	AUSTRIA	43 5574 65190	43 55774 65185	
<b>ALCYON Engineering SA</b>	Baumettes 15	CH-1020	RENENS	SWITZERLAND	41 21 637 37 37	41 21 637 37 30	desk@alcyon.ch
<b>ANM-AN Maschinenbau und Umweltschutzanlagen</b>	WaterbergstraBe 11	D-28237	BREMEN	GERMANY	49 421 694 580	49 421 642 283	
<b>Arcadis Heidemj Realistate bv</b>	PO Box 19	NL-6800	AC ARNHEM	THE NETHERLANDS	31 416 344 044	31 416 672 300	W.elsinga@arcadis.nl
<b>Arge Biogas</b>	BlindergaBe 4/10-11	A-1080	VIENNA	AUSTRIA	43 14 064 579		
<b>BEKON Environmental &amp; Energy-technology GmbH</b>	SalbeistraBe 20a	84032	LANDSHUT	GERMANY	49 0871 358 59	49 0871 358 99	
<b>Bioscan A/S</b>	Tagtaekervej 5	DK-5230	ODENSE	DENMARK	45 66 157 071	45 66 157 771	
<b>BKS Nordic AB</b>	PO Box 209	S-79330	LEKSAND	SWEDEN	46 247 797730	46 247 797731	
<b>BTA Biotechnische Abfallverwertung GmbH &amp; Co KG</b>	RottmannstraBe 18	D-80333	MÜNCHEN	GERMANY	49 89 52 04 60-6	49 89 523 2329	post@bta-technologie.de
<b>BWSC – Burnmeister &amp; Wain</b>	Scandanavian Contractors A/S Gydevang 35 Box 235	DK – 3450	ALLEROD	DENMARK	45 48 140 022	45 48 140 150	
<b>C. G. Jensen</b>	Stenvej 21	DK – 8270	HOJBJERG	DENMARK	45 86 273 499	45 86 273 677	
<b>Citec International Ltd Oy</b>	PO Box 109	SF – 65101	VAASA	FINLAND	358 6 324 0700	358 6 324 0800	
<b>DRANCO Organic Waste Systems</b>	Dok Noord 4	B – 9000	GENT	BELGIUM	32 9 23 30 204	32 9 23 32 825	
<b>Duke Engineering and Services</b>	PO Box 1004 Charlotte	NC 28201-1004		USA	1 704 382 2798	1 704 373 6970	
<b>Entec Umwelttechnik GmbH</b>	Shilfweg 1	A – 6972	FUSSACH	AUSTRIA	43 5578 79460	43 5578 73638	
<b>Enviro-Control Ltd</b>	26 Forsythia Drive Greenways Cyncoed, Cardiff	CF27 1IP		UK	44 1222 734 738	44 1222 549 909	

<b>SOCIETE</b>	<b>ADRESSE</b>	<b>CP</b>	<b>VILLE</b>	<b>PAYS</b>	<b>TELEPHONE</b>	<b>TELECOPIE</b>	<b>E-MAIL</b>
<b>ENVITAL Umweltsysteme GmbH</b>	Plochinger Strabe 3	D-73730	ESSLINGEN	GERMANY	49 711 31 00 949 0	49 711 31 00 949 9	envital- esslingen@online.de
<b>GasCon Aps</b>	Grundtvigsvej 23	DK-8600	SILKEBORG	DENMARK	45 70 27 20 90		
<b>GREENFINCH Ltd</b>	Burford HouseBurford House Tentury Wells	WR15 8HQ	WORCESTERSH IRE	UK	44 (0)1584 810777	44 (0) 1584 810673	greenfinch@burford.co.u k
<b>Haase EnergietechnikGmbH</b>	GadelandstraBe 172	D – 22531	NEUMÜNSTER	GERMANY	49 4321 8780	49 4321 87829	
<b>Herning Municipal Utilities</b>	Dalgas Alle 3	DK – 7400	HERNING	DENMARK	45 99 268 211	45 99 268 212	
<b>IMK BEG Bioenergie GmbH</b>	Konrad AdenauerstraBe 9-13	D – 45699	HERNING	GERMANY	49 2366 305 262 -	49 2366 305 230	
<b>Ionics Italba Spa</b>	Via G. Livraghi /B	I – 20126	MILANO MI	ITALY	39 226 000 426	39 227 079 291	
<b>Jysk Biogas A/S</b>	Haals Bygade 15	DK – 9260	GISTRUP	DENMARK	45 98 333 234	45 98 678 711	
<b>KOMPOGAS AG</b>	Rohrstrasse 36	CH – 8152	GLATTBRUGG	SWITZERLAND	41 1 809 71 00	41 1 809 71 10	
<b>Kruger A/S</b>	Gladsaxevej 363	DK – 2860	SOBORG	DENMARK	45 39 69 02 22	45 39 69 08 06	
<b>LINDE BRV Biowaste Technologies AG</b>	Thälmannplatz 12	39264	DOBRITZ/ZERB ST	GERMANY	49 3 92 48 9 24 70	49 3 92 48 9 24 71	
<b>Linde -KCA- Dresden GmbH</b>	Postfach 210353	D – 01265	DRESDEN	GERMANY	49 3 51 45 60 0	49 3 51 45 60 2 02	
<b>LIPP GmbH</b>	Maschinen + Stahlbehälterbau + Umwelttechnik IndustriestraBe	73497	TANNHAUSEN	GERMANY	07964 9003-0	07964 9003-27	info@lipp-system.de
<b>MAT MÜLL-UND ABFALLTECHNIK GmbH</b>	Hohfuhrenweg 4	CH – 3250	LYSS		41 32 384 03 06	41 32 384 17 25	mat.ag@bluewin.ch
<b>NIRAS</b>	Aboulewarden 80 Postbocks 615	DK – 8100	ARHUS	DENMARK	45 873 23232	+45 873 23200	
<b>NNR Nellerman, Neisel &amp; Rauschenberger A/S</b>	Lars Baadstorp v. Kongevej 4-6	DK – 8560	VIBE J	DENMARK	45 86 147 111	+45 86 140 088	
<b>Paques Solid Waste Systems</b>	Postbox 52	8560	AB BALK	DENMARK	31 5140 8600	+31 5140 3342	
<b>Purac AB</b>	PO Box 1146	S – 22 105	LUND	SWEDEN	46 8 732 5334	+46 8 732 5344	

<b>SOCIETE</b>	<b>ADRESSE</b>	<b>CP</b>	<b>VILLE</b>	<b>PAYS</b>	<b>TELEPHONE</b>	<b>TELECOPIE</b>	<b>E-MAIL</b>
<b>Risanamento Protezione Ambiente Spa</b>	Str. Del Colle 1A/1 – Loc Fontana	I – 06074 PERUGIA		ITALY	39 55 171 147	+39 755 179 669	
<b>R.O.M. AG</b>	MattstraBe	8502	FRAUENFELD		052 722 46 60	052 722 40 42	
<b>Schwarting-UHDE GmbH</b>	Lise MeitnerstraBe 2	D – 24941	FLENSBURG	GERMANY	49 461 999 121	+ 49 461 999 2101	
<b>SPI – Srl Societa Produzione</b>	Idrosanitari Via per Borgomanero – Reg Pulice	I – 28060	COMIGNAGO	ITALY	39 322 50 146	+39 322 50 334	
<b>Steinmuller Valorga Sarl</b>	Parc du Millénaire – Bât., 1-2 étage 1300 rue Albert Einstein BP 51	F – 34935	MONTPELLIER	FRANCE	33 4 67 99 41 00	+33 4 67 99 41 01	
<b>NAVATECH Novatech Gesellschaft für umweltschonende Technologie mbH</b>	Am Schelgelsberg 27	74541	VELLBERG- TALHEIM		07907-9697-0	07907-9697-70	
<b>THÖNI Industriebetriebe GmbH</b>	Obermarktstr. 48	A-6410	TELS		0043 5262 69030	0043 5262 6903510	
<b>SWECO/VBB Viak</b>	PO Box 34044	S-100 26	STOCKHOLM	SWEDEN	46 8 695 62 39	+46 8 695 62 30	
<b>TBW</b>	Bauweg 10	D-6016	FRANKFURT	GERMANY	49 69943 5070	+49 69943 0711	tbw@pop-frankfurt.com
<b>WELtec Bio Power GmbH</b>	Amerbuscher StraBe 29	49424	LUTTEN	GERMANY	49 4441 999 780	49 4441 999 788	info@weltec-biopower.de
<b>Werl Werl AG</b>	BismarckstraBe 1-11	D79312	EMMENDINGE N	GERMANY	49 7641 58 50	+49 7641 58 51 06	
<b>YIT CORPORATION</b>	Head Office PO Box 36, Panuntie 11	00621	HELSINKI	FINLAND	358 204 33 111	+358 204 33 3700	

Brussels, 27 April 2000

ENV.E.3/LM

## WORKING DOCUMENT ON SLUDGE

### 3<sup>RD</sup> DRAFT

An EU-initiative to improve the present situation for sludge management should be based on Article 175 EC Treaty and include the following elements:

#### Definitions

It is proposed to use the definition of sludge suggested by CEN: «mixture of water and solids separated from various types of water as a result of natural or artificial processes».

- Sewage sludge would then be sludge from urban waste water<sup>1</sup> treatment plants, septic tank sludge would be sludge from septic tanks which contain human excreta and domestic waste water<sup>2</sup> from single or multiple human dwellings, and industrial sludge would be sludge from the treatment of industrial waste water of the sectors listed in Annex VIII.
- The suggested definition of treated sludge is that of sludge which has undergone one of the treatment processes envisaged in Annex I or a combination of these processes, so as to significantly reduce its biodegradability and its potential to cause nuisance as well as the health and environmental hazards when it is used on land.
- The definitions of forest<sup>3</sup> (land with tree crown cover (stand density) of more than about 20% of the area. Continuous forest with trees usually growing to more than about 7 m in height and able to produce wood. This includes both closed forest formations where trees of various storeys and undergrowth cover a high proportion of the ground, and open forest formations with a high continuous grass layer in which tree synusia cover at least 10% of the ground) and reclaimed land (drastically disturbed land that is reclaimed using sludge) will also be introduced.

#### Use on land

In order to maintain or improve the present rate of recycling of nutrients and organic matter contained in sludge, it will be necessary to broaden the scope of the existing regulations and include the management of sludge in outlets such as silviculture, green areas and reclaimed land.

---

<sup>1</sup> The definition of 'urban waste water' in Directive 91/271/EEC reads: «domestic waste water or the mixture of domestic waste water with industrial waste water and/or run-off rain water».

<sup>2</sup> The definition of 'domestic waste water' in Directive 91/271/EEC reads: «waste water from residential settlements and services which originates predominantly from the human metabolism and from household activities».

<sup>3</sup> Definition according to FAO guidelines.

- Sludge should be used on land whenever possible and only according to relevant Community or national legislation.
- Sludge should be used when there is an agronomic interest for the crops or the quality of soil can be improved. The application rate is to be adapted to the needs of crops and/or soil taking into account the amount of nutrients present in the soil, the supply of nutrients through the net mineralisation of the reserves in the soil and the addition of nutrients from livestock manure, chemical fertilisers and other organic fertilisers [without prejudice to other relevant Community legislation, in particular Directive 91/676/EEC on nitrates].
- The use of sludge shall be carried out in such a way as to minimise the risk of negative effects to:
  - human, animal and plant health,
  - the quality of groundwater and/or surface water,
  - the long-term quality of the soil, and
  - the bio-diversity of the micro-organisms living in the soil.
- Sludge should not be used in forests. However, Member States may allow the use of sludge in plantations (short-rotation plantations, plantations for growing energy crops, Christmas tree plantations and similar) and for re-forestation purposes where there is a need for an extra input of nutrients and as long as the provisions of Article 4 of Directive 75/442/EEC are complied with.

### **Limit values**

There would be provisions on concentration limit values for heavy metals and organic compounds.

- The use of sludge in those soils where the concentration of one or more heavy metals exceeds the limit values suggested in Annex II would be prohibited; furthermore, Member States would have to ensure that those limit values are not exceeded as result of the use of sludge.
- If the concentration of one or more heavy metals in sludge is higher than the concentration limits suggested in Annex III or if the concentration of one or more organic compounds in sludge is higher than the concentration limits proposed in Annex IV, the use of sludge should not take place.
- When sludge is mixed with other wastes or products, the above-mentioned provision should apply to both the sludge before mixing as well as to the produced mixture. The mixing of sludge with other wastes or products solely for the purpose of diluting pollutants shall be prohibited.
- The maximum annual quantities of heavy metals set in Annex V that may be added to the soil because of the use of sludge should not be exceeded. An exemption could be envisaged for land reclamation where a one-off large application of sludge is needed to raise the soil

organic matter content and promote biological activity in the soil. Annexes II, III and IV shall still apply.

- The limit values in Annex III and V should be reviewed every six years with a view to achieving the medium and long-term concentrations set out in the paragraph on Prevention of pollution.

### **Obligation for treatment**

In order to reduce the likelihood of spreading pathogens into the environment and to build up consumers' confidence, it will be necessary to treat the sludge.

- Sludge that has not been treated according to one of the treatment processes envisaged in Annex I should not be used.
- The competent authority may decide that the obligation of treatment does not apply to those industrial sludges listed in Annex VIII that do not contain potentially pathogenic micro-organisms.
- Sludge from septic tanks, cesspools and similar installations shall be taken to a waste water treatment plant for further treatment. In case of long distances, the competent authority may allow a derogation from the previous requirement on a case-by-case basis and as long as the provisions of Article 4 of Directive 75/442/EEC are complied with. The sludge shall be injected or worked into the soil as soon as it is spread.

### **Conditions for use on land**

Sludge should not be used on soils whose pH is less than 5.0, on water saturated, flooded, frozen or snow-covered ground. Sludge should be spread in such a way as not to cause sludge run-off and minimise soil compaction as well as the production of aerosols.

Sludge may be used if the following conditions are met:

- the load limits set in Annex V are not exceeded (with the possible exception of land reclamation for one-off applications);
- there is an agronomic interest for nutrients or for the improvement of the content of organic matter in soil;
- the quantity of nutrients introduced is adapted to the needs of the crops or the soil according to best practice;
- the use does not cause unreasonable odour nuisance to the nearest dwellings.

Sludge shall be used according to the following table (advanced and conventional treatments are described in Annex I):

	<b>Advanced treatment</b>	<b>Conventional treatment</b>
Pastureland	Yes	Yes, deep injection and no grazing in the six following weeks
Forage crops	Yes	Yes, no harvesting in the six weeks following spreading
Arable land	Yes	Yes, deep injection or immediate ploughing down
Fruit and vegetable crops in contact with the ground	Yes	No. No harvest for 12 months following application
Fruit and vegetable crops in contact with the ground eaten raw	Yes	No. No harvest for 30 months following application
Fruit trees, vineyards, tree plantations and re-forestation	Yes	Yes, deep injection and no access to the public in the 10 months following spreading
Parks, green areas, city gardens, all urban areas where the general public has access	Yes, only well stabilised and odourless sludge	No
Forests	No	No
Land reclamation	Yes	Yes, no access to the public in the 10 months following spreading

## **Producer responsibility & certification**

There should be a provision on producer responsibility and certification which provides that:

- Producers are to be responsible for the quality of sludge supplied (even when a contractor takes care of sludge marketing and spreading) and shall guarantee the suitability of sludge for use. Producers are to analyse the sludge for the agronomic parameters, heavy metals, organic compounds and micro-organisms with the frequency suggested in Annex VI and soils with the frequency and methods suggested in Annex VII.
- Producers shall implement a quality assurance system for the whole process, i.e. control of pollutants at source, sludge treatment, the way that the work is planned and the land evaluated, sludge delivery, sludge application and the communication of information to the receiver of the sludge. The quality assurance system shall be independently audited by auditors duly authorised by the competent authority.
- Analyses are to be carried out by an accredited laboratory which shall be authorised and duly monitored by the competent authority.

## **Information requirements**

Information requirements should include the following elements.

The producer to provide the receiver of the sludge with the

- name and address of the producer;
- name and address of the treatment plant from which the sludge has origin;
- assurance that the quality of supplied sludge fulfils all relevant and applicable requirements;
- copy of the auditor's certificate;
- type of treatment carried out in relation to the list in Annex I and result of the analysis on *Salmonella spp* and *Escherichia Coli* if applicable;
- composition and properties of the sludge in relation to the agronomic parameters suggested in Annex VI;
- results of the analyses on sludge in relation to the heavy metals listed in Annex III and the organic compounds suggested in Annex IV.

The receiver of the sludge shall keep records of and provide the producer with the following:

- information about any other sludge, manure or other wastes that have been applied to the land;
- information about the land that is relevant to preventing water pollution;
- records of fertilisers and agrochemicals used on the land.

The producer to keep a copy of the information sent to the receiver along with the

- name and address of the receiver;
- location of the plot of land on which the sludge is used and its area;
- type of land use;
- treatment, quantity and analysis of sludge supplied for use;
- results of the analysis on the soil on which sludge is applied in relation to the heavy metals suggested in Annex II;
- details of the information supplied by the receivers.

The producer has to keep the above-mentioned information for at least ten years and has to report annually to the competent authority. This information, in an aggregated form, shall provide the basis for the consolidated report to be sent to the Commission.

This information, in an aggregated form, shall be available upon request to the general public.

Member States shall communicate to the Commission the competent authority responsible for the implementation and monitoring of these provisions on their territory. The Commission shall include this information in the consolidated report.

### **Code of practice**

A part from obligatory requirements, it could be envisaged to set up codes of good practice for the use of sludge in the different outlets. Such codes would be implemented by producers on a voluntary basis.

The codes should contain certain provisions covering as a minimum the following items:

For all outlets:

- measures to be taken for not impairing the quality of groundwater;
- measures and precautions to be taken in order to prevent the leaching from sludge which is stored before use;
- periods in which the use of sludge is not suitable because of weather conditions.

For use in agriculture and silviculture:

- the sludge shall be used when there is an agronomic interest for growing of crops or for the improvement of the soil;
- the sludge nutrient load, especially as regards nitrogen and phosphorous, shall be taken into account when the amount of fertilisers needed by crops is calculated;

- periods in which spreading of sludge is not suitable because crops would not benefit from the supplied organic matter or nutrients.

### **Prevention of pollution**

A very important element in a global strategy to ensure the long term availability for the beneficial use of sludge would be to engage in an active reduction of pollution in waste water. It could be envisaged to draw up detailed plans for reducing the amount of potentially hazardous substances, materials, elements or compounds that end up in the sewer, and therefore in sewage sludge, because of their presence in cleaning products, detergents, cosmetics, medicines, animal fodder, pipes, amalgam fillings or others.

These plans should aim at:

- reducing the quantities of potentially hazardous substances, materials, elements or compounds that end up in sewage sludge so that it complies with the concentration limits for heavy metals and organic compounds as suggested for the beneficial use of sewage sludge;
- maximising the share of sewage sludge suitable for beneficial use as well as minimising the quantities of heavy metals and organic compounds released into the environment;
- inform consumers of the composition of the products, substances or materials that could end up in the sewer and how to dispose of them in a way which does not pollute waste waters.

These plans should aim at reducing the overall amount of potentially hazardous substances and elements in waste water and sludge, with a view to achieving in the Community these medium and long-term targets for the 90-percentile of sewage sludge:

Elements	Medium term (about 2015)		Long term (about 2025)	
	Limit values for concentrations of heavy metals in sludge for use on land (mg/kg dm)	Limit values for amounts of heavy metals which may be added annually to soil, based on a ten year average (g/ha/y)	Limit values for concentrations of heavy metals in sludge for use on land (mg/kg dm)	Limit values for amounts of heavy metals which may be added annually to soil, based on a ten year average (g/ha/y)
Cd	5	15	2	6
Cr	800	2 400	600	1 800
Cu	800	2 400	600	1 800
Hg	5	15	2	6
Ni	200	600	100	300
Pb	500	1 500	200	600
Zn	2 000	6 000	1 500	4 500

The measures taken in drawing up such plans shall be part of the periodic report which is to be sent to the Commission. In particular, the report shall contain information on implemented policy measures, implemented concrete measures, achieved improvements, and implemented consumer advisory services.

### **Committee procedure**

In the implementation and monitoring of sludge management, the Commission will be helped by a Committee of representatives of the Member States. This Committee will have the possibility of adapting the Annexes to the technological progress, in particular the definitions of suitable treatments in Annex I.

## Annex I: Sludge treatment processes

### Advanced treatments (hygienisation)

- Thermal drying ensuring that the temperature of the sludge particles is higher than 80°C with a reduction of water content to less than 10% and maintaining a water activity above 0.90 in the first hour of treatment;
- Thermophilic aerobic stabilisation at a temperature of at least 55°C for 20 hours as a batch, without admixture or withdrawal during the treatment;
- Thermophilic anaerobic digestion at a temperature of at least 53°C for 20 hours as a batch, without admixture or withdrawal during the treatment;
- Thermal treatment of liquid sludge for a minimum of 30 minutes at 70°C followed by mesophilic anaerobic digestion at a temperature of 35°C with a mean retention period of 12 days;
- Conditioning with lime reaching a pH of 12 or more and maintaining a temperature of at least 55°C for 2 hours;
- Conditioning with lime reaching and maintaining a pH of 12 or more for three months.

The process shall be initially validated through a 6 Log<sub>10</sub> reduction of a test organism such as *Salmonella Senftenberg W 775*.

The treated sludge shall not contain *Salmonella spp* in 50 g (wet weight) and the treatment shall achieve at least a 6 Log<sub>10</sub> reduction in *Escherichia Coli* to less than 5·10<sup>2</sup> CFU/g.

### Conventional treatments

- Thermophilic aerobic stabilisation at a temperature of at least 55°C with a mean retention period of 20 days;
- Thermophilic anaerobic digestion at a temperature of at least 53°C with a mean retention period of 20 days;
- Conditioning with lime ensuring a homogenous mixture of lime and sludge. The mixture shall reach a pH of more than 12 directly after liming and keep a pH of at least 12 for 24 hours;
- Mesophilic anaerobic digestion at a temperature of 35°C with a mean retention period of 15 days;
- Extended aeration at ambient temperature as a batch, without admixture or withdrawal during the treatment period<sup>(\*)</sup>;
- Simultaneous aerobic stabilisation at ambient temperature<sup>(\*)</sup>;

---

<sup>(\*)</sup> The minimum time length of the treatment shall be laid down by the competent authority taking into consideration the prevailing climatic conditions in the area where the treatment plant is located.

- Storage in liquid form at ambient temperature as a batch, without admixture or withdrawal during the storage period<sup>(\*)</sup>. The sludge treatment shall at least achieve a 2 Log<sub>10</sub> reduction in *Escherichia Coli*.

The relevant process parameters shall be monitored at least daily, and preferably continuously if practicable. Records shall be kept and made available upon request to the competent authority for inspection purposes.

European standards for the monitoring of these treatment processes shall be developed. If CEN standards are not available and until they are developed, ISO, international or national standards shall apply.

When the competent authority of the concerned Member State is satisfied that a treatment process not listed in this Annex is capable of achieving the same results as the listed treatments, it shall inform the Commission thereof. The Commission, after evaluation of the information provided, may seize the Committee of representatives of Member States. If the opinion of the Committee is positive, the treatment process shall be included in this Annex.

[Without prejudice to other relevant Community legislation, in particular Directive 90/667/EEC on animal waste.]

## Annex II: Limit values for concentrations of heavy metals in soil

Elements	Limit values (mg/kg dm)			
	Directive 86/278/EEC 6<pH<7	5≤pH<6	6≤pH<7	pH≥7
Cd	1 – 3	0.5	1	1.5
Cr	-	30	60	100
Cu	50 – 140	20	50	100
Hg	1 – 1.5	0.1	0.5	1
Ni	30 – 75	15	50	70
Pb	50 – 300	70	70	100
Zn	150 – 300	60	150	200

When the concentration value of an element in a specific land area is higher than the concentration limit as set in the table, the competent authority may still allow the use of sludge on that land on a case-by-case basis and after evaluation of the following aspects:

- uptake of heavy metals by plants,
- intake of heavy metals by animals,
- groundwater contamination,
- long term effects on bio-diversity, in particular on soil biota.

The areas of land with higher heavy metal concentrations shall be monitored and the possibility of using sludge shall be subject to a periodical assessment by the competent authority.

**Annex III: Limit values for concentrations of heavy metals in sludge for use on land**

Elements	Limit values (mg/kg dm)		Limit values (mg/kg P)
	Directive 86/278/EEC	Proposed	Proposed
Cd	20 – 40	10	250
Cr	-	1 000	25 000
Cu	1 000 – 1 750	1 000	25 000
Hg	16 – 25	10	250
Ni	300 – 400	300	7 500
Pb	750 – 1 200	750	18 750
Zn	2 500 – 4 000	2 500	62 500

The sludge producer may choose to observe either the dry matter related or the phosphorus related limit values.

**Annex IV: Limit values for concentrations of organic compounds and dioxins  
in sludge for use on land**

Organic compounds	Limit values (mg/kg dm)
AOX <sup>1</sup>	500
LAS <sup>2</sup>	2 600
DEHP <sup>3</sup>	100
NPE <sup>4</sup>	50
PAH <sup>5</sup>	6
PCB <sup>6</sup>	0.8

Dioxins	Limit values (ng TE/kg dm)
PCDD/F <sup>7</sup>	100

---

<sup>1</sup> Sum of halogenated organic compounds.

<sup>2</sup> Linear alkylbenzene sulphonates.

<sup>3</sup> Di(2-ethylhexyl)phthalate.

<sup>4</sup> It comprises the substances nonylphenol and nonylphenoethoxylates with 1 or 2 ethoxy groups.

<sup>5</sup> Sum of the following polycyclic aromatic hydrocarbons: acenaphthene, phenanthrene, fluorene, flouranthene, pyrene, benzo(b+j+k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, indeno(1, 2, 3-c, d)pyrene.

<sup>6</sup> Sum of the polychlorinated byphenils components number 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

<sup>7</sup> Polychlorinated dibenzodioxins/ dibenzofuranes.

**Annex V: Limit values for amounts of heavy metals which may be added annually to soil, based on a ten year average**

Elements	Limit values (g/ha/y)	
	Directive 86/278/EEC	Proposed
Cd	150	30
Cr	-	3 000
Cu	12 000	3 000
Hg	100	30
Ni	3 000	900
Pb	15 000	2 250
Zn	30 000	7 500

The competent authority may decide to allow an increase in the loading rate for copper and zinc on a case by case basis for those plot of land that are copper or zinc-deficient and if it has been proven by qualified expert advice that there is a specific agronomic need for the crops.

## Annex VI: Sampling frequency

The following parameters shall always be analysed in order to characterise the composition of sludge:

- dry matter and organic matter<sup>(\*)</sup>;
- pH;
- primary nutrients: nitrogen (as total N and NH<sub>4</sub>-N), phosphorus (P), potassium (K).

For agricultural and similar uses, the following parameters shall also be analysed in order to characterise the agronomic value of sludge:

- secondary nutrients: calcium (Ca), magnesium (Mg), sulphur (S);
- micro-nutrients: boron (B), cobalt (Co), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo).

As a minimum, the frequency of analysis for sludge shall be as in the following table. The analyses shall be carried out at regular intervals during the year.

Quantity of sludge produced per year and per plant (tonnes of dm)	Minimum number of analyses per year				
	Agronomic parameters	Heavy metals	Organic compounds	Dioxins	Micro-organisms
< 250	2	2	-	-	2
250 – 1 000	4	4	1	-	4
1 000 – 2 500	8	4	2	-	8
2 500 – 4 000	12	8	4	1	12
> 4 000	12	12	6	1	12

Sludge shall be assumed to be conform to the concentration limit values for heavy metals, organic compounds, dioxins and micro-organisms if, for each concentration limit considered individually, the 90-percentile of the samples within a twelve-month period are at or below the threshold value and if the 10-percentile of the samples exceed only one threshold value and by less than 50%.

---

<sup>(\*)</sup> Dry matter and organic matter shall be evaluated from the measurements of dry residue and loss on ignition.

The competent authority may decide on a case-by-case basis to allow a reduction of the frequency of the analysis of any of the pollutant parameters (heavy metals, organic compounds, micro-organisms) if in a two-year period it has been shown that each measured value of the parameter is consistently below 75% of the threshold limit.

The competent authority may decide on a case-by-case basis to allow a reduction of the frequency of the analysis of any of the agronomic parameters if in a two-year period it has been shown that each measured value of the parameter deviates for less than 20% from the average.

The competent authority may decide on a case-by-case basis and whenever justified on the analysis of pollutants other than those listed in Annexes II and IV and on the analysis of micro-organisms other than those listed in Annex I.

For those pollutants (heavy metals, organic compounds, micro-organisms) that are either not present at all or present only in negligible quantities in the industrial waste water of the sectors listed in Annex VIII, the competent authority shall decide on the parameters and the frequency of the analyses to be carried out. It shall inform the Commission thereof.

## Annex VII: Analysis and sampling

The soil shall be analysed before the first use of sludge on land and every ten years thereafter for the following parameters:

- pH;
- cadmium, chromium, copper, mercury, nickel, lead and zinc.

The representative soil sample for analysis shall be made up by mixing together 25 core samples taken over an area not exceeding 5 hectares which is farmed for the same purpose. In case of large agricultural exploitations and subject to the approval of the competent authority, the core samples may be taken over an area of 20 hectares which is farmed for the same purpose. The samples must be taken to a depth of 25 cm unless the depth of the surface soil is less than that value; however, the sampling depth in the latter case must not be less than 10 cm.

Sampling and analysis of the relevant parameters shall be carried out as given by CEN standards. If CEN standards are not available and until they are developed, ISO, international or national standards shall apply.

Methods for soil examination:

Parameter	Title	Reference(*)
Sampling	Soil quality – Sampling – Part: 1: Guidance on the design of sampling programmes	ISO/DIS 10381-1
	Soil quality – Sampling – Part: 4: Guidance on the design of sampling programmes	ISO/DIS 10381-4
Soil texture (clay and organic matter content)	Soil quality - Simplified soil description	ISO 11259
	Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation	ISO 11277
	Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)	ISO 10694
pH	Soil quality – Determination of pH	ISO 10390
Heavy metals	Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia	ISO 11466
	Soil quality – Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc – Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods	ISO 11047
Nitrogen	Soil quality – Determination of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and total soluble nitrogen in air-dry soils using calcium chloride solution as extractant	ISO 14255
Phosphorus	Soil quality – Determination of phosphorus – Spectrometric determination of phosphorus soluble in sodium hydrogen carbonate solution	ISO 11263

(\*) Latest available edition.

Methods for sludge examination:

Parameter	Title	Reference(*)
Sampling	Water quality – Sampling - Part 13 : Guidance on sampling of sludges from sewage and watertreatment works	EN/ISO 5667P13
Dry matter	Characterization of sludge - Determination of dry residue and water content	prEN 12880
Organic matter	Characterization of sludges - Determination of the loss on ignition of dry mass	prEN 12879
pH	Characterization of sludge - Determination of pH-value of sludges	EN 12176
Nitrogen	Characterisation of sludges - Determination of Kjeldahl nitrogen	prEN 13 342
Phosphorus	Determination of phosphorus compounds	prEN 13 346
Potassium		
Heavy metals	Characterisation of sludges Aqua regia extraction methods - Determination of trace elements and phosphorus	prEN 13 346
Secondary nutrients and micro-nutrients		(prEN 13 346)
Salmonella Seftenberg W775		
Salmonella spp		
Escherichia Coli		
AOX		[ISO 15009]
LAS		
DEHP		
NPE		
PAH		[ISO 13877]
PCB		[CD 10382]
PCDD/F		

(\*) Latest available edition.

### **Annex VIII: Industrial sectors**

The code in the entries refers to the European Waste Catalogue adopted on 20 December 1993 with Commission Decision 94/3/EC.

1. 02 02 04 sludges from on site effluent treatment from the preparation and processing of meat, fish and other foods of animal origin [without prejudice to other relevant Community legislation, in particular Directive 90/667/EEC on animal waste]
2. 02 03 05 sludges from on site effluent treatment from fruit, vegetables, cereals, edible oils, cocoa, coffee [, tea] and tobacco preparation, processing; conserve production; tobacco processing [; yeast industry]
3. 02 04 03 sludges from on site effluent treatment from sugar processing
4. 02 05 02 sludges from on site effluent treatment from the dairy production industry
5. 02 06 03 sludges from on site effluent treatment from the baking and confectionery industry
6. 02 07 05 sludges from on site effluent treatment from the production of alcoholic and non-alcoholic beverages (excluding coffee, tea and cocoa)
7. 03 03 06 fibre and paper sludge
8. 04 01 06 sludges containing chromium from the leather industry
9. 04 01 07 sludges free of chromium from the leather industry

# La réglementation du biogaz

Ce document est une présentation du CD rédigé par le club biogaz de l'ATEE.

## *Recueil de texte réglementaire sur le biogaz*

Club Biogaz ATEE

47 avenue Laplace 94 117 Arcueil cedex

Tel 01 46 56 41 43 Fax 01 46 56 41 44

E mail : [club.biogaz@atee.fr](mailto:club.biogaz@atee.fr)

Le CD comporte l'ensemble des textes mentionnés

# LA REGLEMENTATION DU BIOGAZ

[Introduction à la réglementation Biogaz – Base de travail.](#)

1 [LES TEXTES RELATIFS AUX APPORTS DE MATIERES PREMIERES.](#)

2 [LES TEXTES RELATIFS A LA PRODUCTION DE BIOGAZ.](#)

3 [L'UTILISATION DES PRODUITS SORTANTS.](#)

4 [LES TEXTES RELATIFS A LA FISCALITE ET AU FINANCEMENT.](#)

5 [LES AIDES DE L'ADEME ET DES AGENCES DE L'EAU.](#)

## [Récapitulatif des textes](#)

LES TEXTES GENERAUX

SCHEMA DU CHEMINEMENT DU BIOGAZ

INDEX

# Base de travail pour la constitution du recueil réglementaire Biogaz

COMPTE RENDU DE LA REUNION  
du GROUPE DE TRAVAIL N°2 du 10 MARS 2000

- REGLEMENTATION ET INSTALLATIONS CLASSÉES -

**Objet de la réunion :** Recensement des différentes rubriques concernées par une installation de production de biogaz

## RUBRIQUES CONCERNÉES PAR UNE INSTALLATION BIOGAZ

Le bilan ci-après de la législation s'appliquant aux installations de méthanisation fait ressortir les points suivants :

- Les installations biogaz ne sont pas en tant que telles concernées par les législations sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Néanmoins il est rare que soit l'activité du site (papeteries, STEP, CET...), soit un de ses composants ou la transformation du digestat ne soient pas concerné<sup>1</sup>.
- La mise en torchère des gaz collectés et non valorisés ne ressort d'aucune obligation légale, hors les CET de classe 2 (déchets ménagers et assimilés).<sup>2</sup>
- Dans le flou actuel, certaines rubriques pourraient localement être considérées, à tort, comme s'appliquant à une installation de méthanisation<sup>3</sup>.
- Le classement de certains éléments d'une installation biogaz peut évoluer suivant les DRIRE (utilisation en 2910, installation de combustion, ou 167C incinération de déchets en provenance d'installations classées ?)
- Certaines autres législations que celle relative aux ICPE s'appliquent sur les sites de méthanisation (soit d'office comme les « tuyauteries d'usines », soit par assimilation (le méthaniseur est-il un appareil sous pression ?)

## Rubriques dans lesquelles sont souvent classés les sites comportant des installations produisant et/ou valorisant du biogaz.

Intitulé opération/	Intitulé rubrique	N° rubrique ou législation	Commentaires
Méthaniseur, fermenteur			
Compresseur (brassage pneumatique de certains méthaniseurs, transport du biogaz...)	Installation de réfrigération ou compression	2920.1 pour les compressions de biogaz de plus de 20 kWe 2920.2 pour les autres compressions de plus de 50 kWe	préciser si le biogaz est un fluide inflammable ou non pour l'application de la rubrique

<sup>1</sup> compresseur, (2920), installation de combustion (2910)

<sup>2</sup> CET = Centre d'enfouissement technique. La mise en torchère des gaz collectés non valorisés résulte des articles 19 et 49 de l'arrêté du 9/9/97.

<sup>3</sup> 1136, emploi ou stockage d'ammoniac. Le C de l'ammoniac indique qu'il s'agit de gaz et non de forme diluée rencontrée dans les digestats.

1410, fabrication industrielle qui exclut les digesteurs de STEP, mais pas les autres digesteurs ni les CET

Gazomètres, Réservoirs de biogaz	Gazomètres et réservoirs de gaz comprimés renfermant des gaz inflammables	1411 à partir de 1 tonne	La législation spécifique des réservoirs sous pression s'applique en plus à ces derniers.
Canalisations		Arrêté du 15/1/62 si P> 4 bar et $\Phi > 80$ mm	
Comptage, contrôle process, analyse...		Métrologie commerciale ou légale	
Torchère de CET classe 2		Art 19 et 44, 49 arrêté du 9/9/97	en sortie torchère : T>900°C, CO<150mg/Nm3, poussières<10 mg/Nm3 Mesure SO2, CO, HCL, HF& poussières mesurés annuellement analyse composition biogaz (CH4, CO2, O2, H2S et H2O)
Autres torchères			Pas d'obligation de brûlage du CH4 !!!
Traitement du gaz (soufre)		2920 (compression) 1411 (réservoirs)...	
Soufre	Emploi et stockage de soufre	1523 C (stockage) > 500 kg si soufre solide	
Utilisation du biogaz par combustion		Rubrique incertaine : hésitation entre 2910A (déclaration jusqu'à 20MWth), 2910B (autorisation à partir de 100 kWth) Ou 167C (autorisation)	2910 : Installations de combustion 2910A combustibles commerciaux et biomasse 2910B autres combustibles 167C Incinération de déchets en provenance d'IPCE.
Autres Utilisation du biogaz		2920 (compression), 1411 (stockage)...	
Transport du biogaz via la voie publique		Si gaz épuré et P > 4 bars « transport de gaz combustible » Si P > 10 bars, transport de produits chimiques arrêté du 6/12/82	

### Autres rubriques concernant certaines installations de méthanisation

opération	Intitulé rubrique	N° rubrique ou législation	Commentaires
C.E.T de classe 2	Ordures ménagères et autres résidus urbains <b>Décharge ou dépôts</b>	322B2	
C.E.T de classe 2 (DIB)	Déchets Industriels provenant d'installation classées <b>Décharge</b>	167B	
	Station d'épuration collective d'eaux résiduaires industrielles	2750	
	Station d'épuration collective de déjections animales	2751	
	Stations d'épuration mixte (domestiques et industrielles)	2752	Les autres cas mixtes ne sont pas envisagés (animal + industriel, domestique + animal...)
Utilisation des digestats	Arrêté Barthélemy du 2/2/98 (à valider car ne s'applique pas aux installations de traitement de déchets) Pour les produits à base de boues urbaines, voir textes « eau » (décret du 8/12/97 et AM du 8/01/98)	art 36 à 42, art 70 modifié le 17/8/98	Articles sur l'épandage sur sols agricoles
STEP	Loi sur l'eau		

**Rubriques dont l'application à des installations de méthanisation demande à être précisée.**

opération	Intitulé rubrique	N° rubrique	Commentaires
Traitement préalable des produits à méthaniser Traitement du digestat	Broyage, concassage, criblage... des substances végétales et de tous produits organiques naturels...	2260 Déclaration si Pe >40 kWe Autorisation si Pe > 200 kWe	Les produits à digérer sont-ils des substances végétales ou des produits organiques naturels ? Peut s'appliquer à l'entrée si broyage préalable (déchets verts)
Broyage préalable des ordures ménagères	Ordures ménagères et autres résidus urbains <b>Avec broyage</b>	322B1	
Digesteur ?	Déchets Industriels provenant d'installation classées <b>Traitement ou incinération</b>	167B 167C	La digestion anaérobie doit-elle être considérée comme un traitement de déchets industriels ? Ceci dépendrait de la nature des déchets traités (proviennent ou non d'ICPE) et si le traitement se fait sur ou hors du site ICPE
Compostage préalable (0 à 48h)	compostage d'ordures ménagères	322 B.3 ou 2170 de manière plus générale pour l'opération suivant la nature du déchet ?	devrait-elle s'appliquer ? Notamment quand le compostage se fait en enceinte fermée ?
Maturation, (0 à 30 jours)	compostage d'ordures ménagères	322 B.3 ou 2170 de manière plus générale suivant la nature du déchet ?	devrait-elle s'appliquer ? Le produit en cours de maturation n'est pas une ordure brute.
	Entrepôts couverts servant au stockage de plus de 500t de matières combustible	1510 ?	Les digestats sont-ils concernés ?
	Solides facilement inflammable	1450	Les digestats sont-ils concernés ? a priori non, mais ceci est à confirmer

**1 LES TEXTES RELATIFS AUX APPORTS DE MATIERES PREMIERES.**

**1.1**

**Déchets ménagers  
et assimilés  
–  
Ordures brutes ou résiduaires triées**

**1.2**

**Stations d'épuration  
des eaux urbaines  
domestiques et industrielles (mixtes)**

**1.3**

**Elevage  
et  
Déjections animales**

## 1.1 Les textes relatifs aux déchets ménagers et assimilés – ordures brutes ou résiduaires triées.

Date	Repère	Type	Objet
	<a href="#">1.1.1</a>	Rubriques ICPE	322b2 et 167b relatives aux stations d'élimination des ordures ménagères.
24/02/1997	<a href="#">1.1.2</a>	circulaire	plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés.
20/12/1994	<a href="#">1.1.3</a>	directive	Emballages et déchets d'emballage.
01/04/1992	<a href="#">1.1.4</a>	décret	Déchets résultant de l'abandon des emballages.

### Quelques rappels :

Le Biogaz est un mélange de méthane et de gaz carbonique issue de la décomposition des matières organiques selon un processus de fermentation : c'est une énergie renouvelable provenant de la biomasse animale ou végétale.

Les décharges d'ordures ménagères sont donc un lieu d'apport important et de grande production de Biogaz. Pour se rendre compte, 1 tonne d'ordures ménagères produit entre 100 et 300m<sup>3</sup> de biogaz.

La production de biogaz à partir de la fraction organique des ordures ménagères dépend du procédé utilisé et la qualité du produit mis en fermentation.

Les fractions fermentescibles contiennent environ 55% de matières putrescibles et des papiers cartons, ce qui veut dire que les procédés de fermentation à haute teneur en matière sèche sont les mieux adaptés (le volume du digesteur est alors réduit). Conclusion ; un moindre coût et un meilleur rendement.

La rubrique 322B2 des installations classées pour la protection de l'environnement soumet à autorisation immédiate toute installation de stockage ou de traitement des ordures ménagères comme les décharges.

La rubrique 167b de la nomenclature vient compléter l'autre de telle sorte que toute installation de traitement et d'élimination de déchets et tout particulièrement d'ordures ménagères sera soumise à autorisation quelle que soit la quantité traitée.

L'ADEME, pour le compte de Ministère de l'environnement a réuni un groupe de travail, auquel participe le Club Biogaz, afin de définir une méthodologie de calcul des émissions de CH<sub>4</sub> des centres d'enfouissement technique en activité.

Sont concernés les sites qui émettraient plus de 100 t/an de CH<sub>4</sub> dans l'atmosphère et pour le CO<sub>2</sub>, les sites de plus de 1Mt/an.

## 1.2 Les textes relatifs aux stations d'épuration des eaux urbaines domestiques et industrielles.

Date	Repère	type	N°	J.O	Objet
	<a href="#">1.2.1</a>	Rubriques ICPE	2750 2751 2752		Rubriques 2750, 2751, 2752 des installations classées pour la protection de l'environnement relatives aux stations d'épurations.
11/02/1997	<a href="#">1.2.2</a>	circulaire			relative aux rubriques 2750, 2751 et 2752 des ICPE concernant les STEP mixtes
03/01/1992	<a href="#">1.2.3</a>	arrêté	92-3	04/01/1992	loi sur l'eau - régime et répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution et prévoyant certaines dispositions transitoires applicables aux exploitations d'élevage.
10/07/1990	<a href="#">1.2.4</a>	arrêté		04/08/1990	rejets de certaines substances dans les eaux souterraines en provenance d'installations classées.

### 1.3 Les textes relatifs à l'élevage et aux rejets de l'élevage.

Date	Repère	type	N°	J.O	Objet
04/01/2002	<a href="#">1.3.1</a>	décret	2002-26	n°5 6/01/2002	aides pour la maîtrise des pollutions liées aux effluents d'élevage
31/10/1996	<a href="#">1.3.2</a>	circulaire	DPPR/SEI		ICPE distances d'implantation des élevages vis-à-vis des tiers.
23/10/1995	<a href="#">1.3.3</a>	circulaire			capacité de stockage des effluents d'élevage et mise en œuvre du programme de maîtrise des pollutions agricoles.
BO du 30/03/1992	<a href="#">1.3.4</a>	arrêté	58		arrêté type relatif aux établissements de vente, de transit, de soins, de garde, d'exposition, renfermant des animaux et être vivants.
22/11/1993	<a href="#">1.3.5</a> <a href="#">3.3.2.8</a>	arrêté		05/01/1994	Code des bonnes pratiques agricoles (épandage et conditions d'élevage...)

La réglementation concernant ce chapitre regroupe trois espèces d'animaux d'élevage de ferme que sont les bovins, les porcins et les volailles.

L'élevage de ces trois espèces émet chaque année en France près de 300 millions de tonnes de déchets, ce qui représente huit fois plus que la production de la population humaine en matière de déchets.

#### Quelques définitions.

Il faut savoir que les élevages de porcs sont producteurs d'un déchet mixte appelé le lisier qui se trouve être le principal apport de biogaz et est facilement stockable.

Les élevages de bovins produisent eux deux type de déchet dont l'un, le fumier (mélange de déjections plus de la paille), est facilement stockable et manutentionnable tandis que l'autre, les déjections, est dispersé et non manutentionnable.

Cet apport de bouses et d'urines peut susciter d'ailleurs de nombreuses interrogations quand à la production importante de nitrates contenu dans ces déjections.

#### Les problèmes liés au lisier.

- ❑ La charge polluante.

Dans le cas où l'épandage sur sols s'avère impossible, le lisier de porc est rejeté dans les rivières et cours d'eau. Cette alternative n'est pas des plus environnementale car la composition biochimique du lisier entraîne une DCO de 20 à 60 g/L et les normes de rejets autorise une DCO seulement inférieure à 0,12 g/L.

L'importance d'un captage et d'une utilisation de ce lisier est donc indispensable et le traitement du lisier semble être l'alternative la plus prudente (voir chapitre 2.1.2 et 3.3.2).

- ❑ Les odeurs.

L'élevage intensif est surtout connu pour ces odeurs nauséabondes dues aux effluents et notamment le lisier qui lors de sa décomposition produit de l'ammoniac, des sulfures et des COV.

La réglementation à ce sujet est très discrète et s'intéresse surtout aux problèmes de voisinage des installations d'élevage vis à vis des tiers uniquement.

Une circulaire du 31 octobre 1996 (chapitre 1.3.2) relative aux installations classées se charge de nous prévenir par une jurisprudence des méfaits causés par un non respect des distances d'implantation des élevages vis à vis des tiers.

Un arrêté type n°58 relatif aux établissements d'élevage d'animaux et êtres vivant définit quelles sont les distances à respecter vis à vis des tiers ; ainsi quelle que soit l'espèce considérée, les installations d'élevage doivent être à au moins 100m des tiers, 35m des lieux d'écoulements des eaux libres, 200m des lieux de baignades et à 500m des exploitations piscicoles et conchylicoles.

Tout brûlage des déchets à l'air libre est interdit.

La solution est donc envisagée une méthanisation, ce qui élimine fortement les odeurs et permet une digestion efficace pouvant servir à un épandage sûr sur sols sans causer de problèmes de voisinage.

### □ Le risque pathogène.

Les déchets d'animaux en décomposition provoque une recrudescence de micro-organismes pathogènes pour l'homme et les animaux.

La solution pour prévenir ce risque est la digestion anaérobie et thermophile (au delà d'une température de 40°C) du lisier ; permettant ainsi un meilleur épandage en limitant les risques de pollution.

### Les aides de l'état.

Le décret du 4 décembre 2002 relatif aux aides pour la maîtrise des pollutions liées aux effluents d'élevage permet d'y voir plus claire dans les différentes zones d'élevages :

Tout d'abord seuls certaines exploitations peuvent bénéficier d'aides de l'état, les zones d'élevages prioritaires, les élevages soumis à autorisation et les élevages de bovins soumis à déclaration supérieurs à 90 UGB ou encore supérieurs à 70 UGB pour les jeunes agriculteurs.

*UGB : Unités gros bétail.*

Sont exclus des aides les élevages de plus de 40000 emplacements pour les volailles, les élevages de plus de 2000 emplacements pour les porcs de plus de 30 kg et les élevages de plus de 750 emplacements pour les truies.

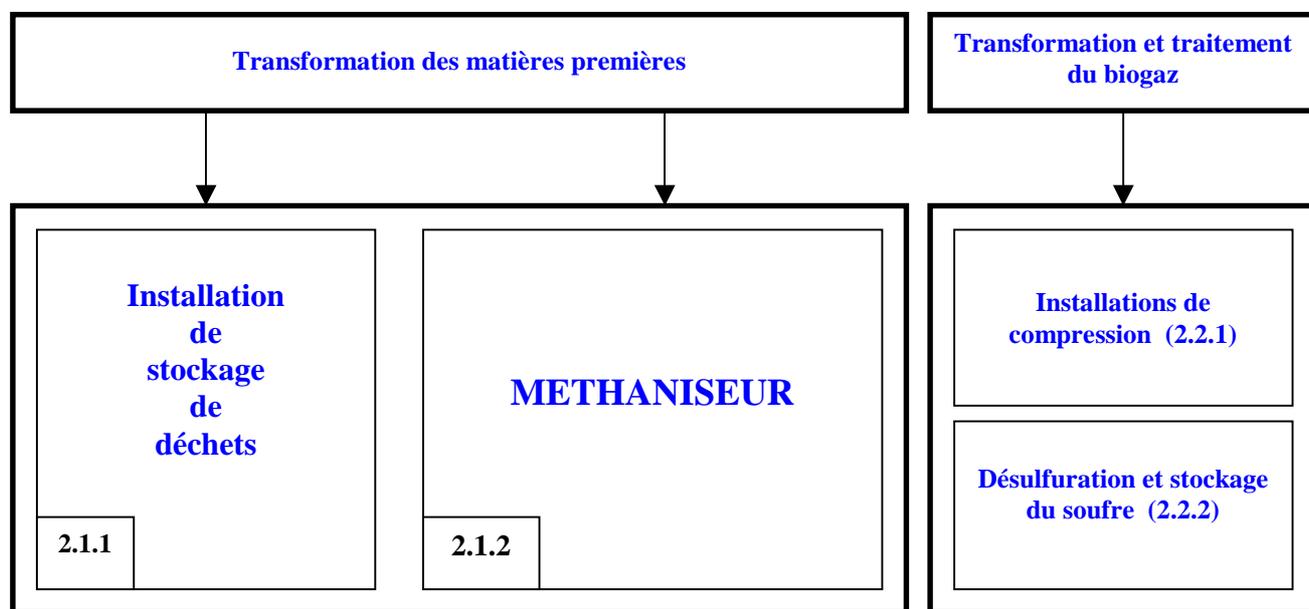
En conclusion, les établissements d'élevage sont une source de biogaz importante et pas encore très exploitée.

Les rejets sont contrôlés dans les grandes exploitations et pas encore chez les petites. De nombreux exploitants fermiers réutilise tout de même l'énergie de fermentation de leur effluents pour produire leur énergie calorifique et électrique (Cogénération. *cf recueil textes réglementaires*).

La réglementation en matière d'établissements d'élevage ne permet pas d'établir de prescriptions précises concernant les émissions et stockage du biogaz mais réussit à fixer des normes d'implantations et de sécurité des installations de sorte que ces bâtiments ne rejettent pas leur effluents non traités dans l'environnement.

La grande utilisation de ces lisiers est l'épandage ([cf chapitre 3.3.2](#)).

## 2 LES TEXTES RELATIFS A LA PRODUCTION DE BIOGAZ.



## 2.1 La transformation des matières premières.

### 2.1.1 Les décharges ou CET de classe 1, 2 et 3.

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
02/02/2001	2.1.1.1	arrêté			installations soumises à autorisation émettant plus de 100 tonnes de CH4 par an.
26/04/1999	<a href="#">2.1.1.2</a>	directive	1999/31/CE	n° L 182 16/07/99	mise en décharge des déchets.
10/11/1997	<a href="#">2.1.1.3</a>	circulaire	97-94		décharges.
09/09/1997	<a href="#">2.1.1.4</a>	arrêté			décharges existantes et nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés.
30/12/1996	<a href="#">2.1.1.5</a>	loi	96-1236	01/01/1997	air et utilisation rationnelle de l'énergie.
18/11/1996	<a href="#">2.1.1.6</a>	décret	96-1008	24/11/1996 rect. 11/01/97	plans d'élimination des déchets ménagers et assimilés.
03/02/1993	<a href="#">2.1.1.7</a>	décret	93-139	04/02/93	Plans d'élimination des déchets ménagers et assimilés.
13/07/1992	<a href="#">2.1.1.8</a>	loi	92-646	n°162 14/07/92	élimination des déchets et ICPE.
19/02/1992	2.1.1.9	circulaire	92-13		études déchets.
09/01/1991	2.1.1.10	Lettre - circulaire			critères techniques d'évaluation de l'étanchéité des sites de décharge de classe 2.
28/12/1990	<a href="#">2.1.1.11</a>	circulaire	90-98	BO 20/04/91	études déchets et ICPE.
29/03/1989	<a href="#">2.1.1.12</a>	circulaire			acceptabilité des ordures ménagères en décharges de classe 1 à caractère collectif.
20/02/1989	<a href="#">2.1.1.13</a>	circulaire			décharges de résidus urbains exploitées sans autorisation dites "décharges brutes".
11/03/1987	<a href="#">2.1.1.14</a>	circulaire		11/04/1987	ICPE mise en décharge contrôlée ou centre d'enfouissement technique de résidus urbains.
30/08/1985	<a href="#">2.1.1.15</a>	circulaire	4311	17/12/1985	recupération des déchets.
22/01/1980	<a href="#">2.1.1.16</a>	instruction			mise en décharge des déchets industriels.
24/09/1996	2.1.1.17	directive	L 257	10/10/1996	EPER (registre européen des émissions de polluants), déclaration du CH4 et CO2 émis.

#### **Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux décharges existantes et nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés.**

Les décharges sont divisées en casiers, ceux-ci pour limiter les risques de nuisances et de pollution des eaux souterraines et de surface.

Cette indication introduit une notion indispensable présente dans les décharges, celle de la classification des déchets en catégories et sous catégories. Ainsi le dit arrêté présente ces catégories en annexe I (I et II).

Le biogaz est considéré comme appartenant à la catégorie D renferment les déchets dont le comportement en cas de stockage est fortement évolutif et conduit à la formation de lixiviats chargés et de biogaz par dégradation biologique.

Le dit arrêté impose des prescriptions techniques concernant le biogaz :

- Les casiers de stockage de déchets doivent être équipés de réseaux de drainage des émanations gazeuses de façon à capter de manière optimale le biogaz et le transporter vers une installation de valorisation ou destruction.
- L'exploitant doit installer autour du site un réseau de puits de contrôle dont le nombre ne doit pas être inférieur à trois et dont l'objectif est de définir les conditions hydrogéologiques du site.
- La composition du biogaz doit être contrôlé, en particulier en ce qui concerne la teneur en CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S et H<sub>2</sub>O.
- Lors de la clôture d'un site, les dispositifs de captage et de traitement du biogaz et des lixiviats doivent être suivis et rester protégés des intrusions, et cela pendant au moins cinq ans.

**La circulaire du 11 mars 1987** relative à la mise en décharge contrôlée (CET de résidus urbains) spécifie dans son article 2 un éloignement d'au moins 200m de toute habitation dans le cas d'une implantation.

Cette dite instruction s'applique aux décharges de résidus urbains relevant de la rubrique 322 B-2 des ICPE concernant les ordures ménagères, les déchets d'origine agricole, les boues et les mâchefers

### 2.1.2 Les textes relatifs aux méthaniseurs et installations associées.

Date	Repère	Type	N°	J.O	modifié	Objet
15/03/2000	<a href="#">2.1.2.1</a>	arrêté		22/04/2000		exploitation des équipements sous pression.
13/12/1999	<a href="#">2.1.2.2</a>	décret	99-1046	15/12/1999		Equipements sous pression.
	<a href="#">2.1.2.3</a>	arrêté	208			fabrication de gaz pauvres, gaz de gazogènes.
	<a href="#">2.1.2.4</a>	arrêté	209			gazomètres et réservoirs de gaz comprimés.
02/02/1998	<a href="#">2.1.2.5</a>	arrêté			17/08/98 29/05/00	Prélèvement et consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature relatives aux ICPE à autorisation

#### Définitions.

Le méthaniseur est un réacteur, il en existe de deux type : les réacteurs à cellules « libres » applicables essentiellement aux substrats à teneur élevée en matière solide et les réacteurs à cellules « fixées ».

Le réacteur de méthanisation ou digesteur est le cœur du processus de méthanisation, outre la cuve de fermentation l'installation comprend une régulation de température, un système de mélange et de brassage, une sortie et une entrée du substrat et une sortie de gaz.

## 2.2 Les textes relatifs à la transformation du Biogaz.

### 2.2.1 Rubrique 2920 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement concernant les installations de compression fonctionnant à des pressions effectives supérieures à $10^5$ Pa et notamment les installations de compression de Biogaz.

### 2.2.2 Les textes réglementant la désulfuration et le stockage du soufre.

Le soufre dans le biogaz se retrouve souvent sous forme d'H<sub>2</sub>S et de mercaptans, l'H<sub>2</sub>S est très odoriférant (œuf pourri).

L'H<sub>2</sub>S est le marqueur du biogaz qui permet de détecter facilement les fuites de biogaz en dessous de 10ppm, mais il est potentiellement dangereux s'il est inhalé à plus de 50ppm. Il est le produit incriminé comme gênant dans les installations produisant le biogaz comme les centres d'enfouissements techniques.

De plus, les produits de combustion sont transformés en Oxyde de Soufre qui est le précurseur des pluies acides qui détériorent les sols du Nord et l'Est de l'Europe. Une directive Européenne du ? a limitée les émissions de la France à 246 millions de tonnes dans lesquelles ne sont pas inclus les « biogaz naturels » mais qui concerneront tôt ou tard les biogaz canalisés.

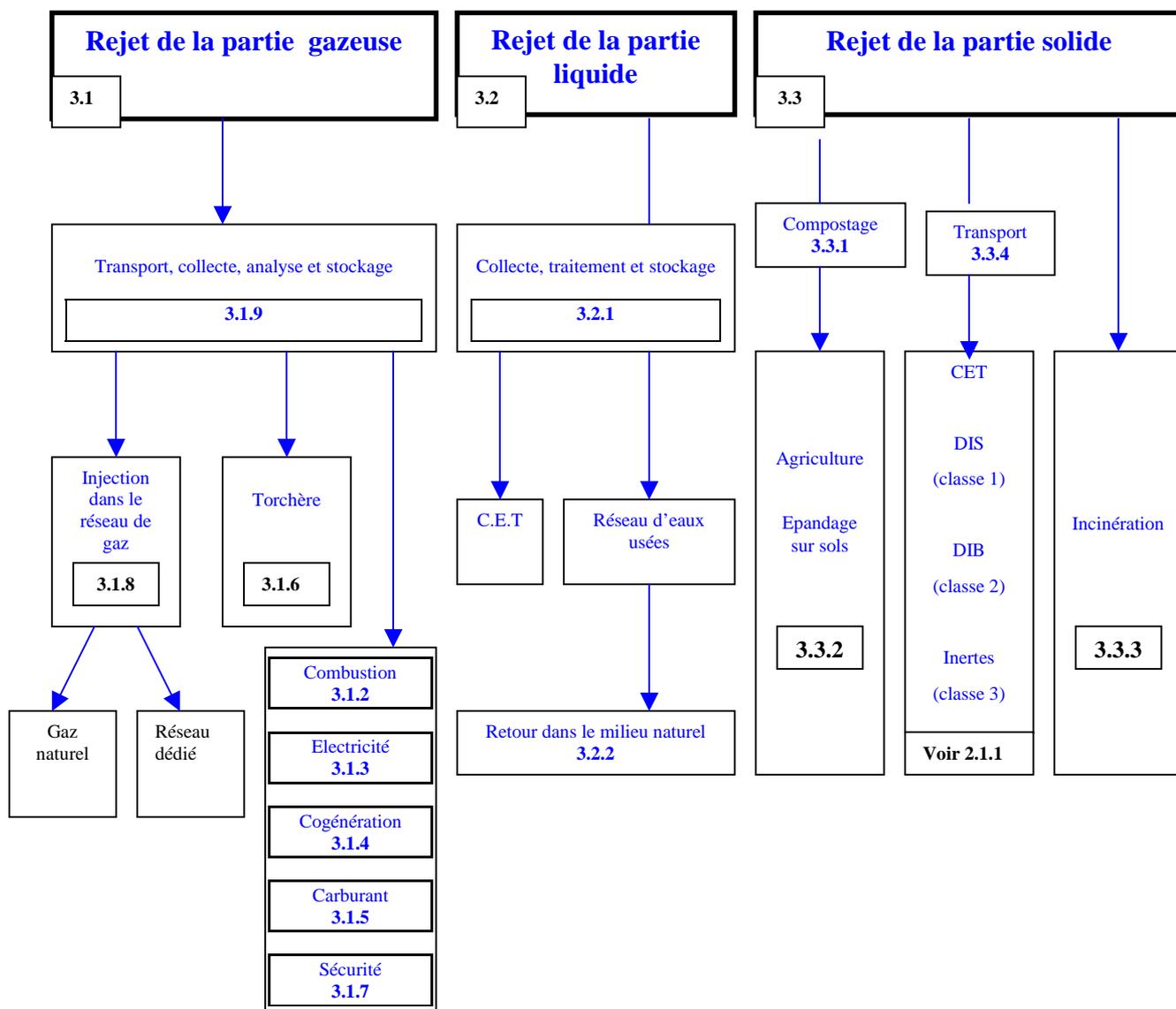
Par ailleurs, les moteurs à turbines de valorisation de l'électricité n'acceptent pas des teneurs supérieurs à 200mg/m<sup>3</sup> de biogaz pour les standards ;cette limite est de 1200mg/m<sup>3</sup> pour certains moteurs spécialement étudiés.

Toutes ces raisons font que la désulfuration des biogaz peut s'avérer souhaitable dans les grosses installations et même exiger dans certain cas par les DRIRE notamment par les installations les plus importantes à proximité des agglomérations.

Diverses techniques sont envisageables mais l'avenir qui évite le rejet dans l'atmosphère du soufre est obscure car pour la plupart de ces techniques une production de soufre natif est présent : le présent chapitre présente justement la réglementation sur son stockage et son utilisation.

### 2.2.3 Rubrique 2260 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement relatif au broyage, concassage, criblage, déchiquetage, ensachage, pulvérisation, trituration, nettoyage, tamisage, blutage, mélange, épluchage et décortication des substances végétales et de tous produits organiques naturels.

### 3 L'UTILISATION DES PRODUITS SORTANTS.



### 3.1 Les textes relatifs à l'utilisation du Biogaz.

#### 3.1.1 Textes généraux non réglementaires.

31/07/2001	<a href="#">3.1.1.1</a>	rapport	Rapport Prévot au premier ministre sur la récupération de l'énergie issue du traitement des déchets.
29/11/2000	<a href="#">3.1.1.2</a>	livre vert	Livre vert de la commission européenne sur la sécurité d'approvisionnement énergétique.

M. Prévot, ingénieur Général des Mines a été chargé par le gouvernement de rédiger un rapport sur la valorisation énergétique des déchets. Ce dossier comporte de nombreux points importants concernant le Biogaz :

- Analyse tournée vers l'effet de l'utilisation du biogaz de décharge pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre.
- Un soutien à la valorisation thermique du biogaz. (voir textes réglementaires cogénération édité par l'ATEE.
- Production d'électricité pour les sites fonctionnant en permanence.
- Opposition marquée à l'exonération totale des TIPP des biogaz carburant.

A court terme, le Livre Vert suggère que l'Union se concentre sur les économies d'énergie et l'amélioration des rendements énergétiques tandis qu'à long terme, il encourage le développement des énergies renouvelables. Le défi est qu'à moyen terme et afin de maintenir une certaine indépendance énergétique, il suggère aux pays membres de s'appuyer sur l'énergie nucléaire et le gaz naturel, ce qui peut porter préjudice au développement effectif des énergies non renouvelables. Or, en 1999, l'étude menée par l'Institut Wuppertal a prouvé qu'en 2050, 90% des besoins énergétiques de l'Europe pourraient être couverts par les énergies renouvelables.

#### 3.1.2 Textes relatifs aux installations de combustion.

RETOUR AU SCHEMA

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
	<a href="#">3.1.2.1</a>	rubrique	2910		Rubrique 2910 des ICPE relative aux installations de combustion.
06/12/2000	<a href="#">3.1.2.2</a>	circulaire			Vesseron définissant le classement des installations valorisant le biogaz de CET.
21/09/1977	<a href="#">3.1.2.3</a>	décret	77-1133	08/10/1977	ICPE.
11/08/1999	<a href="#">3.1.2.5</a>	circulaire			réduction des émissions polluantes des moteurs à turbines à combustion ainsi que les chaudières utilisées en postcombustion soumis à autorisation sous la rubrique 2910 des ICPE.
11/08/1999	<a href="#">3.1.2.4</a>	arrêté		n°281 4/12/1999	réduction des émissions polluantes des moteurs à turbines à combustion ainsi que les chaudières utilisées en postcombustion soumis à autorisation sous la rubrique 2910 des ICPE.
16/09/1998	<a href="#">3.1.2.6</a>	décret	98-833		contrôles périodiques des installations consommant de l'énergie.
11/09/1998	<a href="#">3.1.2.7</a>	décret	98-817		rendements minimaux et équipement des chaudières de puissance comprise entre 400kW et 50MW.
25/07/1997	<a href="#">3.1.2.8</a>	arrêté			prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique 2910 Combustion.
05/01/1995	<a href="#">3.1.2.9</a>	circulaire	95-08		prescriptions applicables aux installations de combustion incinérant des déchets.
27/06/1990	<a href="#">3.1.2.10</a>	arrêté		n°191 19/08/90	limitation des rejets atmosphériques des grandes installations de combustion et aux conditions d'évacuation des rejets des installations de combustion.
13/05/1981	<a href="#">3.1.2.11</a>	décret	81-542		Application des titres Ier, II et III de la loi du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur.
15/07/1980	<a href="#">3.1.2.12</a>	loi	80-531		Economies d'énergie et utilisation de la chaleur. Modifié par la loi sur l'air du 30.12.96
18/12/1977	<a href="#">3.1.2.13</a>	circulaire			installations thermiques.
05/02/1975	<a href="#">3.1.2.14</a>	arrêté		18/02/1975	rendements minimaux des générateurs thermiques.
13/05/1974	<a href="#">3.1.2.15</a>	décret	74-415	15/05/1974	contrôle des émissions polluantes dans l'atmosphère et à certaines utilisations de l'énergie thermique.

Il faut observer deux commentaires :

**Quelles sont les rubriques à appliquer aux installations de Combustion ?**

**Quelle rubrique appliquée aux installations de valorisation de Biogaz ?**

La question reste en suspend avec le ministère de l'environnement.

Une circulaire du 6 décembre 2000 (chapitre 3.1.2.2), donne une réponse provisoire pour les CET.

Si l'exploitant de la valorisation est soumis à autorisation, la DRIRE modifiera l'arrêté d'autorisation d'exploiter du site.

Si l'exploitant n'est pas soumis à autorisation, il devra respecter la rubrique d'ICPE (rubrique n° 2910b soumis à autorisation à partir de 100kW thermique)

Des travaux de recherche sont en cours et le Club Biogaz à bon espoir qu'à terme ces installations seront soumises à la rubrique 2910a des ICPE (déclaration à partir de 2MW).

**Rappel :** La puissance de l'installation qui sert à définir le seuil d'autorisation ou de déclaration est celle de l'ensemble des moyens de combustion de l'installation pouvant avoir une cheminée commune et pouvant fonctionner simultanément.

La combustion du biogaz présente des avantages manifestes pour l'environnement, puisqu'il s'agit pour une bonne part de brûler du méthane qui, non brûlé, constitue un gaz à effet de serre important.

Certains pays européens se sont attachés à construire de vastes installations centralisées de biogaz au cours des dix dernières années et, dans certaines zones de l'Union, un grand nombre de petites installations de biogaz ont été implantées dans les exploitations agricoles. La commission espère qu'un marché se développera pour les deux options.

Le Livre Blanc estimait que la production de biogaz à partir de déjections animales, des effluents agro-industriels, des boues d'épuration et des décharges pouvait atteindre 15 Mtep pour l'an 2010.

Dans le cadre d'une campagne pour le décollage des sources d'énergie renouvelables, la promotion d'installations de biogaz d'une puissance de 1000 MW, représentant environ 15% de la projection globale du Livre Blanc pour 2010, paraît adaptée.

L'article 44 de l'arrêté du 9 septembre 1997 ([chapitre 2.1.1.4](#)) fixe en cas de destruction du biogaz par combustion la fréquence des mesures de poussières et de CO, ainsi que les valeurs limites à ne pas dépasser. Celle-ci devront être compatibles avec les seuils suivants :

- Poussières < 10mg/Nm<sup>3</sup>.
- CO < 150 mg/Nm<sup>3</sup>.

### 3.1.3 Textes relatifs aux installations de production d'électricité à partir de biogaz.

Cette partie ne comporte que les textes concernant directement les énergies non renouvelables ou le biogaz ; pour les textes s'appliquant à tous les producteurs d'électricité on utilisera le Tome 1 du recueil « Textes réglementaire Cogénération ».

Date	Repère	Type	N°	J.O	pages	Objet
	<a href="#">3.1.3.1</a>	rapport				Rapport champsaur sur la tarification des réseaux de transport et de distribution de l'électricité.
03/10/2001	<a href="#">3.1.3.2(1)</a>	arrêté		21/11/2001	18479	Tarifs biogaz de décharge.
02/10/2001	<a href="#">3.1.3.3</a>	arrêté		n°234 09/10/01	15848	limites dans lesquelles certaines installations utilisant certaines énergies renouvelables ou des déchets peuvent utiliser une fraction d'énergie non renouvelable.
07/09/2001	<a href="#">3.1.3.4</a>	directive				électricité à partir d'énergies renouvelables.
21/06/2001	<a href="#">3.1.3.2(2)</a>	Avis Commission Régulation de l'électricité		n°270 21/11/01	18528	conditions d'achat de l'électricité produite par les installations valorisant les déchets ménagers ou assimilés en utilisant le Biogaz de décharge.
08/06/2001	<a href="#">3.1.3.5</a>	arrêté		22/06/2001		tarifs électricité.
10/05/2001	3.1.3.6	décret				conditions d'achat de l'électricité produite par des producteurs bénéficiant de l'obligation d'achat.
06/12/2000	<a href="#">3.1.3.7</a>	décret		09/12/2000		Limites de puissances des installations pouvant bénéficier de l'obligation d'achat d'électricité.
10/02/2000	<a href="#">3.1.3.8</a>	loi	2000-108	n° 35 11/02/2000		modernisation et développement du service public de l'électricité.
19/12/1996	<a href="#">3.1.3.9</a>	directive	96/92/CE			règles communes pour le marché intérieur de l'électricité.
08/04/1946	<a href="#">3.1.3.10</a>	loi	46-628	09/04/1946 rect 18/04/46		nationalisation de l'électricité et du gaz.

La production d'électricité à partir d'énergie non renouvelable devrait atteindre 21% pour la France en 2010.

Une fois déduit le gros hydraulique, et en tenant compte de l'augmentation de la consommation, les énergies non renouvelables devront fournir environ TWhe dont l'essentiel sera fournie par l'éolien. Le biogaz fournira entre 0,5 et 5 TWhe en l'an 2010.

Une installation de production de Biogaz bénéficie de l'obligation d'achat d'électricité dans la limite de 12MW électrique.

Il est possible de stabiliser la flamme de Biogaz avec un combustible fossile dans la limite de 20% si cela est techniquement nécessaire.

On se reportera au Tome 1 du recueil des textes réglementaire Cogénération pour avoir l'ensemble des règles à appliquer.

Les tarifs électricité à partir du biogaz de décharge sont définis au texte [3.1.3.2](#), on attend pour 2002 le texte concernant le Biogaz de méthanisation.

Les clauses de contrat pour le biogaz de décharge ne sont pas encore soumises à consultation. Le Club Biogaz est attentif aux discussions en cours pour les autres énergies.

### 3.1.4 Textes relatifs à la cogénération.

Voir Recueil des textes réglementaires Cogénération édité par l'ATEE).

### 3.1.5 Textes relatifs à la production de carburant.

Date	Repère	type	J.O	Page	Objet
25/06/2001	<a href="#">3.1.5.1</a>	arrêté	n°165 19/07/01	11630	réglementation des conditions d'équipement, de surveillance, et d'exploitation de gaz carburant comprimé équipant les véhicules automobiles.
05/05/1993	<a href="#">3.1.5.2</a>	arrêté	n°112 du 15/05/93		distributeurs de gaz liquéfiés destinés à être utilisés comme carburant.

Le méthane, hydrocarbure élémentaire, explique dans sa configuration que sa combustion ne peut générer que du CO<sub>2</sub>, du CO et du méthane imbrûlé.

Le méthane utilisé comme carburant est comprimé généralement autour de 200 bars (limite légale en France), de façon à réduire l'encombrement du stockage. Mais sous cette pression, le volume nécessaire est encore 5 fois plus élevé que pour un carburant liquide, ce qui constitue un handicap.

La différence significative est que le réservoir ne contient que du gaz, alors que les réservoirs de carburants liquides contiennent un mélange de carburant et d'air, donc un mélange inflammable et explosif.

Autre atout, toujours sur des aspects environnementaux : la réduction du bruit, la réduction de la consommation d'huile

**3.1.6 Textes relatifs à la Torchère et aux émissions de Biogaz dans l'atmosphère.**

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
25/05/2001	<a href="#">3.1.6.1</a>	décret	2001-449	n°122 27/05/01	plans de protection de l'atmosphère et aux mesures pour réduire les émissions des sources de pollution atmosphérique.
04/09/1986	<a href="#">3.1.6.2</a>	arrêté		29/11/1986	réduction des émissions atmosphériques d'hydrocarbures provenant des activités de stockage.
09/09/1997	<a href="#">Voir chapitre 2.1.1.4</a>	arrêté			décharges existantes et nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés. Articles 19, 44 et 49 uniquement.
	2.1.1.17	directive			EPER (registre européen des émissions de polluants), déclaration des émissions de CH4 et CO2.

- ✓ Un [arrêté du 9 septembre 1997](#) impose que la collecte et la mise en torchère du Biogaz valorisé n'est obligatoire réglementairement que dans le cas des Centre d'Enfouissement Technique (CET ) de classe 2. Néanmoins dans le cadre de la lutte contre la pollution on peut estimer que les règles de l'art imposent d'avoir une torchère pour brûler le Biogaz en excès si il est permanent : cette torchère devrait respecter les normes d'émissions dans l'atmosphère relatives aux CET de classe 2.
- ✓ Dans le cas où le biogaz n'est pas émis à l'atmosphère en dehors des périodes de maintenance, l'installation d'une torchère est à décider au cas par cas.
- ✓ Le Biogaz étant 21 fois plus polluant et actif que le CO2 vis à vis de l'effet de serre, les installations de méthanisation et CET doivent être le plus étanche possible.

**3.1.7 Textes relatifs à la sécurité des installations.**

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
13/07/2000	<a href="#">3.1.7.1</a>	arrêté		n°192 20/08/2000	règlement de sécurité de la distribution de gaz combustible par canalisations.
21/12/1999	<a href="#">3.1.7.2</a>	arrêté		22/12/1999	classification et évaluation de la conformité des équipements sous pression.
21/06/1996	<a href="#">3.1.7.3</a> <a href="#">3.2.1.1</a>	arrêté		09/08/1996	prescriptions techniques relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées.
24/09/1996	<a href="#">3.1.7.4</a>	directive	96/61/CE	n°L 257 10/10/96	prévention et réduction intégrée de la pollution.
29/07/1992	<a href="#">3.1.7.5</a>	décret	92-768		relatif aux règles techniques et aux procédures de certification de conformité applicables aux équipements de protection individuelle visés à l'article R.233-83-3 du code du travail.
31/03/1980	<a href="#">3.1.7.6</a>	Arrêté		30/04/80	Installations électriques présentant des risques d'explosion.
02/08/1977	<a href="#">3.1.7.7</a>	Arrêté		10/12/93	Modifié par décret du 28 octobre 1993 relatif au règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustible et d'hydrocarbures situées à l'intérieur des bâtiments.

### **3.1.8 Réinjection du biogaz dans le réseau de gaz naturel.**

Dans différents pays, certains Biogaz sont réinjectés dans le réseau de gaz naturel après une épuration plus ou moins poussée.

En France, aucun texte réglementaire ne l'interdit, mais les textes existants sur la composition des gaz transportables dans les canalisations de Gaz naturel ont été définis dans un autre contexte, ainsi ils n'évoquaient pas à l'époque les éléments traces que l'on retrouve dans le Biogaz.

Une installation sur la décharge de Montech a été installée en 1999 et n'a jamais reçu l'autorisation de réinjecter le Biogaz dans le réseau de gaz naturel. En effet, un avis du Conseil de Sécurité des installations publiques a interdit la réinjection de ce Biogaz dans le réseau de gaz naturel sans des études préalables et complémentaires.

Néanmoins, cette décision et [les conclusions du rapport Prévot](#) ne préjugent pas de la possibilité de réinjecter le Biogaz provenant de méthaniseur, ces derniers de compositions plus stables que ceux provenant d'un CET. Ils y seraient même plutôt favorables.

Enfin, nous ne pouvons que conseiller à toute personne qui souhaiterait réinjecter le Biogaz dans le réseau de gaz naturel d'y aller avec une extrême prudence ; le Club Biogaz estime que ce sujet est du ressort d'une décision et d'une recherche au niveau Européen.

### 3.1.9 Transport et stockage du biogaz (ou autres gaz).

DATE	Repère	type	J.O	Objet	modifié	J.O
	<a href="#">3.1.9.1</a>	rubriques		1410 et 1411 des ICPE – fabrication et stockage en gazomètres et réservoirs de gaz comprimés.		
11/05/1970	<a href="#">3.1.9.2</a>	arrêté	02/06/1970	sécurité des ouvrages de transport de gaz combustible par canalisation.	03/08/1977 03/03/1980	19/08/77 27/03/80

Les canalisations habituelles rencontrées sont en matériaux très divers. Cela va des aciers au PVC souple ou rigide et au polyéthylène.

Dans les installations de biogaz sur fumier l'arrêté du 11 mai 1970 impose des installations et des raccordements extrêmement étanches et c'est donc le PVC et le polyéthylène qui sont le plus souvent utilisés.

Mais la présence de l'H<sub>2</sub>S et du CO<sub>2</sub> impose des contraintes au niveau des circuits de gaz et du stockage (cf chapitre 2.2.2 concernant le soufre).

#### **Le stockage du biogaz.**

Ainsi la rubrique 1411 des installations classées pour la protection de l'environnement concernant les gazomètres et réservoirs de gaz comprimés impose une quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation. De sorte que toute installation contenant une quantité de gaz supérieure ou égale à 10 tonne est soumise à autorisation.

Il existe deux type de stockage, à volume constant et pression variable et à volume variable et pression constante. Le dernier mode de stockage est évidemment le plus utilisé car plus efficace et moins chère.

Le stockage du biogaz est un procédé à éviter, car dangereux, les prescriptions relatives aux risques liés aux installations sous pressions sont contraignantes et coûteuses.

On aura donc plus intérêt à utiliser le biogaz dès qu'il est produit pour ainsi limiter les coûts et les contraintes de stockage et ainsi lisser la production ou la consommation.

#### **Le transport du biogaz.**

[L'arrêté ministériel du 11 mai 1970](#) relatif au règlement de sécurité des ouvrages de transport de gaz par canalisation intègre toutes les prescriptions concernant les circuits de gaz et le transfert, les compresseurs sont exclus.

Le dit arrêté ne concerne que le transport de gaz combustible mais peut s'avérer un outil utile pour appliquer au mieux les règles de sécurité au biogaz.

Cependant l'arrêté ne s'applique que si les conditions suivantes sont respectées :

- ✓ Matériau tubulaire en acier sans carbone ou faiblement allié, sans soudure.
- ✓ La pression effective du gaz au moins égale à 4 bars.
- ✓ Gaz transporté non corrosif. (le biogaz brute n'en fait pas partie).
- ✓ La température du gaz ne doit pas dépasser 100°C.

La corrosion est un facteur indispensable à prendre en compte car de nombreuses canalisations sont en acier et l'oxydation peut provoquer des réactions de précipitation avec le biogaz et ainsi obstruer les canalisations.

Ainsi le choix du matériau constitutif des canalisations de transfert du biogaz est prépondérant et devra être choisi en fonction de la localisation du réseau et du degré d'épuration du gaz.

### 3.2 Les textes relatifs au rejet de la partie liquide.

#### 3.2.1 La collecte, le traitement et le transport.

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
21/06/1996	<a href="#">3.2.1.1</a>	arrêté		09/08/1996	prescriptions techniques relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées.
21/04/1989	<a href="#">3.2.1.2</a>	arrêté		25/05/1989	sécurité pour les pipelines à hydrocarbures liquides ou liquéfiés.
29/06/1965	<a href="#">3.2.1.3</a>	loi	65-498		transport des produits chimiques par canalisations.

**3.2.2 Le renvoi de la partie liquide vers le milieu naturel.**

<b>Date</b>	<b>Repère</b>	<b>type</b>	<b>N° J.O</b>	<b>Objet</b>
25/04/1995	<a href="#">3.2.2.1</a>	arrêté	n°112 du 13/05/1993	prélèvements et consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des ICPE soumises à autorisation.

### 3.3 Les textes relatifs à l'utilisation de la partie solide.

#### 3.3.1 Textes relatifs au compostage.

Date	Repère	Type	Objet
28/06/2001	<a href="#">3.3.1.1</a>	circulaire	valorisation biologique par compostage ou méthanisation.
05/01/2000	<a href="#">3.3.1.2</a>	circulaire	ICPE, classement des installations de compostage et des points d'apport volontaire des déchets ménagers triés.

#### Quelques définitions.

Le compostage est une technique de traitement des pollutions liés dans ce cas au rejet de la fraction solide du biogaz après méthanisation.

Sa destination est essentiellement l'épandage sur sols agricoles (chapitre 3.3.2).

C'est une technique de traitement biologique aérobie, elle repose sur une fermentation aérobie ; soit à des fins de réduction des nuisances olfactives, soit à des fins d'épuration.

Les essais de compostage des déchets solides provenant du biogaz permettent maintenant des rendements d'épuration remarquables de 98 à 99% de la DCO).

Ce processus aérobie s'accompagne de la formation de boues en excès « boues activées », cette biomasse peut être valorisée mais doit être surtout stockée et comprise dans les plans de construction de l'établissement réalisant le compostage.

[La circulaire du 28 juin 2001](#) revisite le problème de la réduction des déchets et de leur nocivité, ainsi elle rappelle les priorités de la [loi du 13 juillet 1992](#) quant à l'objectif national voulant éliminer la moitié de nos déchets par une valorisation, traitement ou épandage.

Mais l'objectif est grand et si l'on assure qu'une récupération des déchets d'emballages, de journaux ou des courriers... on ne pourra que régresser.

La solution est donc la valorisation biologique par compostage ou méthanisation.

La circulaire définit alors trois principes fondamentaux à prendre en compte :

- ✓ La qualité des amendements et des fertilisants organiques conçus à partir de compost doit être irréprochable.
- ✓ Intégrer la valorisation biologique dans un système durable de gestion des déchets adapté à chaque territoire.
- ✓ Accompagner les personnes de façon à informer et sensibiliser pour une meilleure compréhension de l'activité au niveau rural.

[Une circulaire du 5 janvier 2000](#) s'intéresse au classement des installations de compostage de déchets : ces installations peuvent être rangées dans deux catégories de rubriques des installations classées pour la protection de l'environnement :

- ✓ Rubrique 2170 relative à la fabrication des engrais à partir de matières organiques.
- ✓ [Rubrique 322](#) relative au stockage et traitement des ordures ménagères.

En résumé, la rubrique à appliquer en ce qui concerne les installations de compostage de déchets à partir de biogaz est la rubrique 2170 qui se charge de classer les installations de compostage de :

- ✓ Matière organique animale.
- ✓ Matière organique végétale.
- ✓ Les boues de stations d'épuration.
- ✓ La fraction fermentescible des ordures ménagères ([chapitre 1.1](#)).

Et lorsque la capacité de production est supérieure ou égale à 10 t/j l'installation est soumise à autorisation.

### 3.3.2 Textes relatifs à l'épandage sur sols agricoles.

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
10/01/2001	<a href="#">3.3.2.1</a>	décret	2001-34		programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.
03/04/2000	<a href="#">3.3.2.2</a>	arrêté		17/06/2000	industrie papetière.
16/03/1999	<a href="#">3.3.2.3</a>	circulaire			Epandage des boues de stations d'épuration des eaux urbaines.
02/02/1998	<a href="#">3.3.2.4</a>	arrêté			prélèvements et consommation d'eau et émissions de toute nature des ICPE soumises à autorisation.
08/01/1998	<a href="#">3.3.2.5</a>	arrêté		n°26 31/01/1988	épandage des boues sur sols agricoles.
08/12/1997	<a href="#">3.3.2.6</a>	décret	97-1133	n°286 10/12/1997	épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
12/06/1996	<a href="#">3.3.2.7</a>	décret	96-540	n°141 19/06/1996	déversement et épandage des effluents d'exploitations agricoles.
22/11/1993	<a href="#">3.3.2.8</a>	arrêté		05/01/1994	Code des bonnes pratiques agricoles (épandage et conditions d'élevage...)
28/10/1975	<a href="#">3.3.2.9</a>	décret	75-996	30/10/1975	art 3, 5, 6, 10, 11 et 15 relatifs à certaines dispositions transitoires applicables aux exploitations d'élevage.
		NF X44051			Normes sur les amendements agricoles.

Une des valorisation du biogaz les plus utilisée, l'épandage permet une récupération de la partie solide souvent produit par les bâtiments d'élevage.

On entend par « épandage » toute application de déchets ou effluents sur ou dans les sols agricoles.

Il faut savoir que seuls les déchets ou les effluents ayant un intérêt pour les sols ou pour la nutrition des cultures peuvent être épandus, en aucun cas il ne peut être épandus des déchets ou effluents ayant un impact direct ou indirect sur l'homme et l'environnement.

[Un décret du 10 janvier 2001](#) relatif à la protection des eaux contre les nitrates d'origine agricole impose quelques prescriptions techniques concernant l'épandage sur sols.

Il fixe notamment dans son Titre XII les prescriptions relative à la pollution des eaux et l'épandage (partie 3 du titre XII et annexe VI(b)). Cette partie traite plus en profondeur les rejets dans les eaux superficielles des effluents ainsi que les conditions de raccordements à une station d'épuration collective mais certaines prescriptions sont à respecter :

- ✓ Les zones géographiques (relief, conditions atmosphériques, composition chimique et biochimique du sol).
- ✓ Les distances et délais minima (tableau VI(b) de l'annexe p 38).
- ✓ Un cahier d'épandage indiquant les quantités d'éléments fertilisants et les substances indésirables.

[Un arrêté du 2 février 1998](#) dit Barthélemy relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau renseigne dans une section 4 (articles 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42), les prescriptions relatives à l'épandage des effluents et boues résiduares.

Ainsi l'arrêté d'autorisation reprend les prescriptions déjà énoncés par le [code des bonnes pratiques agricoles du 22 novembre 1993 \(chapitre 3.3.2.8\)](#) et celles énoncées précédemment dans le commentaire du décret du 10 janvier 2001 tout en définissant dans son annexe VII les valeurs limites de composition des sols d'épandage (page 33).

Concernant les distances à respecter lors d'un épandage, un arrêté du 24 janvier 2001 nous rappelle que la distance minimale entre la zone d'épandage et le tiers est de 100m, mais la méthanisation désormais permet de traiter non seulement les odeurs mais réduit également la distance minimale de 100m à 50m.

Ainsi dans le cas d'habitats dispersés, cela permet d'augmenter considérablement les surfaces servant à l'épandage et améliorer ainsi les relations de voisinage.

En conclusion, l'épandage sur sols est une bonne solution de valorisation du biogaz en agriculture à partir des déjections animales et effluents d'élevage. De nombreuses prescriptions relatives à la qualité et à la surveillance des boues résiduelles et effluents sont à prendre en compte malgré tout : il ne s'agit pas d'épandre ses déchets sans études géographiques et biochimiques du sol. Les décrets du [8 décembre 1997](#) et [12 juin 1996](#) renseignent précisément sur les conditions de qualité et de rejets des effluents de manière à ce que l'épandage reste un outil de développement durable et non pas un simple rejet dans notre environnement.

Enfin la norme NF 44051 sur les amendements agricoles est en cours de révision et définira les caractéristiques obligatoires des amendements organiques dont les digestats pourront être un des éléments les composants.

### 3.3.3 Textes réglementant les installations d'incinération.

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
04/12/2000	<a href="#">3.3.3.1</a>	directive	2000/76/CE		Incinération des déchets.
26/08/1998	<a href="#">3.3.3.2</a>	circulaire			usines d'incinération d'ordures ménagères d'une capacité supérieure à 6 tonnes par heure.
10/10/1996	<a href="#">3.3.3.3</a>	arrêté		n°242 16/10/1996	installations spécialisées d'incinération et aux installations de coï ncinération de certains déchets industriels spéciaux.
10/01/1996	<a href="#">3.3.3.4</a>	circulaire			résidus d'incinération des déchets ménagers et assimilés dans des fours à lits fluidisés.
16/12/1994	<a href="#">3.3.3.5</a>	directive	94/67/CE	n° L 365 31/12/94	incinération de déchets dangereux.
09/05/1994	<a href="#">3.3.3.6</a>	circulaire	94-VI-1		élimination des mâchefers d'incinération des résidus urbains.
25/01/1991	<a href="#">3.3.3.7</a>	arrêté		08/03/1991	incinération de résidus urbains.
23/08/1989	<a href="#">3.3.3.8</a>	arrêté		08/11/1989	incinération de déchets contaminés dans une usine d'incinération de résidus urbains.

#### Quelques définitions.

Les installations d'incinération sont « (...) tout équipement ou unité technique fixe ou mobile destiné spécifiquement au traitement thermique des déchets, avec ou sans récupération de la chaleur produite par la combustion... (...), incinération par oxydation ou tout autre procédé de traitement thermique, tel que la pyrolyse, la gazéification ou le traitement plasmatique, dans la mesure où les substances qui en résultent sont ensuite incinérées ».

Les installations de coï ncinération sont des installations fixes ou mobiles dont l'objectif essentiel est de produire de l'énergie, elles utilisent des déchets comme combustible et renferment des déchets soumis à un traitement thermique en vue de leur élimination.

Les valeurs limites d'émission sont la masse, exprimée en fonction des certains paramètres spécifiques, la concentration et/ou le niveau des émission, à ne pas dépasser au cours d'une ou plusieurs périodes données.

#### Quelques rappels.

L'incinération des déchets est un procédé de combustion exothermique (produit de la chaleur en excès) permettant de brûler les déchets et ainsi réduire les quantités importantes destinées à l'enfouissement.

La technique employée aujourd'hui est la combustion dans des fours spécialisés. Mais cette technique bien qu'efficace en matière de rendement (90% d'élimination du volume de déchets) ne s'avère pas encore totalement écologique du point de vue des rejets et la réglementation en matière d'émission de fumées dans l'atmosphère est stricte.

Chaque four est différent mais l'enjeu est le même : réussir à améliorer le rendement thermique tout en recherchant la meilleure qualité des rejets vers l'atmosphère.

En France une nouvelle technique vient de voir le jour, la thermolyse propose un procédé de réduction du poids des déchets tout en limitant au maximum les rejets polluants dans l'air, cette technique nécessite un pré-traitement et peut être couplée à une unité de combustion.

Mais le coût de l'installation est élevée.

Ainsi les impacts sur l'environnement sont inquiétants si les installations d'incinération sont dépourvues d'équipements d'épuration du gaz de combustion et de traitements des résidus (cendres et mâchefers).

Il y a un traitement obligatoire des fumées, donc un traitement complémentaire des eaux est à envisager.

Les objectifs fixés par la réglementation sont retranscrits en détails dans une directive du [28 décembre 2000](#) fixant les moyens de prévention et de limitation des effets négatifs de l'incinération.

Elle regroupe le site d'incinération et l'ensemble des installations de réception, stockage et traitement des déchets, les systèmes d'alimentation, les chaudières, la cheminée, les procédés de traitement des eaux usées.

### Arrêté du 25 janvier 1991 relatif aux installations d'incinération de résidus urbains.

Cet arrêté regroupe toutes les prescriptions réglementaires relatives aux installations d'incinération de résidus urbains, les règles s'appliquent aux installations relevant de la rubrique 322B de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

En résumé, il est important dans le cas d'une incinération du biogaz de collecter au mieux ce gaz et traité ce déchet dès son arrivée à l'usine sur des aires étanches ou en fosses.

Les fours d'incinération doivent respecter les normes de températures et de sécurité afin qu'aucunes fuites et pertes ne peuvent nuire à l'environnement.

Les installations doivent également respecter les distances vis à vis du voisinage pour éviter les effets olfactifs néfastes.

Enfin, le rejet des gaz de combustion doit être fait de manière contrôlé selon la norme X44052 fixant les dispositions à prendre pour la mesure du débit de gaz et de la concentration en poussières.

#### **Les rejets des installations dans l'air.**

La réglementation impose des valeurs limites d'émissions dans l'air, voir annexe V de la directive du 28 décembre 2000.

Certaines dérogations peuvent être accordées pour l'émission du NOx dans le cas des installations d'incinération existantes.

Ces valeurs sont différentes en fonction des capacités nominales des usines, par exemple la circulaire du 26 août 1998 intègre la notion de production de dioxine et furannes dans l'atmosphère pour les usines d'incinération d'ordures ménagères d'une capacité supérieure à 6 tonnes par heure ([chapitre 3.3.3.2](#)).

#### **L'élimination des imbrûlés.**

Dans chaque installation d'incinération une fraction ne peut être éliminée, les mâchefers et les cendres en sont l'exemple le plus probant :

[Une circulaire du 9 mai 1994](#) fixe les règles d'élimination de ces déchets ou leur valorisation en matériau pour remblai.

**3.3.4 Textes réglementant le transport de la partie solide.**

Date	Repère	Type	J.O	Objet
06/12/1982	<a href="#">3.3.4.1</a>	arrêté		canalisations de transport de fluides sous pression autres que les hydrocarbures et le gaz combustible.
01/06/2001	<a href="#">3.3.4.2</a>	arrêté	30/06/2001	transport de marchandises dangereuses par route. (ADR).

#### 4 LES TEXTES RELATIFS A LA FISCALITE ET AU FINANCEMENT.

Date	Repère	Type	N°	J.O	Objet
14/06/2001	<a href="#">4.1.1.1</a>	arrêté		n°139 17/06/2001	matériels destinés à économiser l'énergie et aux équipements de production d'ER pouvant bénéficier d'un amortissement dégressif ou exceptionnel.
11/05/2000	<a href="#">4.1.1.2</a>	décret	2000-404	14/05/2000	rapport annuel sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets.
11/04/2000	<a href="#">4.1.1.3</a>	arrêté		n°93 19/04/2000	taxe générale sur les activités polluantes.
17/06/1999	<a href="#">4.1.1.4</a>	décret	99-508	n°141 20/06/1999	taxe générale sur les activités polluantes.
12/05/1999	<a href="#">4.1.1.11</a>	instruction			TVA aux prestations de collecte et de tri sélectifs des déchets ménagers et assimilés et aux prestations de traitement de ces déchets.
18/11/1998	<a href="#">4.1.1.5</a>	décret	98-1043	19/11/1998	liste des activités soumises à la perception de la redevance annuelle applicable à certaines ICPE.
07/10/1998	<a href="#">4.1.1.9</a>	instruction			TVA champ d'application déchetteries et usines d'incinération des ordures ménagères.
25/02/1998	<a href="#">4.1.1.6</a>	arrêté		25/03/1998	fixe le montant du prélèvement de l'ADEME sur le produit de la taxe sur le traitement et le stockage de déchets.
18/09/1995	<a href="#">4.1.1.7</a>	décret	95-1027	19/09/1995	taxe sur le traitement et le stockage de déchets.
13/02/1991	<a href="#">4.1.1.8</a>	circulaire	B-1B-015		Recours au crédit-bail pour le financement des équipements économisant l'énergie.
	<a href="#">4.1.1.10</a>	avis	Art 1518 A		réduction de la taxe professionnelle des installations de cogénération amorties en un an.
<a href="#">4.1.1.12(1)</a>	<a href="#">4.1.1.12(2)</a>	code			articles 39AA et 39AB du code général des impôts.

## PUBLICATIONS DE REFERENCE

- ADEME, 1994, “Filière tannerie-mégisserie : sous-produits et déchets quels gisements ?”, ISBN 2-86817-094-3
- ADEME Editions, 1997, “Analyse et caractérisation des déchets industriels”, ISBN 2-86817-117-6
- ADEME Editions, 1998, “Déchets industriels banals quel tonnage”, ISBN 2-86817-277-6
- ADEME Editions, 2001, “Biodéchets : Retours d’expériences – Les journées Européennes Qualorg – Palais des Congrès d’Arcachon – Bordeaux 10 et 11 octobre 2001”, ISBN 2-86817-633-X
- ADEME Editions, 2001, “Industrie papetière française : gestion et traitement des déchets”, ISBN 2-86817-596-1
- A.F.M. Van Velsen – W. H. Verstraete, Belgium September 2-6 2001, “Anaerobic digestion 2001 – 9 th World Congress – Part. 1 ”, ISBN 90-76019-16-9
- A.F.M. Van Velsen – W. H. Verstraete, Belgium September 2-6 2001, “Anaerobic digestion 2001 – 9 th World Congress – Part. 2 ”, ISBN 90-76019-16-9
- Agence de l’Eau Adour Garonne et Solagro, 2001, “ La digestion anaérobie des boues urbaines ”
- Mata-Alvarez J. (University of Barcelona) – A. Tilche (Joint Research Centre of the European Commission – F. Cecchi (University of Verona) - Barcelona 15 – 17 June 1999, “II International symposium on anaerobic digestion of solid waste ”, Deposito Legal B -24.380-1999
- SOLAGRO Edition, 2000, “ La méthanisation des déchets ménagers et assimilés ”, ISBN 2-9509837-1-5
- SOLAGRO Edition, 2001, “ La valorisation du biogaz en Europe ”, ISBN 2-9509837-3-1
- Moletta R. - Coordonnateur, TEC & DOC Editions, 2002, “ Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires ”, ISBN 2-7430-0461-4