



RE.CO.R.D.

ETUDE N° 01-0221/1A et 01-0408/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

TRAITEMENT DES DECHETS ORGANIQUES - ETAT DE L'ART
- 01-0221/1A : TRAITEMENTS THERMIQUES DES DECHETS ORGANIQUES
- 01-0408/1A : METHANISATION DES DECHETS ORGANIQUES

février 2003

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

Auteur : M.BOTTREAU (HOO) – F.CANSELL (ICMCB)

Contrat RECORD – HOO n° 01-0221/1A

Note de synthèse sur les rapports :

« Gisement des déchets en France »

« Traitements Thermiques des déchets organiques :

Etat de l'art »

La première partie de cette étude nommée « Gisement des déchets en France » est consacrée à l'évaluation du marché des déchets en France. Il regroupe les grandes familles de déchets.

Les déchets municipaux (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 composés des déchets industriels inertes (déblais et produits de démolition), des déchets industriels banals (DIB) qui ont les mêmes caractéristiques que les ordures ménagères et des déchets dangereux. 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 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.

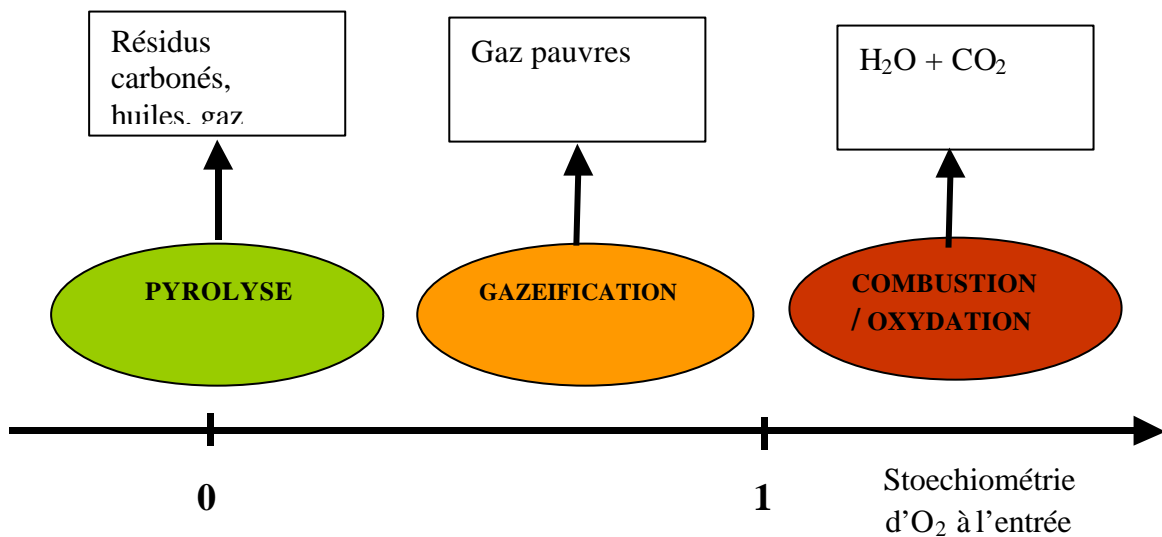
En ce qui concerne l'évolution de ce gisement si on prend le cas par exemple des déchets municipaux, en 25 ans, la quantité de déchets ménagers reçus par les installations collectives de traitement a triplé. Cette augmentation s'accompagne, ces dernières années, d'une diversification des modes de traitement tels que le 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.

Remarque : La 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, 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.

La deuxième partie de cette étude est consacrée à l'évaluation technico-économique des procédés de traitements thermiques à l'exception de l'incinération.

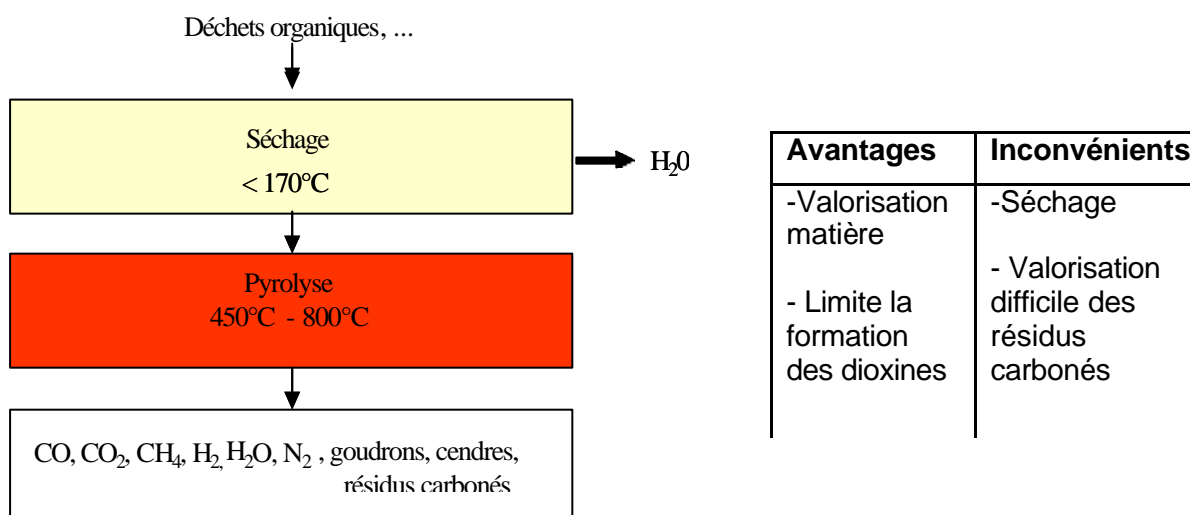
Ce rapport est consacré aux procédés de traitement thermique suivants : **la pyrolyse, la pyrolyse-gazéification et l'oxydation hydrothermale**. Ces procédés sont commercialisés pour des types de déchets bien spécifiques. Les procédés de pyrolyse et gazéification ciblent plutôt les déchets solides organiques, alors que l'oxydation hydrothermale cible les déchets aqueux contenant une charge organique. Les procédés de pyrolyse décomposent des molécules organiques en absence d'oxygène. La gazéification réalise cette décomposition des solides ou des liquides organiques en contrôlant la quantité d'oxygène en entrée du procédé. L'oxydation hydrothermale quant à elle oxyde, en phase condensée, un effluent aqueux chargé en organique. Le positionnement de ces trois procédés, en fonction de la quantité d'oxygène mise en oeuvre est reporté sur le schéma ci-dessous.



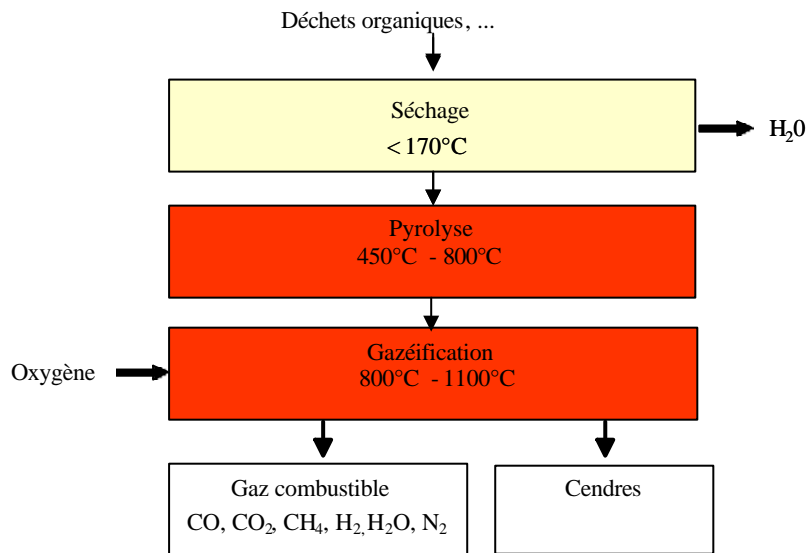
Les procédés de pyrolyse, de pyrolyse-gazéification et d'oxydation hydrothermale n'ont pas l'ambition de supplanter l'incinération mais de se positionner sur un certain nombre d'applications pour lesquelles ils sont plus performants tant d'un point de vue technique qu'environnementale. Les spécifications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

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. La matière organique est décomposée 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 cendreux.

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.



La gazéification a pour objet la conversion totale de la charge organique en gaz combustible. Cette conversion est réalisée par décomposition de la matière organique 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]. 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. 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 et couplées à des centrales thermiques à charbon ou à gaz.

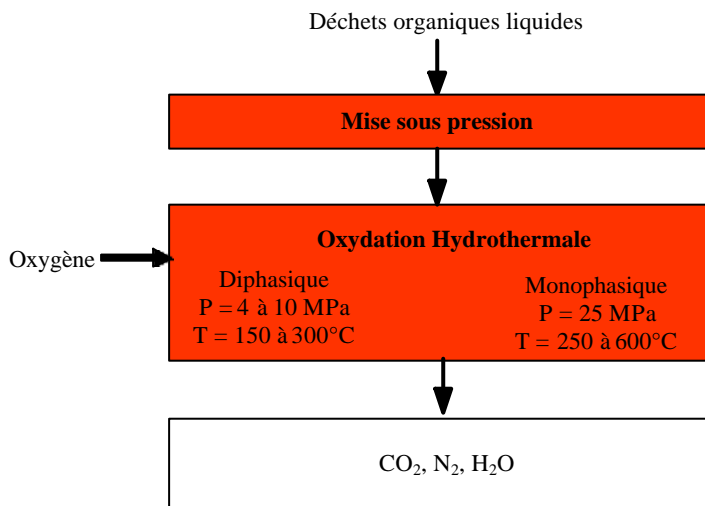


Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Valorisation énergétique (gaz pauvre mais valorisable) - Peut être couplé à une centrale de génération électrique 	<ul style="list-style-type: none"> - Séchage - Impuretés dans les gaz produits. Post traitement des gaz brûlés

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 :

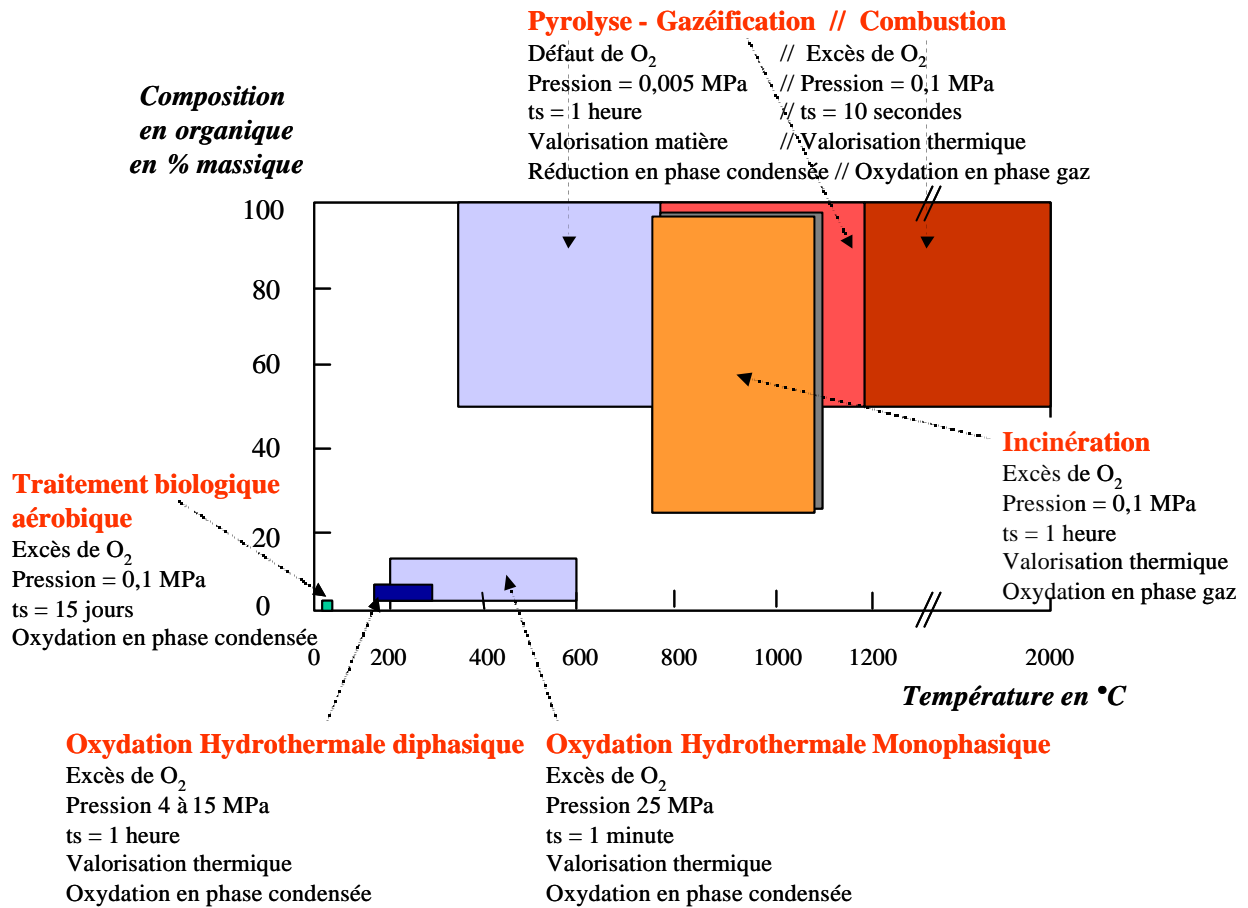
- 1) L'oxydation hydrothermale diphasique ($P < 15 \text{ MPa}$ et $T < 300^\circ\text{C}$). Dans ces conditions, le mélange eau-oxygène est diphasique (équilibre gaz-liquide).
- 2) L'oxydation hydrothermale monophasique ($P \approx 25 \text{ MPa}$ et $200^\circ\text{C} < T < 600^\circ\text{C}$). Dans ces conditions, le mélange eau-oxygène est homogène.

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. 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.



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Traitement en phase liquide (pas de post traitement des fumées) - Liquide rejetable en milieu naturel - Valorisation énergétique (utilités vapeur) 	<ul style="list-style-type: none"> - Tenue des matériaux à la corrosion

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 aérobique. 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.



Auteur : R. Moletta

Note de synthèse du rapport :

Etude bibliographique sur la méthanisation des déchets organiques

**LBE INRA
Avenue des étangs
11100 Narbonne**

**Association RECORD
Contrat N° 01-0408/1A**

Juin

2002

Ce rapport est un état de l'art de la méthanisation des déchets. Il traite de la mise en œuvre de la méthanisation, de la digestion des boues, des déchets municipaux et des déchets agricoles. Une partie est relative aux aspects environnementaux et la dernière partie porte sur la législation française actuelle.

1. La digestion anaérobie et sa mise en œuvre

La digestion anaérobie (ou méthanisation) est la transformation de la matière organique en méthane et gaz carbonique principalement, par une communauté microbienne fonctionnant en anaérobiose.

Elle est appliquée au traitement des déchets organiques d'origines diverses comme les boues des stations d'épuration, la fraction organique des ordures ménagères, les déchets industriels, les déchets agricoles. Cette transformation se traduit par la production d'un biogaz (avec environ 60% de méthane et 40% de gaz carbonique) et d'un digestat qui est composté.

La mise en œuvre de cette transformation biologique peut être réalisée sous différentes conditions :

- En une étape ou deux étapes
- En continue ou en discontinue
- A des températures mésophiles ou thermophiles
- A des teneurs en matières sèches inférieures à 20% (fermentations humides) ou entre 20 et 50 % (fermentations sèches)

La méthanisation des déchets subit un très fort développement en Europe puisque, de 2000 à 2002, la capacité de traitement est passée de 1 037 000 t/an à 648 000 t/an.

Les substrats utilisés sont soit d'une seule origine (ordures ménagères, déchets agricoles), soit d'origines multiples avec l'addition aux ordures ménagères de déchets industriels, de boues de station d'épuration urbaines.... Le tri à la source (avec une production de biodéchets et de déchets gris) est un élément favorisant le traitement biologique des déchets et notamment la méthanisation.

2. La digestion anaérobie des boues de Stations d'épurations urbaines

La digestion anaérobie des boues est une méthode efficace pour diminuer les volumes à traiter.

En France la production de boues de station d'épuration urbaine (Step) représente 850 000 tonnes de matière sèche par an. C'est donc environ 9 millions de tonnes de boues brutes qu'il faut éliminer.

La méthanisation des boues se fait à des charges organiques qui vont de 1 à 5 kg de Matière Volatile (MV) par m³ de réacteur et par jour et avec des temps de séjour de 15 à 25 jours. La production de biogaz est de 140 à 220 m³ par tonne de matière sèche introduite.

Si en Europe 60 % des boues de Step sont méthanisés, en France seul 30 % le sont, ce qui ne correspond qu'au traitement de stations connectées à 20 millions d'habitants. La méthanisation permet donc de traiter 283 000 t de boues par an (exprimé en MS) et d'en éliminer donc 113 000 tonnes.

La répartition du traitement des boues dans notre pays est donc :

- 14 % sont éliminées par la digestion anaérobie,
- 51 % part en épandage,
- 21 % va en décharge
- 12 % sont incinérées
- 2 % sont compostées

3. Les procédés de traitement de la fraction organique des ordures ménagères

La méthanisation de la fraction organique des ordures ménagères (FOOM) commence à se développer en France (qui est en retard par rapport à de nombreux pays de l'Union Européenne). Les ordures ménagères peuvent être apportées brutes ou pré-triées. Les tris peuvent être réalisés à la source (collecte sélective) ou par un ramassage spécifique (déchets de marché, de restaurant...). Ceci conduit à produire des biodéchets (qui sont la fraction putrescible des ordures ménagères) et des déchets gris (qui contiennent encore une bonne fraction de matière méthanisable). Ces unités de traitement reçoivent aussi des bio-déchets industriels en fonction du gisement environnant. L'importance du prétraitement et du tri dépendent de la nature des déchets à traiter.

Le schéma général de traitement est représenté sur la figure 1.

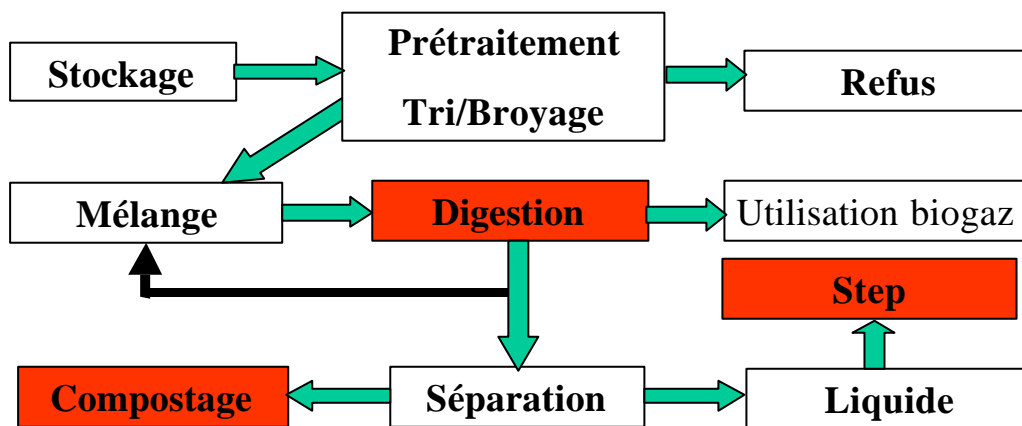


Figure 1 : Schéma de principe du traitement des déchets

Les performances des digesteurs dépendent avant tout de la composition du substrat. Par exemple, le rendement en méthane varie de 170 à 320 Nm³/t de matières volatiles (MV) apportées entre l'été et l'hiver. Ceci conduit à des taux de réduction de la matière de 40 à 75% des MV.

Les temps de séjour des déchets dans les digesteurs varient de 15 à 50 jours en fonction des caractéristiques des substrats et des technologies employées.

3.1. Technologies en continue en une étape

Méthanisation en fermentation «humide »

Ce sont des fermentations à caractère mélangé (les fermentations sèches ayant un caractère plutôt piston).

Les systèmes d'agitation peuvent être mécaniques avec ou sans agitateur latéral ou réalisés par l'introduction de biogaz. Ils sont représentés sur la figure 2.

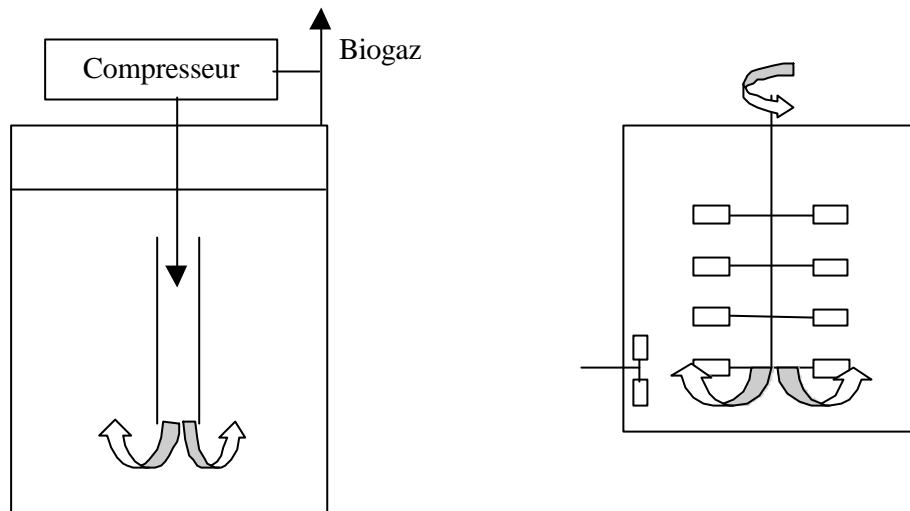


Figure 2 : Exemple de systèmes d'agitation utilisés en fermentation humide des déchets

Les productions de biogaz sont généralement comprises entre 150 à 300 Nm³/t de MV entrante. La charge volumique du digesteur (kg de MV /m³ de réacteur et par jour) est un paramètre important pour caractériser son fonctionnement. En industriel, on se situe entre 4 et 9 kg de MV/m³/j.

La dilution par l'eau permet de mieux maîtriser des problèmes d'inhibition qui peuvent apparaître comme par exemple le maintien d'une concentration d'ammoniac au-dessous de 3g/l.

Les coûts d'investissement sont identiques aux fermentations sèches, mais il faut considérer que la capacité de traitement des effluents doit être plus importante.

Les technologies de méthanisation en fermentation «sèche »

Ces digesteurs sont principalement des réacteurs à caractère piston. C'est pourquoi, ils ont en amont du digesteur un mélange des déchets avec du digestat.

La FOOM contient traditionnellement 25 % d'inertes. La teneur en matière sèche élevée, conduit à un digestat qui peut supporter des déchets lourds sans qu'ils ne tombent au fond. Cela limite la technologie de pré-traitement. Par contre, cette technologie ne peut traiter des déchets qui ont une teneur en humidité inférieure à 20 % .

Trois types de technologie ont été largement appliqués : Valorga, Dranco et Kompogas. Les schémas de principe sont indiqués sur la figure 3.

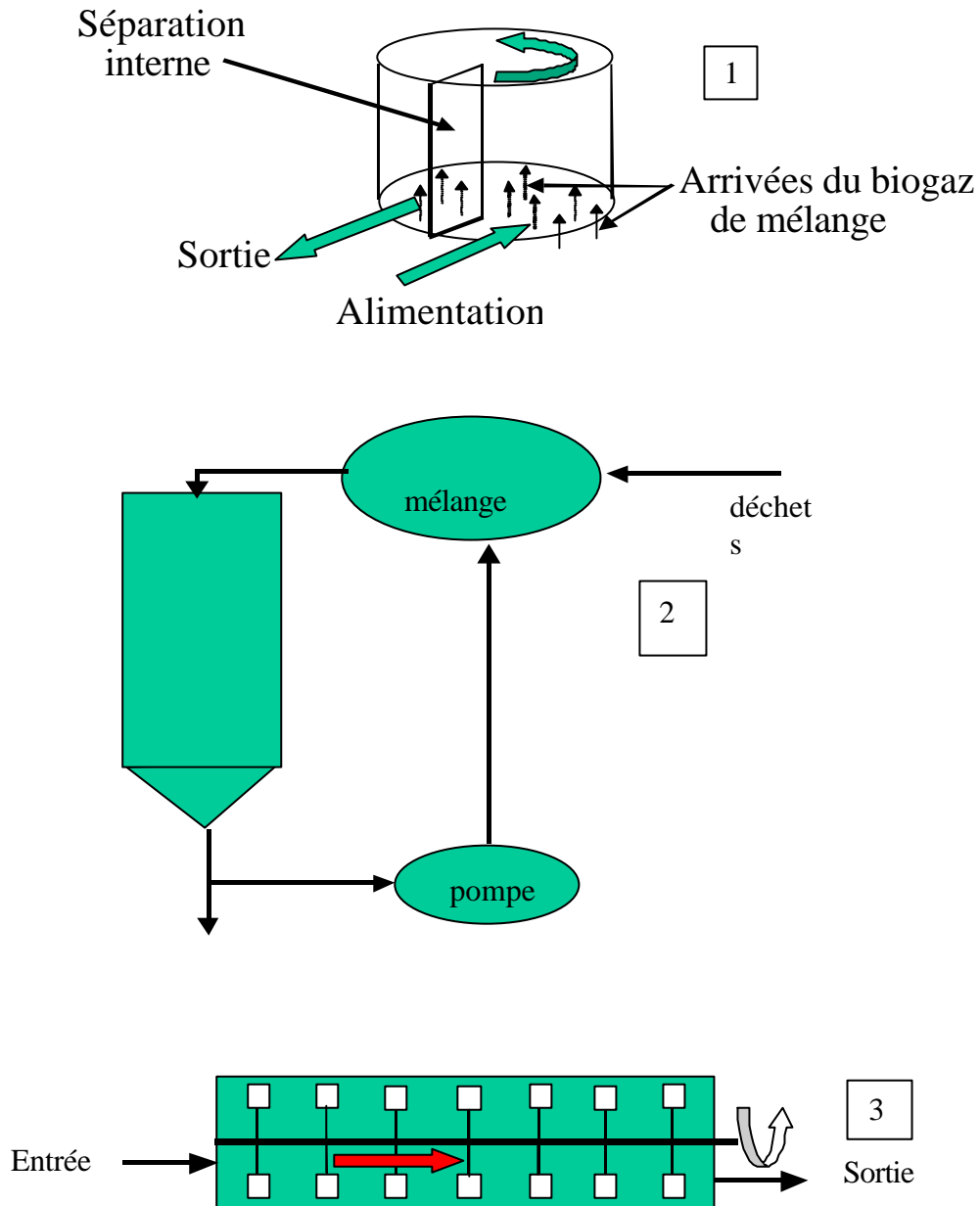


Figure 3 : Schéma de digesteurs en fermentation sèche : 1 Valorga, 2 Dranco, 3 Kompogas.

Dans le système Valorga, l'agitation est réalisée par introduction séquentielle de biogaz en bas du digesteur (figure 3-1). Dans le procédé Dranco, l'agitation se fait par recirculation du digestat en tête (figure 3-2), pour le procédé Kompogas, ce sont des pales qui font avancer la matière (figure 3-3).

Les rendements de production de méthane sont similaires à ceux observés en fermentation humide. Les volumes de réacteur sont néanmoins deux à trois fois plus petits.

Les charges organiques, rapportées dans la littérature, varient de 4 à 15 kg de MV/m³ de réacteur par jour. Les rendements de production de biogaz sont de 90 à

150 Nm³ /t de déchets frais, ce qui conduit à 210 à 300 Nm³ de CH₄/ t de matières volatiles. Leurs taux de réduction sont de 50 à 70%.

Cette stratégie conduit aussi à apporter 10 fois moins d'eau dans le digesteur contrairement aux systèmes humides (une centaine de litre au lieu de 1m³/ tonne de déchets).

3.2. Technologie continue en deux étapes

La séparation des phases est assez peu appliquée pour traiter les déchets ménagers (10 % de la capacité totale de traitement des déchets).

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.

La séparation des phases conduit à 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.

3.3. La méthanisation en discontinue

C'est une fermentation «solide » qui se réalise à 30- 40 % de matière sèche.

Cette stratégie consiste à réaliser des digestions anaérobies en une étape dans des cellules fermées qui reçoivent un lixiviat afin d'activer les réactions biologiques (figure 4).

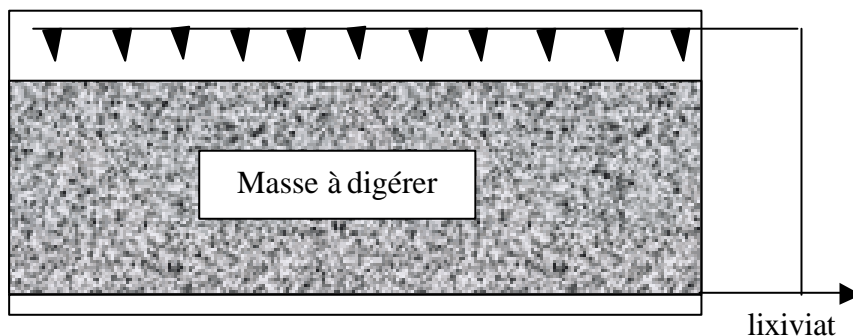


Figure 4 : Exemple de schéma de principe du digesteur à cellules (fermentation discontinue)

L'inoculation peut se faire avant la mise en cellule par un mélange avec un digestat ou par recirculation d'un lixiviat d'une cellule en activité. Ce procédé n'a pas encore eu une très grande application industrielle.

C'est une technique qui est peu coûteuse en investissement mais qui demande une gestion rigoureuse pour éviter les problèmes de mélange de méthane avec l'air, lors du chargement et du déchargement des cellules.

4. La méthanisation des déchets agricoles

L'Allemagne a fortement développé les « biogaz à la ferme » puisqu'elle compte 800 installations sur déchet agricole.

Les unités peuvent être individuelles à l'échelle d'une ferme, ou centralisées regroupant plusieurs fermes.

On distingue trois types de mise en oeuvre :

- En fonctionnement discontinu. Ce sont plusieurs digesteurs en parallèle (en statique) avec recirculation du lixiviat. Les temps de séjours sont de 2 à 3 mois
- En fonctionnement continu en réacteur mélangé par des pales.
- En fonctionnement continu avec des digesteurs de type piston.

Le Danemark a mis en place une vingtaine d'unité de biogaz centralisées. Ces unités traitent des déchets agricoles principalement (lisiers, fumiers...) mais aussi des ordures ménagères, des boues de Step, des déchets industriels... en fonction du gisement. Leurs mises en place fait suite à plusieurs mesures administratives et politiques. Les rendements de biogaz varient de 25 à 50 m³ par m³ de déchet entrant et les charges organiques sont de 1 à quelques kg de MV/m³ de réacteur et par jour.

5. Les impacts environnementaux.

La méthanisation n'apporte pas de nuisances particulières quand les installations sont bien conçues. L'air vicié est récupéré et traité dans des biofiltres, le digestat est déshydraté et composté, les eaux résiduelles sont traitées normalement dans les stations d'épuration.

Certaines installations réalisent des prétraitements (1 heure à 70 ° C) ou des post-traitements afin de réduire le risque lié aux micro-organismes pathogènes. La digestion anaérobie thermophile (à 55° C) est plus efficace de ce point de vu que la méthanisation mésophile à 35 °C. Le compostage (aérobie) du digestat est un plus pour l'hygiénisation.

6. La législation française.

La législation relative à la digestion anaérobie s'inscrit dans le cadre général de la législation des installations classées pour l'environnement. Ce travail rapporte l'excellente étude faite par l'ATEE (Club Biogaz) qui s'intitule « La réglementation du Biogaz ». Il rapporte les textes relatifs :

- Aux apports de matières premières
- A la production de biogaz
- A l'utilisation des produits sortants
- A la fiscalité et au financement
- Et aux aides de l'ADEME et des Agences de l'Eau

Authors : M.BOTTREAU (HOO) – F.CANSELL (ICMCB)

RECORD – HOO n° 01-0221/1A

Summary & Background

« Waste Disposal in France »
« Thermal treatment of organic wastes: pyrolysis, gasification and
hydrothermal oxidation »

The first part of this study deals with the evaluation of the French waste disposal. It describes the current production of waste. In France wastes are divided in three categories according to their origin :

Municipal wastes (Household wastes, public green wastes, urban wastewater-treatment plants, wastes of cleaning, commercial wastes of small activities...). These wastes represent 47 million tons in 1998 in France.

Industrial wastes : inert wastes (uncontaminated earth, bricks, stone, building sand ...), controlled wastes or conventional industrial wastes which follow the same treatment as municipal wastes: incineration for example. Also hazardous wastes (i.e. special wastes) which may be toxic for the environment.

Agricultural wastes and farm industry wastes: this includes agricultural wastes (vegetable matter, excreta, waste food ...) and also wastes of milk, food industry. These wastes are generally biodegradable matter and are used in fertilizers in land filling.

For example, for 25 years waste disposal of municipal wastes has increased : waste production has been multiplied by 3 in ton/year. This increase is also followed by an important diversification of process and waste treatment.

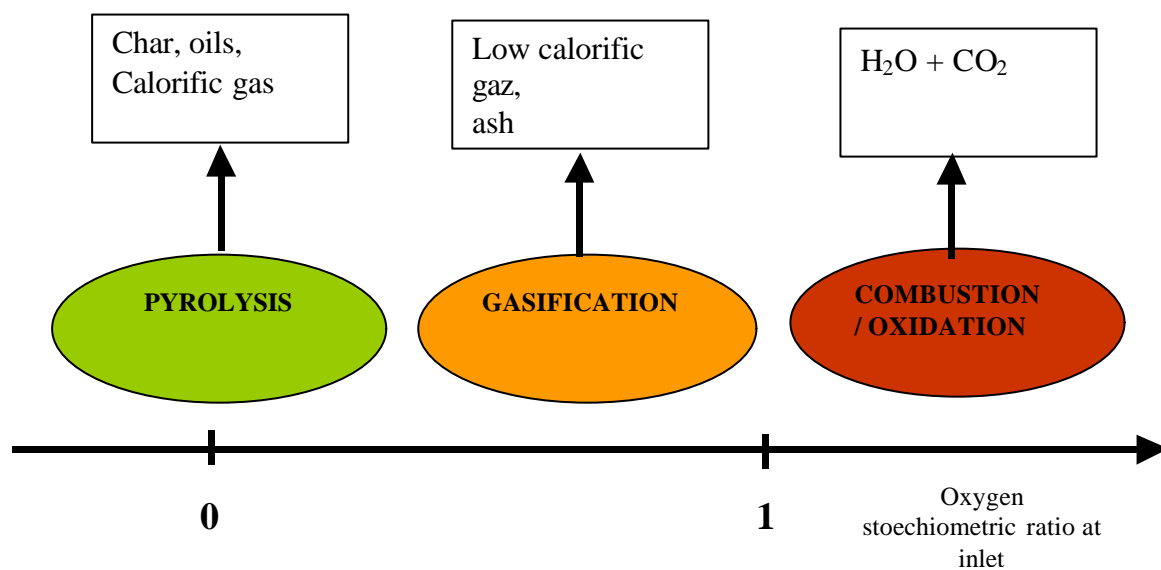
What urban wastewater sludges concern, the annual contribution of one person is between 10 and 25 kg. So, in France, urban wastewater sludges were about 850.000 tons (dry matter) in 1999. The main reasons are a population increase and an efficiency increase of wastewater plants. The production of urban sludges in 2005 should increase up to 1.300.000 tons (dry matter).

This study gives an estimation of waste disposal in France. Waste classification and definition lead to heterogeneous wastes in the same classification. It is difficult to collect waste data from the production origin.

The second part of this study deals with the following thermal treatment processes of organic wastes: pyrolysis, gasification and hydrothermal oxidation (subcritical and supercritical).

Commercial processes of these technologies are very closed to specific wastes. Pyrolysis and gasification are generally used for solid and organic wastes and hydrothermal oxidation for aqueous and organic liquid wastes.

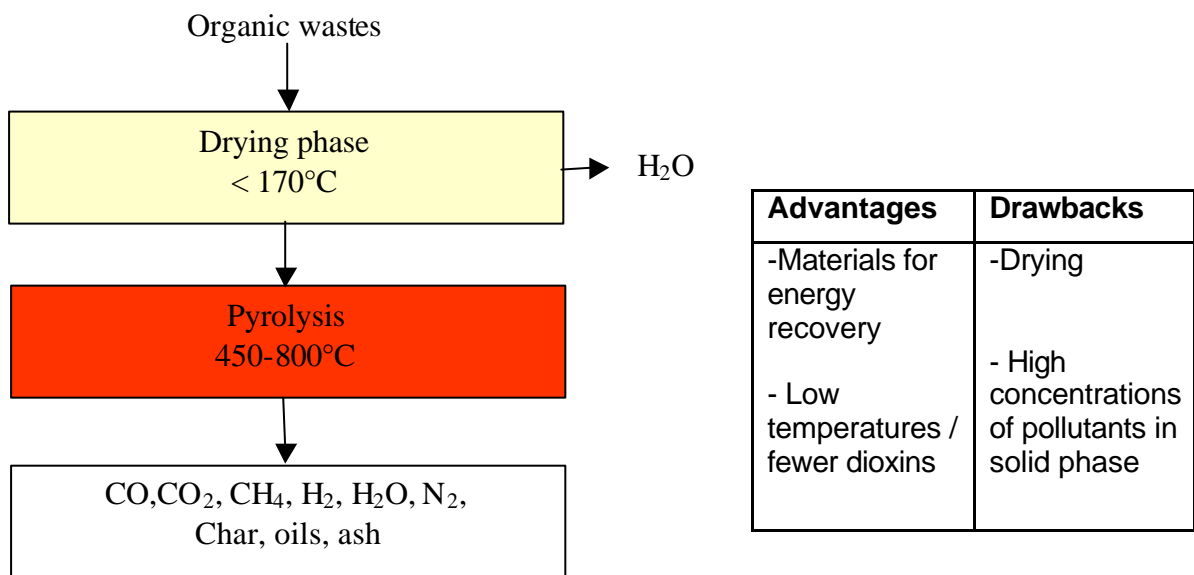
Pyrolysis is the thermal degradation of organic wastes without oxygen to produce a carbonaceous char, oils and combustible gases. Gasification differs from pyrolysis in that oxygen from air, steam or pure oxygen react at high temperature with the available carbon in wastes to produce a gas product and ashes. Hydrothermal oxidation is characterized by the oxidation of an aqueous waste contaminated by organic matter under pressure and temperature in a single fluid phase. These processes are described with oxygen ratio at inlet on the following figure.



Pyrolysis, gasification and hydrothermal oxidation can not replace incineration process but these processes can be used for specific wastes with rather good technical and environmental efficiency in an integrated waste management (collect & sorting). Main technical specifications are described below:

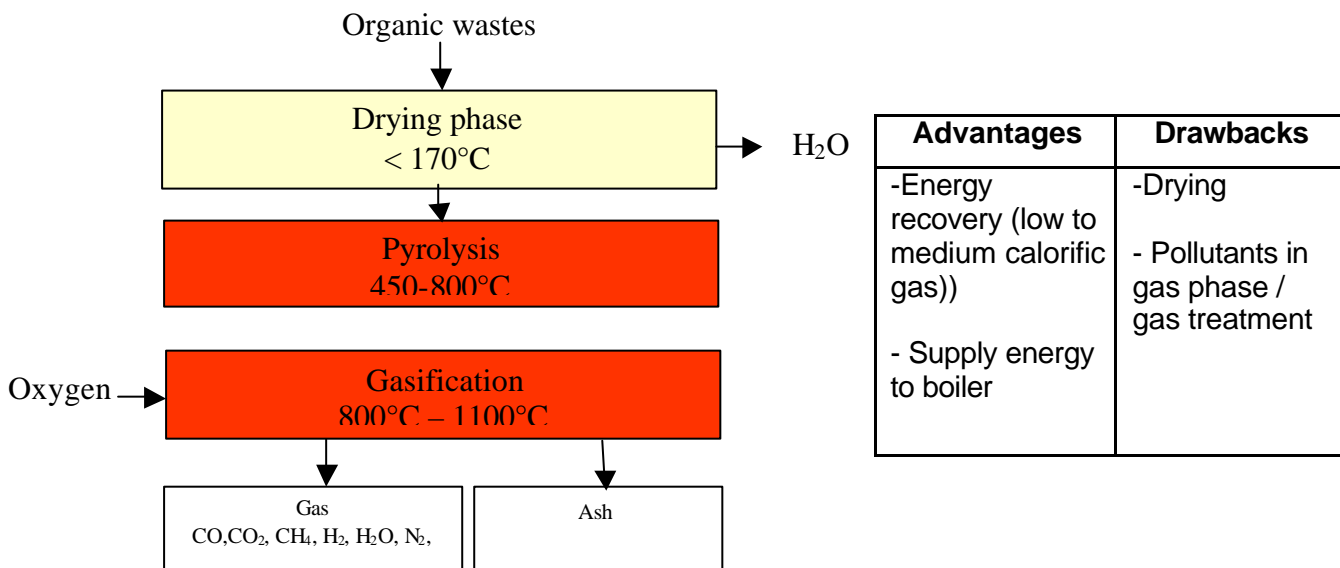
Pyrolysis is a thermal treatment process in the absence of oxygen at relatively low temperatures in the range 400-800°C. Pyrolysis is a thermal decomposition of organic matter. End products are generally char, oils and gas. Generated gases have medium to high calorific values (CH₄, H₂ and CO) and may contain sufficient energy to supply the energy requirements of a pyrolysis plant. Solid phase is mainly composed by char with as hand can be used as solid fuel or as char-oil.

A wide variety of pyrolysis technologies have been investigated for the pyrolysis of waste materials. Most of them are under development state but some pyrolysis plants developed by THIDE for example have commercial units in Japan.



Gasification is a reaction at high temperature with oxygen to produce a low to medium calorific value fuel gas. Organic matter is decomposed at relatively high temperatures : 900-1000°C for air gasification and 1000-2000°C for pure oxygen gasification. Waste gasification can be used after pyrolysis reaction. Char and oils produce by pyrolysis are transformed into gas during gasification phase. Waste gasification is more developed than pyrolysis or thermolysis processes. Commercial units of waste gasification are developed (SIEMENS, THERMOSELECT...).

Waste gasification is generally used for wood or biomass wastes. This process is generally integrated to supply energy (gas phase) or with system of energy recovery (burning furnace, boiler ...).

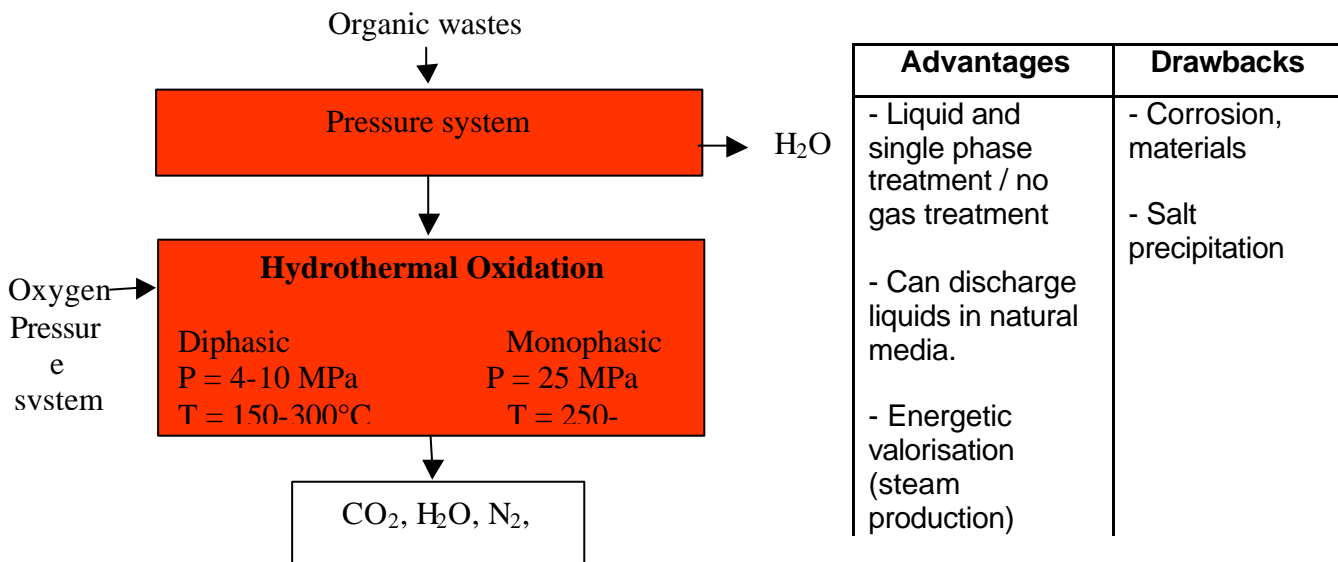


Hydrothermal oxidation is a complete oxidation of organic matter in aqueous phase. End products are mainly water (and mineral salts in liquid phase) and carbon dioxide (in gas phase). Typical wastes treated by hydrothermal oxidation are liquid and aqueous wastes in a concentration range between 20 g/L to 150 g/L of COD at the process inlet.

There are two main processes:

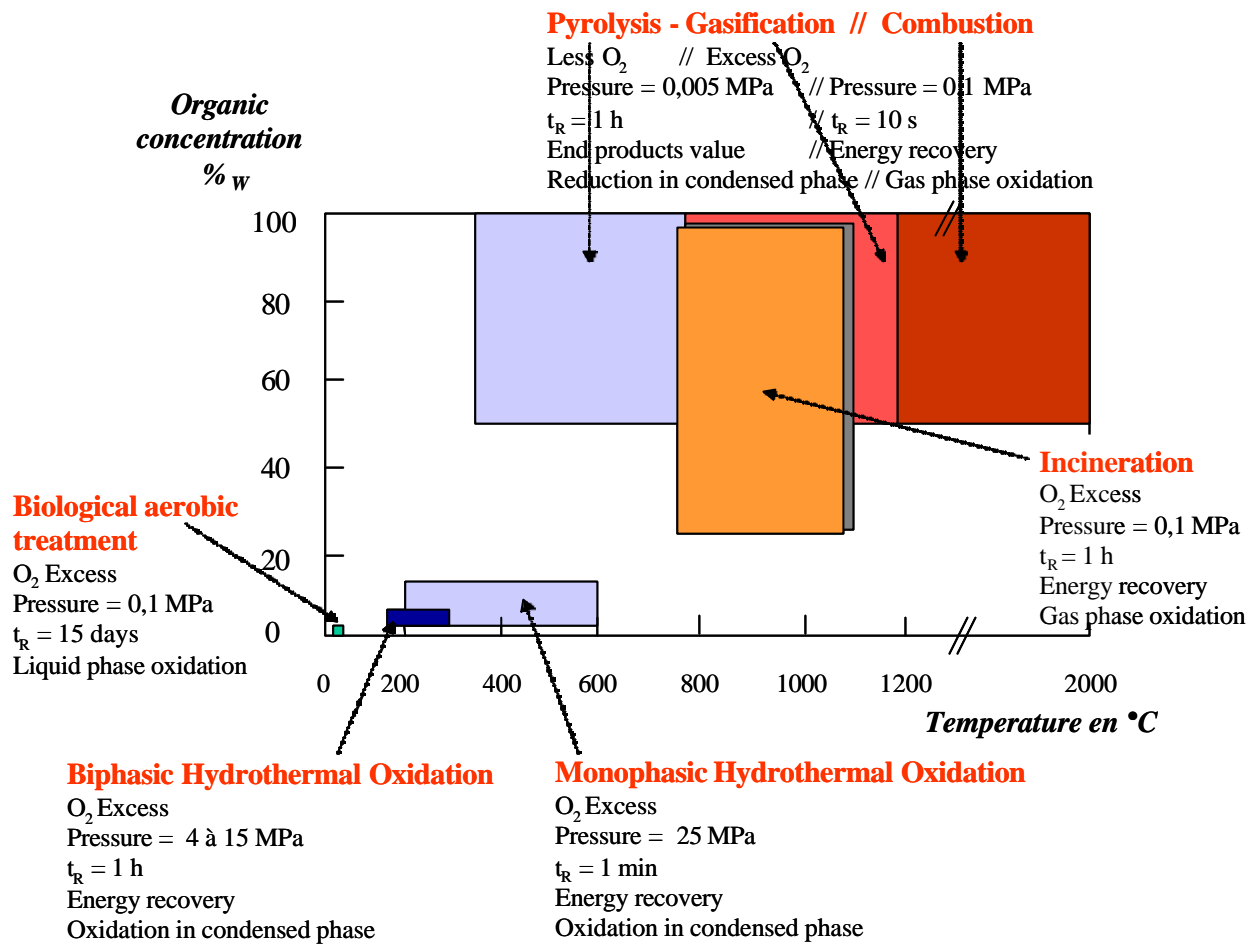
- 1) Hydrothermal diphasic oxidation (Subcritical conditions: $P < 15 \text{ MPa}$ and $T < 300^\circ\text{C}$). Wastewater and oxygen are mixed in a two-phase reactor.
- 2) Hydrothermal monophasic oxidation ($P \cong 25 \text{ MPa}$ et $200^\circ\text{C} < T < 600^\circ\text{C}$). Wastewater and oxygen are mixed in a single phase reactor.

Industrial development of diphasic processes (subcritical) began in 60's and today about 110 commercial plants are operated in the world. Industrial development of monophasic processes (supercritical) began recently in 90's. There are about 10 industrial units of supercritical water oxidation in the world.



Advantages	Drawbacks
<ul style="list-style-type: none"> - Liquid and single phase treatment / no gas treatment - Can discharge liquids in natural media. - Energetic valorisation (steam production) 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion, materials - Salt precipitation

This diagram represents pyrolysis, gasification, hydrothermal oxidation and typical waste treatments with their temperature conditions and organic composition at the process inlet. There is also biological process on this diagram. For each process, pressure, residence time, oxygen ratio and reaction type are also mentioned.



Author : R. Moletta

Report summary :

Bibliographic study about organic waste methanisation

**LBE INRA
Avenue des étangs
11100 Narbonne**

**Association RECORD
Contract N° 01-0408/1A**

June 2002

This report is a state of the art about the methanisation of waste. It deals with the implementation of methanisation, digestion of sludge, municipal and agricultural waste. A part of it relates to the environmental aspects and the last part is about the current French legislation.

1. Anaerobic digestion and its implementation

Anaerobic digestion (or methanisation) is the transformation of organic matter into methane and carbon dioxide mainly, by a microbial community functioning in anaerobiosis.

It is applied to the treatment of organic waste of various origin like sludge from wastewater treatment plants, the organic fraction of the household refuse, the industrial and agricultural waste. This transformation results in the production of a biogas (with approximately 60% methane and 40% carbon dioxide) and of a digested slurry which is composted. The implementation of this biological transformation can be carried out under various conditions:

- One or two urban wastewater treatment plants
- Continuous or discontinuous processes
- Mesophilic or thermophilic conditions
- Dry solids content lower than 20% (wet fermentation) or between 20 and 50% (dry fermentation)

The waste methanisation has a very strong development in Europe, since the processing capacity passed from 1 037 000 t/annum to 1 648 000 t/annum between 2000 and 2002.

The substrates used have either one origin (household refuse, agricultural waste), or multiple origins with the addition of industrial waste, sludge from urban wastewater treatment plants (etc.) to the household refuse. The sorting "at the source" (with a production of bio-waste and grey waste) is an element enhancing the biological treatment of waste and methanisation in particular.

2. The anaerobic digestion of sludge from urban wastewater treatment plants

The anaerobic digestion of sludge is an effective method to decrease the volumes to be treated.

The French production of sludge from urban wastewater treatment plants represents 850 000 tons of dry matter per annum. Approximately 9 million tons of rough sludge thus should be eliminated.

The methanisation of sludge is done with organic loads which go from 1 to 5 kg of Volatile Matter (VM) / m³ of reactor / day, with retention times from 15 to 25 days. The production of biogas lies between 140 and 220 m³ per ton of introduced dry matter.

In Europe 60% of sludge from urban wastewater treatment plants are methanised, but only 30% in France, which only corresponds to plants connected to 20 millions inhabitants. This makes it possible to treat 283 000 tons of sludge per annum (expressed in dry matter) and thus to eliminate 113 000 tons of sludge.

The distribution of the sludge treatment in our country is thus:

- 14 % : elimination by anaerobic digestion,
- 51 % : spreading,
- 21 % : dumping,
- 12 % : incineration,
- 2 % : compost.

3. Treatment processes for the organic fraction of the household refuse

The methanisation of the organic fraction of the household starts to develop in France (which is late compared to many european countries). The household refuse can be brought rough or pre-sorted. The sorting can be carried out “at the source” (selective sorting) or by a specific sorting (market or restaurant waste). This results in producing bio-waste (which are the putrescible fraction of the household refuse) and grey waste that still contain an important fraction of methanisable matter. These treatment units also receive industrial bio-waste depending on what is available around. The importance of the pre-treatment and of the sorting depends on the nature of the waste to treat.

The general diagram of treatment is represented on figure 1.

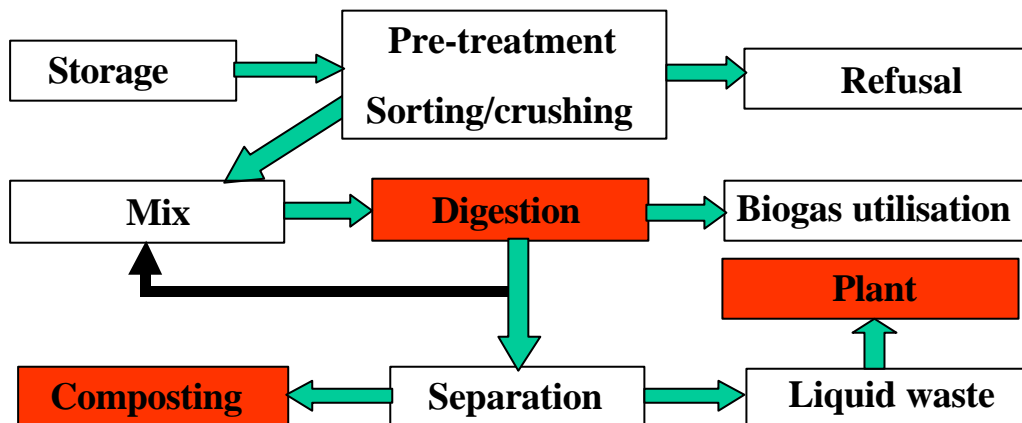


Figure 1 : general diagram of waste treatment

The performances of the digesters depend above all on the composition of the substrate. For example, the yield on methane varies from 170 to 320 Nm³ methane /t volatile solids (VS) brought between the summer and the winter. This leads to matter reduction yields from 40 to 75% of the VS.

The retention times of waste in the digesters vary from 15 to 50 days depending on the characteristics of the substrates and technologies employed.

3.1. Continuous technology in one step

Methanisation in "wet" fermentation

These are "mixed" fermentation ("dry" fermentation being rather "piston" ones). The agitation systems can be mechanical, with or without lateral agitator, or they can be carried out introducing the biogas. They are represented on figure 2

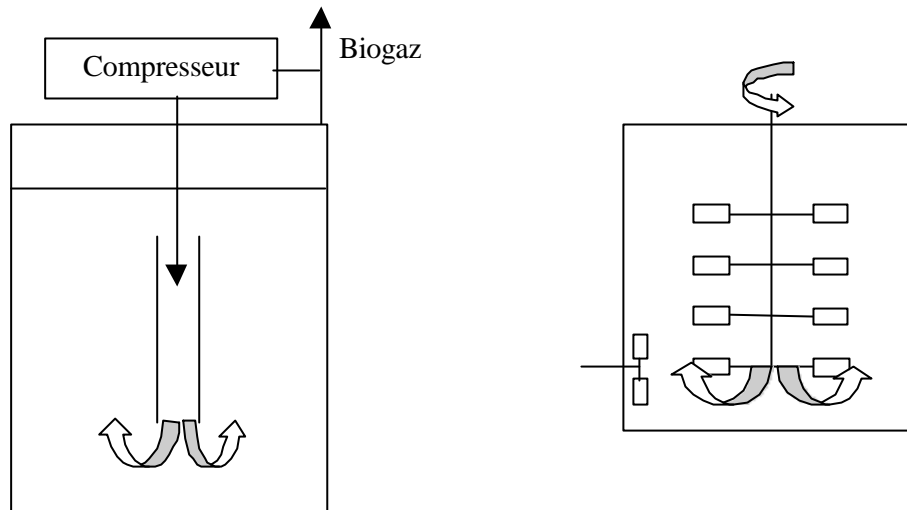


Figure 2: Example of agitation systems used in wet fermentation of waste

The production of biogas usually lies between 150 and 300 Nm³/t VS entering the system. The volumetric loading rate of the digester (kg VS/m³ reactor /day) is a significant parameter to characterize its operation. Industries usually range between 4 and 9 kg VS/m³/day.

Dilution by water makes it possible to better control inhibition problems which can appear, as for example the keeping of ammonia concentration below 3g/l.

The investing costs are identical to dry fermentation, but it should be considered that the effluent capacity of being treated must be more significant.

Methanisation in "dry" fermentation

These digesters are mainly "piston" reactors. That's why they receive upstream a mixture of waste and digestat. The organic fraction of the household is traditionally made of 25 % of inert matter. The high content of dry matter leads to a digestat with heavy waste not falling at the bottom. That limits the pre-treatment technology. On the other hand, this technology cannot treat waste which has a moisture content lower than 20 %.

Three types of technology were largely applied: Valorga, Dranco and Kompogas. The general diagrams are indicated on figure 3.

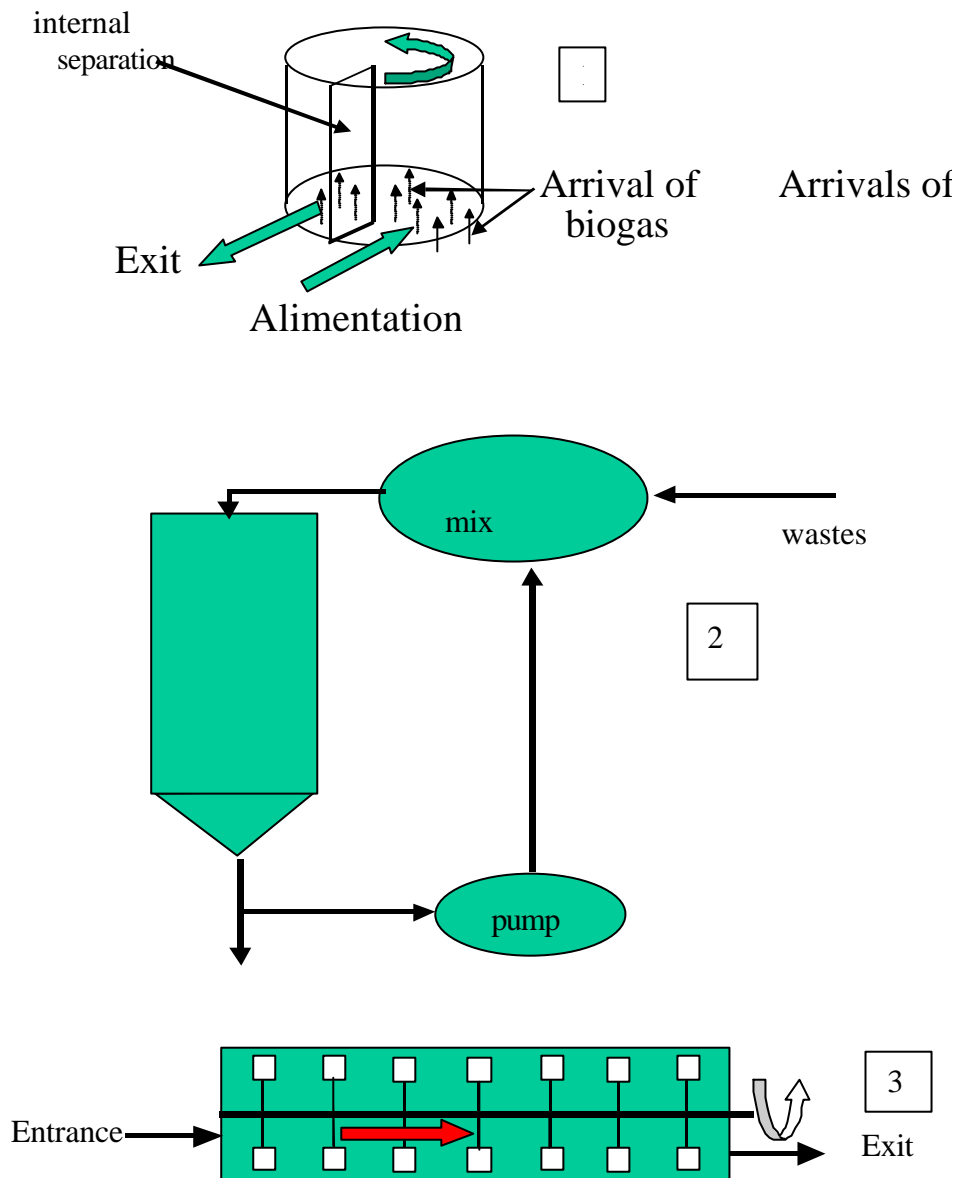


Figure 3: Diagram of digesters in fermentation dries: 1 Valorga, 2 Dranco, 3 Kompogas.

In the Valorga system, agitation is carried out by the sequential introduction of biogas at the bottom of the digester (figure 3-1). In the Dranco process, agitation is done by the recirculation of the digested slurry at the entrance of the process (figure 3-2). In the Kompogas process, blades make the matter advance (figure 3-3).

The production yields of methane are similar to those observed in wet fermentation. Volume of reactors are nevertheless two to three times smaller. The organic loads, reported in the literature, vary from 4 to 15 kg of VS/m³ reactor/day. The production yields of biogas are 90 to 150 Nm³/t fresh waste, which leads to 210 to 300 Nm³ CH₄/t VS. Their reduction yields are 50 to 70%.

This strategy also results in bringing 10 times less water in the digester contrary to the wet systems (a hundred of litres instead of 1m³/t waste).

3.1. Continuous technology in two steps

The separation of the phases in order to treat domestic waste is little applied (10 % of the total capacity of waste treatment).

The advantage of the two steps systems lies in a better stability (as for the effluents) but they induce more significant investments than the one step systems.

The separation of the phases leads to two possible strategies:

- Hydrolysis and partial acidification of the matter in the first reactor before its introduction into the second methanisation reactor,
- Hydrolysis and acidification of the matter in the first reactor (production of a lixiviat) and introduction of the liquid phase only into the second reactor.

3.2. Discontinuous methanisation

It is a "solid" fermentation which is carried out at 30 - 40 % of dry matter. This strategy consists in carrying out anaerobic digestion in one step in closed cells which receive a lixiviat in order to activate the biological reactions (figure 4).

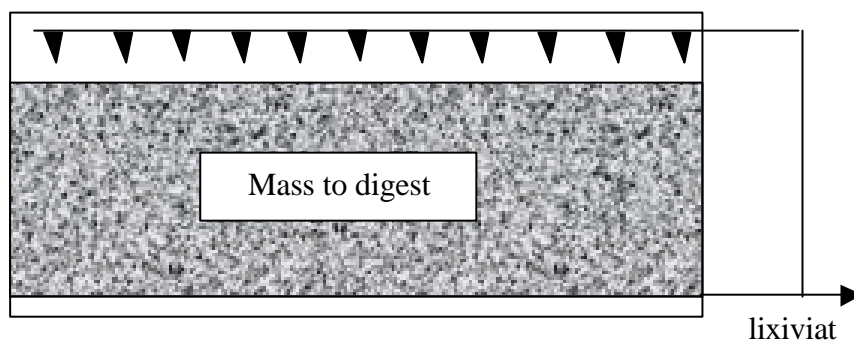


Figure 4: General diagram of a digester with cells (discontinuous fermentation)

The inoculation can be done before the setting in cell by a mixture with a digested slurry or by the recirculation of a lixiviat extracted from a cell in activity. This process doesn't have a great industrial application yet.

It is a technique which is inexpensive (few investments) but which requires a rigorous management to avoid the problems of mixture of methane with the air during the loading and the unloading of the cells.

4. The methanisation of agricultural waste

Germany strongly developed "biogas at the farm" since it counts 800 installations on agricultural waste. The units can individual at the farm scale, or they can be centralized, gathering several farms.

Three types of implementation can be distinguished:

- Under discontinuous operation. These are several digesters in parallel (static) using the recirculation of the lixiviat. The residence times are 2 to 3 months
- Under continuous operation in a reactor mixed by blades
- Under continuous operation in a "piston type" digester.

Denmark set up around twenty centralized units producing biogas. These units treat agricultural waste mainly (manures...) but also household refuse, sludge from urban wastewater treatment plants, industrial waste (etc...) depending on what is available around. Their installation is due to several administrative and political measures. The yields on biogas produced vary from 25 to 50 m³/m³ of entering waste, and the organic loads are 1 to a few kg of VS/m³ reactor/day.

5. Environmental impacts.

Methanisation does not bring particularly harmful effects when the installations are well designed. The foul air is collected and treated in biofilters, the digestat is dehydrated and composted, the wastewater are treated normally into wastewater treatment plants. Few installations carry out pre-treatments (1 hour at 70 ° C) or post-treatments in order to reduce the risks related to the pathogenic micro-organisms. Thermophilic anaerobic digestion (at 55°C) is more effective considering this point of view than mesophilic methanisation (at 35°C). The composting (aerobic) of the digestat ensures a better hygienisation.

6. The French legislation.

The legislation relating to anaerobic digestion lies within the general scope of the legislation of the installations classified for the environment. This work brings back the excellent study made by ATEE (the Biogas Club) which is entitled "the Biogas rules".

It brings back texts related to:

- The supply in raw material
- The production of biogas
- The use of outputs
- The taxation and the financing
- Them assistance provided by ADEME and the Water Agencies