



MINISTERE DE LA REGION WALLONNE

Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement

Office Wallon des Déchets

Avenue Prince de Liège, 15
5100 JAMBES

**Analyse des Plans Stratégiques des Intercommunales
et de la Gestion des Déchets Ménagers et Assimilés
et des DIB en Région Wallonne**

Rapport de Phase 2

Groupement IBH – Cadet International

**592, Chaussée de Louvain à 1380 LASNE
Tel. 02/3570757 – Fax. 02/3570750 – E-Mail ibh@ibh.be**

TABLE DES MATIERES

Préambule

Chapitre 1 : Procédés actuels de Thermolyse et de Pyrolyse

Chapitre 2 : Procédés de traitement par incinération

Chapitre 3 : Procédés de compostage et de biométhanisation

Chapitre 4 : Traitement des résidus solides de l'incinération

Chapitre 5 : Commentaires et conclusions

Annexes au Rapport de Phase 2 (Volume distinct)

Préambule

De nouveaux procédés de traitement de déchets ménagers et assimilés sont apparus et la Région wallonne souhaite faire le point sur les connaissances actuelles concernant ces technologies, les différents fabricants proposant ces procédés, leurs opportunités et leurs contraintes par rapport aux procédés de traitement actuels (en particulier l'incinération et le compostage), leur stade de développement, leur fiabilité, le coût des différentes techniques et les références existantes.

Les clauses techniques applicables à l'étude mentionnent comme techniques à prendre en considération dans l'analyse qui fait l'objet du présent rapport :

- les procédés de thermolyse/pyrolyse,
- les procédés de traitement par lit fluidisé,
- les procédés de traitement des résidus solides d'incinération (MIOM et REFIOM)
- les procédés de traitement de la fraction organique des déchets ménagers : compostage et biométhanisation,

Au niveau de la méthodologie de travail appliquée, il est prévu de prendre en compte également les derniers développements des techniques d'incinération : grilles refroidies par eau, optimisation de la valorisation énergétique, traitement des fumées.

Comme l'intégration des coûts de traitement de ces procédés doit s'opérer dans le cadre de la phase 3 de l'étude (phase consacrée à la préparation d'un scénario optimum de gestion des déchets ménagers et assimilés et des DIB produits en région wallonne), il est utile de souligner que la fiabilité des évaluations économiques, à savoir les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et les recettes de valorisation, n'est pas homogène vu le niveau variable de développement et d'application des procédés analysés.

Il est manifeste aujourd'hui que les coûts de traitement par incinération classique et par compostage sont vérifiés et que les coûts de traitement par biométhanisation commencent à être éprouvés, tandis que les coûts de traitement en incinération à lit fluidisé et en thermolyse/pyrolyse restent des évaluations faites par les constructeurs et qui ont encore besoin d'une validation après exploitation à une échelle industrielle.

Pour les procédés de thermolyse/pyrolyse/gazéification, vu le nombre important de technologies apparues sur le marché (le Consultant anglais spécialisé JUNIPER en recense près de 50 !), le chapitre 1 dédié à ce type de procédé s'est limité à l'examen de quelques technologies exemplatives (6) dans le cadre de leur application potentielle au traitement de déchets ménagers et assimilés dans des installations de taille moyenne (de l'ordre de 50.000 tonnes par an).

Enfin, en matière de procédés alternatifs à l'incinération classique de déchets ménagers, il nous est apparu opportun d'évaluer le bioséchage, avec production d'un combustible dérivé, et de présenter la torche à plasma, avec gazéification et production d'énergie valorisable (procédé qui a fait l'objet en mars 2001 d'un cahier d'évaluation technologique de l'ISSeP).

o o o o o

<u>CHAPITRE 1 : PROCÉDÉS ACTUELS DE THERMOLYSE- PYROLYSE</u>	2
<u>1.1 Introduction</u>	2
<u>1.2 Les différents procédés de thermolyse – pyrolyse (et gazeification)</u>	3
1.2.1 <u>Principe de base</u>	3
1.2.2 <u>Variantes technologiques</u>	3
1.2.3 <u>Réalisations industrielles</u>	4
<u>Procédés EDDITH (THIDE) - PKA « THI »</u>	5
<u>Procédé TRAIDEC « TRD »</u>	6
<u>Procédé OKADORA « OKA »</u>	7
<u>Procédé SOFTER (NEXUS) « SFT »</u>	8
<u>Procédé Basse Sambre – ERI (Serpac) « BSE »</u>	9
<u>Procédé NESAS « NES »</u>	10
1.2.4 <u>Références des Constructeurs</u>	11
<u>1.3 Bilans matière et énergie pour diverses applications</u>	13
1.3.1 <u>Comportement en Thermolyse</u>	13
1.3.2 <u>Comportement en gazéification</u>	14
1.3.3 <u>Bilans matière et énergie</u>	14
<u>1.4 Options de valorisation : matière – énergie</u>	17
<u>1.5 Complémentarité vis à vis d'autres techniques de traitement de déchets</u>	19
<u>1.6 Investissements et coûts d'exploitation</u>	20
1.6.1 <u>Coûts de traitement en unités de 50.000 t/an et production de vapeur</u>	21
1.6.2 <u>Coûts de traitement avec four industriel à l'aval</u>	22
<u>1.7 Bilans énergétiques</u>	24
<u>1.8 Conclusions</u>	25
1.8.1 <u>Généralités</u>	25
1.8.2 <u>Bilans énergétiques</u>	25
1.8.3 <u>Coûts de traitement</u>	25
1.8.4 <u>Validation des procédés pour le traitement de déchets ménagers</u>	25

CHAPITRE 1 : PROCÉDES ACTUELS DE THERMOLYSE- PYROLYSE

1.1 INTRODUCTION

La thermolyse est un procédé ancien qui a connu plusieurs stades d'évolution. Pendant les années 80, ces procédés ont été conçus en vue de valoriser les hydrocarbures issus de ce procédé en tant que matières premières. Les coûts d'investissements prohibitifs eu égard à la valeur des produits pétroliers récupérés ont conduit à des difficultés de développement industriel. Aujourd'hui, compte tenu de l'augmentation du coût des incinérateurs liée aux contraintes de plus en plus sévères et de la nécessité de mettre en œuvre des petites unités de traitement dédiées à de petits gisements de déchets, un nouveau créneau s'ouvre pour des technologies alternatives où la thermolyse se développe.

La tendance actuelle est de concevoir la thermolyse en tant que pré-traitement suivi d'un post-traitement de valorisation matière ou énergie des produits qui en sont issus.

En matière de terminologie, on parlera indifféremment de thermolyse ou de pyrolyse pour désigner un procédé de dégradation thermique (de la fraction organique) des déchets en l'absence d'oxygène.

Par contre la pyrolyse - gazéification est un procédé d'oxydation partielle des déchets (en présence d'air ou d'oxygène) dans lequel la matière organique est convertie en gaz combustible et en résidu carboné qui est ensuite oxydé pour produire des gaz de combustion nécessaires au procédé.

On distingue les procédés dits de *thermolyse seule* qui consistent en un pré-traitement des déchets qui doit être suivi d'une valorisation énergétique des combustibles de substitution produits dans une installation industrielle. Les procédés dits *intégrés* associent la thermolyse suivie d'une valorisation énergétique sur le même site (traitement complet tout comme l'incinération) ou d'un post-traitement avec production d'une matière première secondaire.

En 1998, l'ISSeP a procédé à une étude comparative des différents procédés de thermolyse sur le plan technologique. L'ULB a réalisé une étude comparative sur le plan économique au vu de l'évolution du gisement de déchets prévu par le Plan Wallon des Déchets horizon 2010. Toujours pour la Région Wallonne, l'ULB a réalisé en 1999 une étude relative aux options de gestion pour certains types de déchets.

La présente étude a pour but de faire le point de la situation au niveau des technologies actuellement disponibles (bilans matière et énergie pour différentes applications).

Les perspectives de valorisations matière et énergie sont analysées en fonction du type de déchets traités.

La complémentarité par rapport aux autres techniques de traitement des déchets sera évaluée.

Les différentes variantes technologiques sont évaluées sur le plan des coûts d'investissement et de fonctionnement.

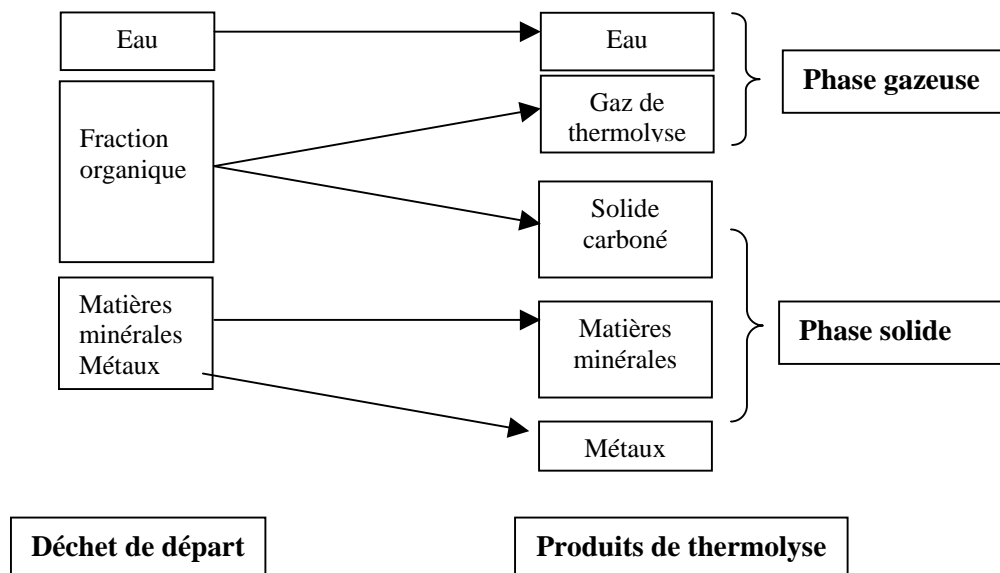
1.2 LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE THERMOLYSE – PYROLYSE (ET GAZEIFICATION)

1.2.1 Principe de base.

La thermolyse consiste en un chauffage du déchet en absence d'oxygène à température modérée (entre 450 et 550°C). Dans ces conditions, la fraction organique du déchet est décomposée en une phase gazeuse et en une phase solide. La phase gazeuse issue de la thermolyse contient les gaz condensables et non condensables ainsi que l'eau.

La phase solide de thermolyse contient, outre les matières minérales et métaux contenus dans le déchet, le solide carboné (semi-coke) produit par thermolyse de *la fraction organique* contenue dans le déchet. La proportion de gaz et de solide produits par thermolyse de *la fraction organique* du déchet dépend de la nature de cette fraction organique.

Le schéma qui suit représente le comportement des différentes fractions du déchet de départ.



1.2.2 Variantes technologiques.

Deux types de procédés se développent actuellement et sont caractérisés par le mode de chauffage de la charge. Les procédés de gazéification tels que LURGI et THERMOSELECT ne sont pas repris dans cette étude.

a) Procédés de thermolyse à chauffage indirect.

Dans ce type de procédé, le déchet est contenu dans un réacteur étanche, à l'abri de l'oxygène. L'énergie nécessaire au procédé est transférée à travers une paroi métallique. Dans ce cas, les gaz de thermolyse sont maintenus à haute température (entre 350 et 400°C) puis brûlés sur place afin de produire l'énergie nécessaire au chauffage du four.

Le semi-coke de thermolyse subit généralement un traitement mécanique pour séparer les matières minérales (afin d'en réduire la teneur en cendres). Ce traitement peut se faire soit à sec, soit après lavage si l'on veut en diminuer la teneur en chlore (par exemple pour valorisation en cimenterie). Dans les procédés intégrés, ce semi-coke est brûlé tel quel dans une chaudière prévue à cet effet ou gazéifié.

Font partie de ce type d'approche les procédés THIDE-PKA et TECHNIP (fours rotatifs), TRAIDEC (four à sole) et OKADORA (réacteur cylindrique discontinu à brassage interne). TECHNIP est spécialisé dans le traitement de déchets industriels et dangereux, ne propose pas actuellement d'unités de traitement de déchets ménagers et n'est donc pas repris dans cette étude.

b) Procédés de thermolyse à chauffage direct.

Dans ce type de procédé, le déchet est introduit dans un four muni de réfractaires. Il s'agit d'un réacteur à contre-courant, le déchet étant chauffé par les gaz de combustion partielle du semi-coke produit en monoxyde de carbone. Dans cette gamme de procédés, Basse-Sambre-ERI (PIT - Serpac) propose un four rotatif, tandis que NESA propose un four à soles multiples. NEXUS propose un four à lit fixe, le déchet contenu dans des cuves en acier est chauffé par passage des fumées de combustion du gaz de thermolyse à travers la charge. L'installation est composée d'une série de cuves travaillant chacune en discontinu.

1.2.3 Réalisations industrielles.

Les tableaux qui suivent donnent les caractéristiques principales des procédés sélectionnés et développés actuellement pour le traitement des déchets ménagers et assimilés :

THIDE – PKA « THI »

TRAIDEC « TRD »

OKADORA « OKA »

NEXUS « SFT »

BASSE SAMBRE-ERI (Serpac) « BSE »

NESA « NES »

Les trois premiers procédés sont de la famille « thermolyse avec chauffage indirect de la charge ». Il s'agit d'une conception modulaire, les opérations de thermolyse et de combustion étant totalement séparées.

Le quatrième procédé est de la famille « thermolyse avec chauffage direct de la charge ». La charge est chauffée par les fumées de combustion des gaz de thermolyse qui s'effectue dans une chambre de post-combustion séparée.

Les deux derniers procédés sont de la famille « pyrolyse-gazéification avec chauffage direct de la charge ». Une partie de la combustion s'effectue dans le pyrolyseur. La combustion complète des gaz s'effectue dans une chambre de post-combustion.

Procédés EDDITH (THIDE) - PKA « THI »

procédé	thermolyse seule et thermolyse intégrée absence totale d'oxygène – procédé continu
type de four	Four rotatif à axe horizontal à chauffage indirect
capacité standard	3 T/h
mode de chauffage	Chauffage indirect par les fumées de combustion du gaz de thermolyse (THIDE), ou par gaz naturel (PKA)
températures de fonctionnement	450 - 600 °C
Equipements proposés par THIDE	Déferrailage amont, broyeur-déchetteur (<100mm) Sécheur Thermolyseur Chambre de combustion des gaz Chambre de combustion du semi-coke (option) Unité de traitement des fumées Chaudière et production de vapeur En option : unité de lavage du semi-coke, unité d'élutriation des matières minérales, unité de traitement des eaux
Equipements proposés par PKA	Broyeur-déchetteur (<100mm) Sécheur Thermolyseur Craqueur des gaz Gazéifieur du semi-coke Chambre de combustion des gaz Unité de traitement des fumées Chaudière et production de vapeur En option : unité de production d'électricité
dates de mise en service	Pilote (Vernouillet, F), 1994 Nakaminato (JPN), 1t/h, 2000 (version intégrée) Projet Arras (F), 6t/h (thermolyse seule)
valorisation du gaz	par combustion
valorisation du solide	Thermolyse seule avec valorisation du « Carbor® » comme combustible de substitution en cimenterie (Arras) ; Version intégrée (PKA et Japon)
Valorisation énergétique	Vapeur et combustible solide de substitution (THIDE) Distribution de gaz de chauffage (PKA)
Sous-produits	Métaux récupérés du traitement du semi-coke thermolyse seule : combustible solide de substitution thermolyse intégrée : cendres de combustion du semi-coke résidus du traitement des fumées
Expérience industrielle	déchets ménagers et assimilés déchets hospitaliers résidus de broyage automobile
statut avril 2001	Pilote opérationnel 500 kg/h Plus de 3.000 heures de fonctionnement au Japon Projet à Arras (F) Repris par Magain (F) et associé à la Société PKA (D) PKA opérationnel depuis 2000 (70% de capacité)
Investissements pour version THIDE Version Vapeur - 50.000 t/an	Equipements : 15,6 mio € Infrastructure : 5,8 mio €
Remarques	Technologie similaire à NOELL (D), BABCOCK (D), TECHNIP (D). L'usine de Burgau (D) fonctionne depuis 1989. Les installations de Technip (D) sont dédiées à des déchets industriels. PKA propose une variante avec gazéification du coke.

Procédé TRAIDEC « TRD »

procédé	thermolyse intégrée absence totale d'oxygène – procédé continu
type de four	Four à sole à grille cheminante avec chauffage électrique de la sole
capacités standard	0,2 – 0,8 – 2,0 – 3,7 T/h
mode de chauffage	Chauffage électrique indirect par la sole du four
températures de fonctionnement	450 - 600 °C
Equipements proposés	Broyeur-déchiporteur (<200mm) Thermolyseur Chambre de combustion des gaz Chambre de combustion du semi-coke Unité de traitement des fumées Chaudière et production de vapeur
dates de mise en service	Pilote (Ste FOY, F), 1999 Projets France, Espagne, Mexique, Canada
valorisation du gaz	par combustion
valorisation du solide	par combustion
Valorisation énergétique	Vapeur et/ou électricité
Sous-produits	Métaux récupérés du traitement du semi-coke Cendres de combustion du semi-coke Résidus du traitement des fumées
Expérience industrielle	Déchets hospitaliers Résidus de broyage automobile Boues industrielles Farines animales Pneumatiques usagés
statut avril 2001	Pilote opérationnel 500 kg/h Usine en construction pour des boues (démarrage 2001)
Investissements Version Vapeur - 50.000 t/an	Equipements : 9,9 mio € Infrastructure : 3,1 mio €
Remarques	Coûts d'investissements relativement faibles eu égard à la technologie appliquée

Procédé OKADORA « OKA »

procédé	thermolyse intégrée absence totale d'oxygène -- procédé discontinu
type de four	Four cylindrique vertical à double enveloppe équipé d'un mouvement cyclonal avec projection des déchets contre les parois chauffées
capacités standard	2-6 T/h
mode de chauffage	Chauffage indirect par les fumées de combustion des gaz de thermolyse
températures de fonctionnement	450 - 550 °C
Equipements proposés	Broyeurs-déshiqueteurs (<50mm) Séparateurs magnétiques Thermolyseurs (4 carbonizers) Refroidisseurs 4 Chambre de combustion des gaz 2 Unité de traitement des fumées Silos de stockage du char (2) Machine pour fabriquer des pellets Réservoirs pour l'huile de thermolyse Trémie de chargement des pellets
dates de mise en service	Boues : 1991 Déchets : 1998
valorisation du gaz	par combustion
valorisation du solide	par combustion
Valorisation énergétique	Combustibles de substitution
Sous-produits	Métaux récupérés du pré-traitement Huile de thermolyse Char pelletisé
Expérience industrielle	Déchets ménagers Déchets hospitaliers et industriels Boues industrielles et boues de STEP Farines animales et abats animales Pneumatiques usagés
statut avril 2001	150 installations de différentes tailles
Investissements* - 50.000 t/an	Equipements : 7,34 mio € Infrastructure : Batiments : 1.6 mio € Voires : voir données générales
Remarques	Procédé discontinu sans formation de dioxines

* Ce constructeur a remis offre pour une version qui n'inclut pas de valorisation énergétique. Il y aurait lieu d'ajouter de 5 à 6 millions d'Euros pour y adjoindre une unité de combustion, une chaudière de production de vapeur et une unité de traitement des fumées. Okadora ne propose pas actuellement d'unité de combustion du semi-coke.

Procédé SOFTER (NEXUS) « SFT »

procédé	thermolyse intégrée absence totale d'oxygène -- procédé discontinu
type de four	Four tunnel horizontal multicellules
capacités standard	6t/h
mode de chauffage	Chauffage direct par les fumées de combustion des gaz de thermolyse qui traversent la charge
températures de fonctionnement	450 - 550 °C
Equipements proposés	Broyeurs-déchiqueteurs (<500mm) Thermolyseur Unité de traitement du solide Unité de traitement des eaux Chambre de combustion des gaz Chambre de combustion du semi-coke Unité de traitement des fumées Chaudière et production de vapeur Production d'électricité (option)
dates de mise en service	Pilote à Chateau-Renard (100kg/h) Usine en construction à Digny (démarrage 2002)
valorisation du gaz	par combustion
valorisation du solide	par combustion
Valorisation énergétique	Vapeur et/ou électricité
Sous-produits	Métaux récupérés du traitement du semi-coke Cendres de combustion du semi-coke Résidus du traitement des fumées
Expérience industrielle	Déchets ménagers Déchets hospitaliers Pneumatiques usagés
statut avril 2001	Construction Digny
Investissements Version Vapeur - 50.000 t/an	Equipements : 20 mio € Infrastructure : 6,8 mio €
Remarques	Procédé semi-continu

Procédé Basse Sambre – ERI (Serpac) « BSE »

procédé	thermolyse intégrée Gazéification du coke (gaz à l'air) -- procédé continu
type de four	Four rotatif cylindro-conique incliné
capacités standard	1 à 6 t/h
mode de chauffage	Chauffage direct à contre-courant par la chaleur sensible du gaz à l'air
températures de fonctionnement	800 – 850°C
Equipements proposés	Déchiqueteurs (<500mm) Pyrolyseur Chambre de combustion des gaz Chaudière et production de vapeur Production d'électricité (option) Unité de traitement des fumées
dates de mise en service	Usine en service à Budapest depuis 1996
valorisation du gaz	par gazéification
valorisation du solide	par combustion
Valorisation énergétique	Vapeur et/ou électricité
Sous-produits	Scories (ex : valorisation routière) Résidus du traitement des fumées (ex : recyclage des produits sodiques résiduels)
Expérience industrielle	Déchets ménagers et assimilés (DIB)
statut avril 2001	Unité en activité à Budapest depuis 1996
Investissements Version Vapeur - 50.000 t/an	Equipements : 10,2 mio € Infrastructure 5,6 mio €
Champs d'application	OM-DIB – Déchets hospitaliers, Pneus, RBA, Boues de step et de dragage, Farines animales, Bois, Déchets d'abattoirs et d'équarissage
Remarques	Procédé continu de pyrolyse-gazéification

Procédé NESAs « NES »

Procédé	Pyrolyse intégrée combustion partielle des produits de thermolyse - procédé continu
Type de four	Four à râbles vertical à soles multiples
Capacités standards	De 0,5 à 20 t/h
Mode de chauffage	Chauffage direct à contre-courant par les fumées de combustion partielle des matières volatiles et éventuellement du semi-coke.
Températures de fonctionnement	600 - 800°C
Equipements proposés	Déchiqueteurs (<100mm) Pyrolyseur Chambre de postcombustion des gaz Unité de traitement des fumées Chaudière et production de vapeur Production d'électricité (option)
Dates de mise en service	15 unités industrielles depuis 1980
Valorisation du gaz	par combustion
Valorisation du solide	par combustion
Valorisation énergétique	Vapeur
Sous-produits	Cendres Résidus du traitement des fumées
Expérience industrielle	Déchets ménagers et assimilés Boues et résidus industriels Boues de STEP Biomasse
Statut avril 2001	15 unités opérationnelles
Investissements Version Vapeur - 50.000 t/an	Equipements : 7,5 mio € Infrastructure 2,8 mio €
Remarques	Procédé continu de pyrolyse-gazéification

1.2.4 Références des Constructeurs

Const	Lieu	Type Dech.	Capac t/h	Mise en serv	Heures de fonct.	Valoris solide	Valoris Gaz	Rem
THI	Nakaminato (JPN)	OM	1	2000	3500 h	Combust. Prod. vap	Combust. Chauff. four	
THI	Arras (F)	OM	6	2002		Combust. Substitut.	Combust. Chauff. four	
PKA	Aalen (D)	OM	3	2000	75%	Gazéif. en option, en CET act.	Craquage gaz et distrib. c. combust.	
	Burgau (D)	Déch. ind.	4	1989	8000 h/an	Stockage combust.	Combust. Chauff. four	1
TRD	Ste Foy (F)	divers	0,5	2000		Combust. Prod. vap	Combust. Prod. vap.	2
TRD	Corée	Hosp	2	2002		?	?	
OKA	150 ref. Japon	divers	2-6	1998		Combust. Substit. Non val.	Combust. Chauff. four	3
SFT	Digny (F)	OM	4	2002		Combust. Prod. électricité	Combust. Chauff. four	4
BSE	Budapest (H)	OM	1,5	1996	7000 h/an	Sans objet	Combust. Prod. vap.	5
NES	15 références	divers	0.5-20	<1980	7000 h/an	Sans objet	Combust. Prod. Vap. ou électr.	6

Commentaires

1. Technologie similaire à THIDE et PKA, développée par Babcock.
2. Déchets divers (OM, Boues, farines animales, pneumatiques usagés, etc)
3. Déchets divers (OM, Boues, farines animales, pneumatiques usagés, etc)
4. Attente des premiers résultats d'exploitation lors de la mise en service de l'usine
5. Réalisation de modifications mineures sur l'installation en juin 2001 afin d'améliorer la qualité des cendres.
6. Nombreuse références industrielles concernant le traitement des minerais dans le même type de four. Applications plus récentes dans le traitement des déchets : déchets divers (OM, Boues, pneumatiques usagés, biomasses, etc)

La technologie à four rotatif à chauffage indirect (Thide et PKA) a été développée dans les années 80 (technologie Kiener) par Babcock, Noell et Mannesmann (actuellement Technip). Il existe de nombreuses références industrielles sur déchets industriels et terres contaminées.

La technologie des fours à soles multiples (NESA) a été développée il y a de nombreuses années dans le cadre du grillage de minerais. C'est plus récemment que cette technologie a été développée pour le traitement de boues, de biomasse et de déchets divers.

La technologie de fours adoptée par Basse-Sambre-ERI est proche de celle des incinérateurs « Laurent Bouillet ». Des mises au point définitives sont actuellement en cours sur le four de Budapest afin d'augmenter la qualité des cendres issues du four.

Les technologies adoptées par Nexus (Softer) et Traidec sont originales.

1.3 Bilans matière et énergie pour diverses applications

La thermolyse est un pré-traitement qui permet d'accepter des déchets variés seuls ou en mélange. La qualité des produits primaires (gaz chauds et semi-coke) sortants dépend de la nature des déchets entrants. Les déchets suivants ont déjà été traités par thermolyse à échelle pilote ou industrielle :

- Déchets ménagers (OM) et assimilés
- Boues de stations d'épuration, boues industrielles,
- Résidus de broyage automobile (RBA), pneus usagés
- Farines animales
- Déchets plastiques
- Déchets hospitaliers

1.3.1 Comportement en Thermolyse

Le tableau qui suit présente quelques exemples de comportement de déchets divers *en thermolyse*, les proportions de phases ainsi que leur potentiel énergétique.

Masses et PCI des phases produites lors de la thermolyse à 500°C d'une tonne de déchets.

Déchets thermolysés (500°C)	Gaz de thermolyse	Semi-coke (% Cendres)	Métaux / Inertes
OM ¹ « THI » ; PCI : 8,4 MJ/kg	440 kg/t	240 kg/t (40)	120 kg/t
	15 MJ/kg	18 MJ/kg	
OM ² « TRD » ; PCI : 10 MJ/kg	562 kg/t	338 kg/t	100 kg/t
	9.1 MJ/kg	14.2 MJ/kg	
OM ³ « SFT » ; PCI 9,2 MJ/kg	600 kg/t	400 kg/t	?
	17.4 MJ/kg	4.5 MJ/kg	
Boues 85% MS « TRD » ² ; PCI : 15 MJ/kg	700 kg/t	300 kg/t (71)	
	25 MJ/kg	9 MJ/kg	
Boues 88% MS ⁴ « OKA » ⁴ ; PCI : 16 MJ/kg	320 kg/t	680 kg/t (39)	
	23 MJ/kg	14 MJ/kg	
Boues (800°C) ⁵	400 kg/t	600 kg/t (50)	
	3 MJ/kg	17 MJ/kg	

¹ Thide Environnement, F 91100 Corbeille-Essonnes, rapport interne

² Traidec Z.A. de Bellevue-Souzy, F-69610 Ste Foy-L'Argentière

³ Nexus Technologies, Z.I. des Iscles, Av. des Confignes BP24, F-13834, Chateaufort Cedex

⁴ Okadora Europe, Ijismolenstraat,26, B-9600 Ronse

⁵ C.Storm, H.Splithoff, K.R.G.Hein, Proceedings Ichem^E Meeting, Dresden, oct.98

Déchets thermolysés (500°C)	Gaz de thermolyse	Semi-coke (% Cendres)	Métaux / Inertes
Pneus ^{6,7} ; PCI : 35 MJ/kg	520 kg/t	330 kg/t	150 kg/t
	40 MJ/kg	29 MJ/kg	
Pneus « TRD » ⁸ ; PCI : 35 MJ/kg	650 kg/t	250 kg/t (15)	100 kg/t
	37 MJ/kg	31.5 MJ/kg	
Refus de tri + plastiques ⁹ ; PCI : 31, 4 MJ/kg	680 kg/t	280 kg/t (42)	40 / - kg/t
	28 MJ/kg	5 MJ/kg	
Farines animales « TRD » ² ; PCI : 18, 2 MJ/kg	640 kg/t	317 kg/t (49)	
	21 MJ/kg	10 MJ/kg	

1.3.2 Comportement en gazéification

En ce qui concerne les procédés (*gazéification*) chauffés directement par combustion partielle du semi-coke produit en CO, l'étape de post-combustion est indissociable de la gazéification et produit de l'énergie thermique (tableau suivant).

Energie thermique récupérée par gazéification d'1 tonne de déchets

Déchets gazéifiés	Energie thermique récupérée	Mâchefers
OM à PCI : 10 MJ/kg « BSE » ¹⁰ « NES » ¹¹	8500 MJ/t	180-250 kg/t

1.3.3 Bilans matière et énergie

Les figures 1 et 2 ci-après représentent respectivement les bilans matière et énergie pour une tonne de déchets ménagers et pour une tonne de boues de station d'épuration des eaux.

⁶ A.Fontana, C.G.Jung, ETRA Meeting, Paris, 23 septembre 98

⁷ A.D.Cunliffe,P.T.Williams, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 44 (1998), 131

⁸ Traidec, F 69610, Sainte Foy L'Argentière

⁹ Noell-KRC Energie und Umwelttechnik GmbH, Euroforum, Paris, mars 98

¹⁰ Basse Sambre-ERI S.A., Place de la Gare,13, B-5190, Moustier sur Sambre

¹¹ NESA-UM Engineering, rue du Bosquet, 4, B-1348, Louvain la Neuve

FIGURE 1 : OM avec 30% Humidité - Thermolyse

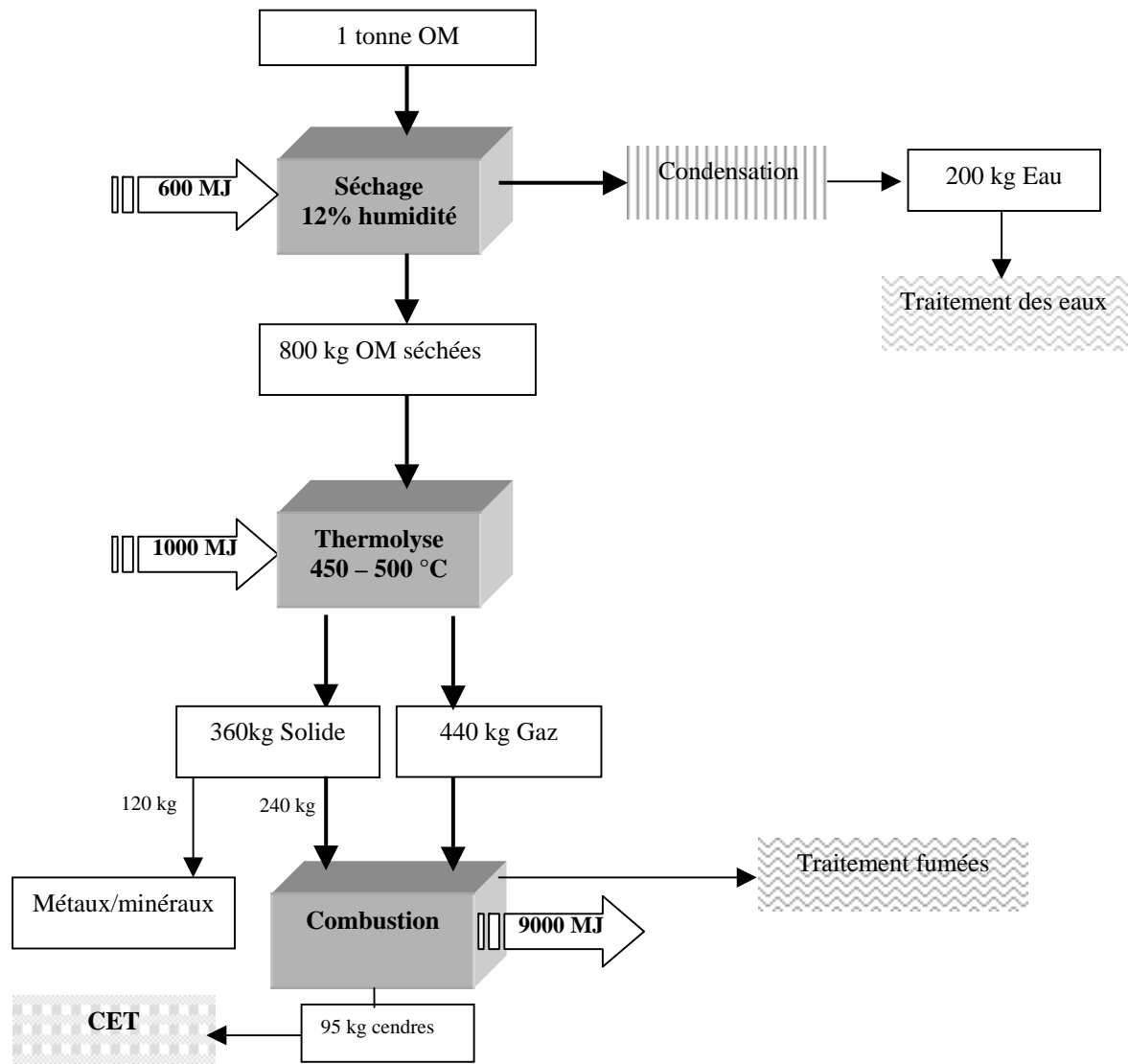
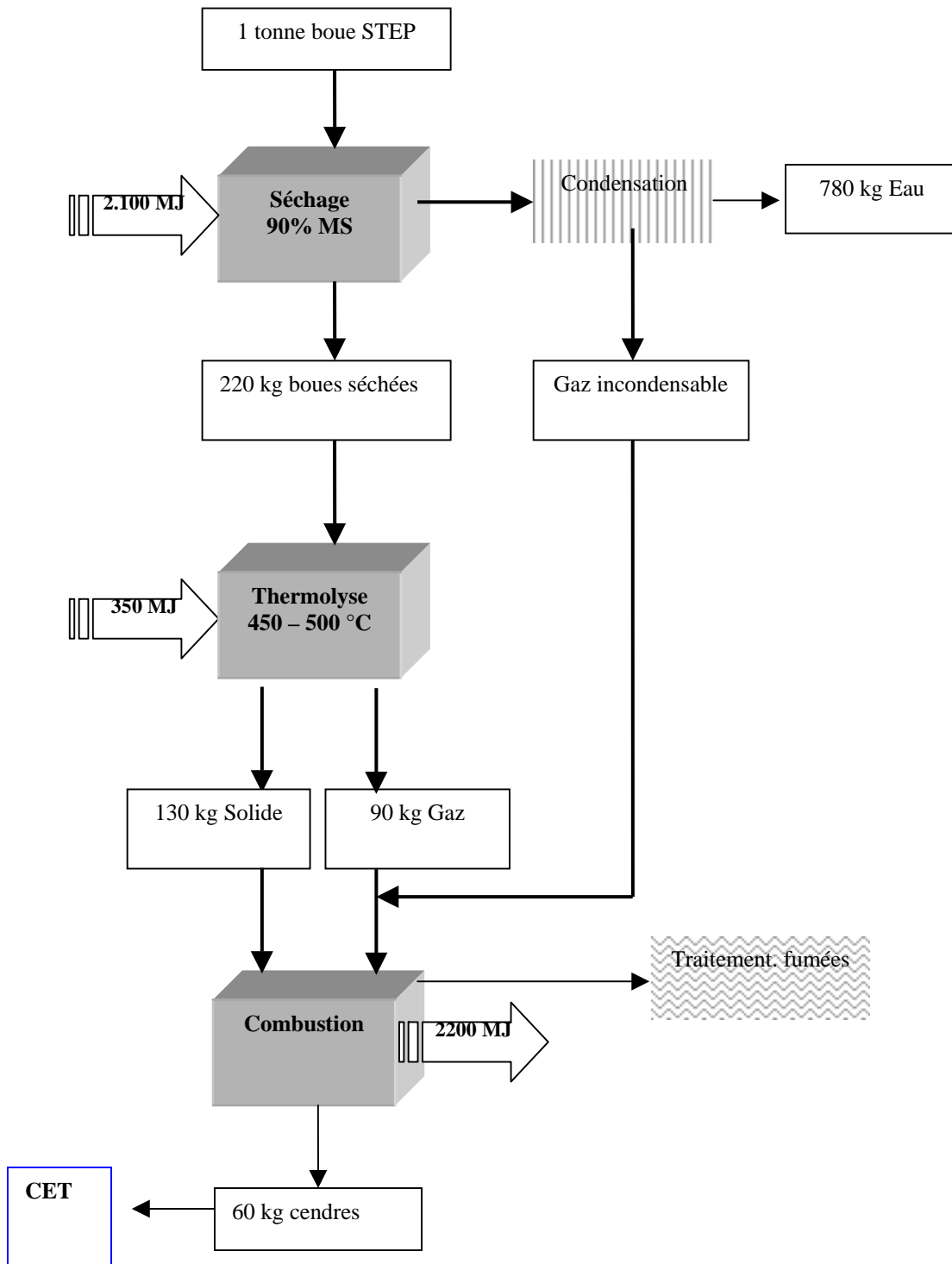
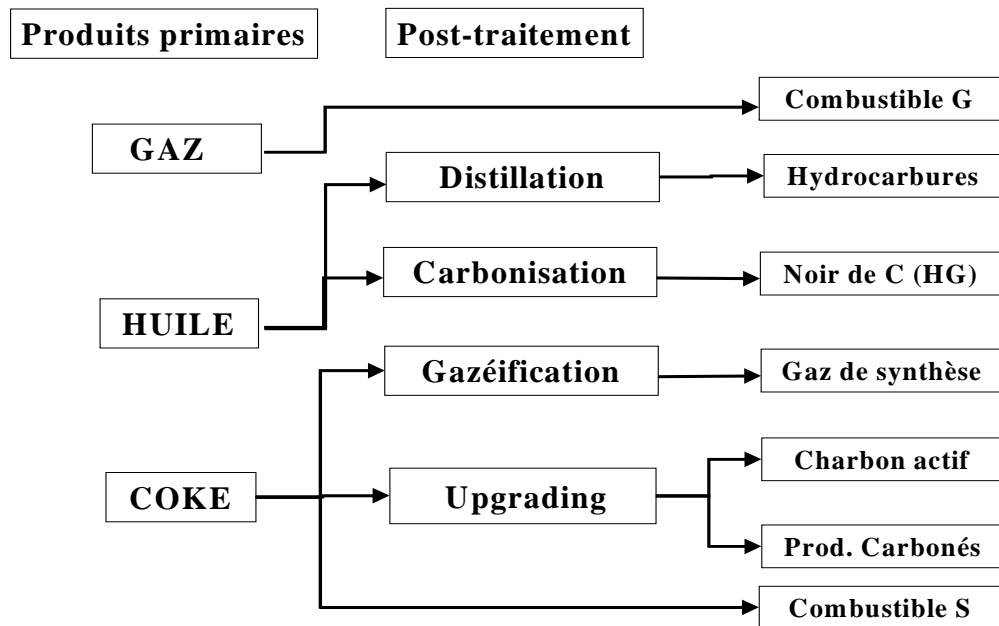


FIGURE 2 : BOUES : 20% MS et 70% MV – Thermolyse MV : 50% solide carboné



1.4 OPTIONS DE VALORISATION : MATIÈRE – ÉNERGIE

En fonction de la nature du déchet entrant , un post-traitement des produits issus de la thermolyse peut être envisagé soit en valorisation énergie ou matière. Le schéma suivant présente les différentes voies de valorisation.



En fonction du déchet traité, on peut envisager les voies de valorisation matière et énergétique suivantes.

Voies de valorisation

Déchets	Mode de valorisation			
	Combustible de substitution	Vapeur	Electricité	Matière
OM	X	X	X	
Boues		X	X	
Farines animales	X	X	X	
Refus de tri + plastiques	X	X	X	
RBA	X	X		X (1)
Pneus usagés	X	X	X	X (2)

Pour les différents types de déchets, les valorisations matière peuvent être effectuées par les post-traitements suivants :

1. RBA : une séparation mécanique permet de séparer les métaux entre-eux qui peuvent ainsi rejoindre directement la filière de recyclage en métallurgie.
2. Pneus usagés : on peut envisager les post-traitements suivants :
 - Distillation des huiles et production d'hydrocarbures spécifiques
 - Carbonisation à haute température des huiles et production de Noirs de Carbone de Qualité
 - Gazéification du semi-coke et production d'un gaz de synthèse
 - Traitement mécanique pour produire des produits carbonés similaires aux noirs de carbone commerciaux
 - Activation du semi-coke et production de charbon actif.

Pour certains déchets traités et notamment les pneus usagés, le post-traitement des produits primaires issus du pré-traitement de thermolyse peut générer des produits à haute valeur ajoutée et pour lequel un marché existe.

Ces produits sont :

- des noirs de carbone similaires aux noirs de carbone commerciaux (de la série N700) qui ont une application dans l'industrie des caoutchoucs ont une valeur de revente de l'ordre de 500 à 1.000€/t. Pour les noirs de carbone « spéciaux » (application dans les encres, peintures...).
- du charbon actif pour le traitement des effluent gazeux et dont le prix s'élève à 1.000€/t.

1.5 COMPLEMENTARITÉ VIS A VIS D'AUTRES TECHNIQUES DE TRAITEMENT DE DÉCHETS.

Les procédés faisant appel à la thermolyse paraissent bien adaptés aux faibles capacités de traitement, entre 25.000 et 50.000 t/an, créneau difficilement accessible économiquement par les techniques d'incinération. Compte tenu de l'interdiction future de procéder à l'enfouissement technique de déchets bruts, la thermolyse pourrait occuper un créneau supplémentaire qui permettrait d'envisager le traitement thermique de proximité pour les déchets dispersés.

En outre, cette technologie peut apparaître comme complémentaire à l'incinération pour le traitement de flux de déchets difficilement acceptables en incinération, notamment les déchets à faible PCI ou à PCI élevé.

Elle peut s'inscrire également à l'aval d'un centre de tri de déchets ménagers bruts, séparant une fraction organique à valoriser par biométhanisation et une fraction combustible à haut PCI (fluff) ; cette approche fait l'objet d'un projet de l'Intercommunale ITRADEC qui compte adopter une thermolyse non intégrée pour valoriser près de 20.000 t/an de fluff issu du centre de tri de Havré.

Le gaz combustible serait livré à la cimenterie d'Obourg ; la destination du coke n'est pas fixée actuellement.

Un atout de la thermolyse consiste à pouvoir optimiser valorisations matière et énergétique en fonction des différents éléments contenus dans les déchets.

Sur le plan environnemental, le niveau d'émissions de fumées, plus faible de par la réduction des besoins en air comburant, permet de réduire – à normes d'émissions réglementaires constantes – les rejets annuels globaux de fumées dans l'atmosphère.

1.6 INVESTISSEMENTS ET COÛTS D'EXPLOITATION.

Différents constructeurs ont été sollicités pour remettre une offre budgétaire relative à une unité complète de traitement de déchets ménagers et assimilés par thermolyse ou pyrolyse - gazéification. Il s'agit d'une capacité de traitement de 50.000 tonnes par an (40.000 tonnes de déchets ménagers à 10 MJ/kg et 10.000 tonnes de DIB (papier, carton, plastique, bois) à 12 MJ/kg.

Sur base des offres budgétaires transmises par les différents constructeurs, il a été procédé à une normalisation des différents postes, tant au niveau des équipements, des coûts d'infrastructure qu'au niveau des coûts opératoires. En effet certaines offres étaient incomplètes et ne portaient que sur les équipements de base. Les équipements auxiliaires ont été ajoutés de manière uniforme.

Toutes les offres comportent une unité de traitement de fumées. Lorsque le coke est lavé ou que les cendres sont récupérées par voie humide, une unité de traitement des eaux est prévue.

L'amortissement du matériel et des infrastructures est calculé pour une période de 15 ans avec un taux d'intérêt de 6% (hors subventions).

Pour ce qui est des coûts opératoires, les frais de personnel ont été uniformisés sur base égale pour tous les procédés (1 cadre à 75k€/an, 1 administratif à 40k€/an et 16 ouvriers à 25k€/an).

Les coûts d'élimination des résidus sont respectivement de 200 €/t pour la classe I et de 60€/t pour la classe II.

Pour ce qui est des recettes, les prix de vente sont respectivement de 35 €/MWh pour l'électricité, de 13,65 €/t pour le gaz de thermolyse et de 5 €/t pour la vapeur. Les métaux sont estimés à 100€/t.

Le prix du gaz est établi pour un PCI moyen de 15 MJ/kg, soit un prix unitaire de 0,9 €/GJ (ce qui correspond à environ la moitié de la GJ du gaz naturel).

Dans le cas de production de coke de thermolyse, celui-ci est éliminé à coût nul.

Les tableaux qui suivent présentent les différents postes qui permettent d'estimer les coûts de traitement.

1.6.1 Coûts de traitement en unités de 50.000 t/an et production de vapeur

Estimation des coûts de traitement (unités de 50.000 t/an).

Procédés	1	2	3	4	5
Investissements matériels (mio €)	15,6	9,9	20,3	10,2	7,5
Investissements infrastructure (mio €)	5,8	3,1	6,8	5,6	2,8
Investissement total (mio€)	21,4	13,0	26,9	15,8	10,3
Coûts opératoires					
Amortissement et frais financiers (€t)	44,1	26,9	55,9	32,4	21,2
Personnel (€t)	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Assurances, entretien, GER	20,2	5,7	8,5	7,8	3,7
Energie (€t)	6,0	27,8	15,4	3,5	3,8
Consommables, neutralisants, eau (€t)	0,9	2,6	4,8	2,6	8,3
Elimination résidus ultimes (€t)	3,6	16,0	4,4	18,0	9,0
Recettes (énergie et métaux) (€t)	-4,0	-15,5	-22,5	-15,0	-12,5
Coût de traitement (€t)	81,1	73,8	76,8	59,6	43,8

L'estimation des coûts de traitement normalisés tiennent compte d'une uniformisation des postes relatifs aux coûts d'infrastructure, au GER, à l'élimination des résidus ultimes ainsi que les recettes en énergie.

Estimation des coûts de traitement normalisés (unités de 50.000 t/an).

Procédés	1	2	3	4	5
Investissements matériels (mio €)	15,6	9,9	20,3	10,2	7,5
Investissements infrastructure (mio €)	5,8	3,1	6,8	5,6	2,8
Investissement total (mio€)	21,4	13,0	26,9	15,8	10,3
Coûts opératoires					
Amortissement et frais financiers (€t)	44,1	26,9	55,9	32,4	21,2
Personnel (€t)	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Assurances, entretien, GER	10,9	6,9	14,2	7,1	5,3
Energie (€t)	6,0	27,8	15,4	3,5	3,8
Consommables, neutralisants, eau (€t)	0,9	2,6	4,8	2,6	8,3
Elimination résidus ultimes (€t)	3,6	11,8	4,4	11,8	11,8
Recettes (énergie et métaux) (€t)	-4,0	-16,4	-16,4	--16,4	-16,4
Coût de traitement normalisés(€t)	71,8	69,9	88,6	51,3	44,3

Le détail des recettes figure dans le tableau qui suit.

Procédés	Nature recettes	Quantités valorisées	Energie récupérée par tonne de déchet	Prix unitaire	Recettes
1	Métaux	40kg/t		100€/t	4€
	Eau chaude 110°C, 4 bars	5000kW/an	2,7 GJ	0*	pm
	Coke	240kg/t à 16,7MJ/kg	4 GJ	0**	pm
2 et 3	Métaux	40kg/t		100€/t	4€
	Vapeur 22 bars	2300kg/t à 2,7MJ/kg	6,2 GJ	2€/GJ	12,4€
	Coke***	pm			
5 6	Vapeur 22 bars	3000 kg/t à 2,7MJ/kg	8,1 GJ	2€/GJ	16,2€

* valeur commerciale faible compte tenu des caractéristiques de cette eau chaude

** le combustible solide de thermolyse est cédé gratuitement pour valorisation externe

*** le coke est brûlé avec le gaz combustible pour produire de la vapeur

Pour les procédés de thermolyse proprement dite, les coûts de traitement prévisionnels s'échelonnent entre 70 et 90 €/t selon le procédé choisi. Pour ce type de procédés, les gaz de thermolyse peuvent subir un post-traitement qui conduit à valorisation matière.

Pour les procédés de pyrolyse gazéification, les coûts de traitement prévus sont légèrement inférieurs (de 45 à 50 €/t), essentiellement en raison d'une approche technologique plus simple.

Ces coûts de traitement sont particulièrement attractifs pour cette gamme de capacité de traitement (50.000 t/an).

1.6.2 Coûts de traitement avec four industriel à l'aval

Il est particulièrement intéressant d'installer un four de thermolyse en amont d'un four de cimenterie ou d'un four à chaux (réalisations en France et en Allemagne, projet ITRADEC). Les gaz de thermolyse sont alors directement valorisés en tant que combustible de substitution dans ces fours et on fait l'économie de la chambre de combustion, de la chaudière ainsi que du traitement des fumées.

Le tableau qui suit montre que les coûts de traitement sont particulièrement attractifs dans ce cas.

Estimation des coûts de traitement normalisés pour une thermolyse installée en amont d'un four de cimenterie ou d'un four à chaux (unités de 50.000 t/an).

Procédés	1	2	3	4	5
Investissements matériels (mio €)	12,3	6,0	12,7	4,2	4,7
Investissements infrastructure (mio €)	2,9	2,9	3,5	2,8	2,8
Investissement total (mio€)	15,2	8,9	16,2	7,0	7,5
Coûts opératoires					
Amortissement et frais financiers (€t)	31,3	18,2	33,3	14,5	15,4
Personnel (€t)	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Assurances, entretien, GER	6,0	3,6	6,5	2,8	3,0
Energie (€t)	6,0	27,8	15,4	3,5	3,8
Consommables, neutralisants, eau (€t)	0,5	0,5	1,4	0,5	0,5
Elimination résidus ultimes (€t)	0,5	0	2	0	0
Recettes (énergie et métaux)* (€t)	-12	-14	-12	-12	-12
Coût de traitement normalisés(€t)	42,6	46,4	56,9	19,6	21,0

* La valeur des recettes est calculée en faisant l'hypothèse d'un revenu supplémentaire pour la vente des combustibles de substitution à 1€/GJ.

La variante avec production d'électricité proposée par certains constructeurs n'est pas conseillée pour des unités de cette taille, car elle est relativement coûteuse eu égard à la puissance installée (4 MW électrique). Le surcoût est évalué à 5 millions d'Euros, avec une recette annuelle légèrement supérieure à 1 million d'Euros par an. C'est la raison pour laquelle la valorisation thermique est préconisée.

Aucun des coûts de traitement présentés dans les différentes options ne tient compte du prix de reprise de certains déchets industriels (par ex : pneus usagés, farines animales...). Dans ce cas, les coûts pour les collectivités seraient moindres, de même que si un subside de la Région devait être pris en considération.

1.7 BILANS ÉNERGÉTIQUES

Les constructeurs ont établi leurs bilans matière et énergie pour le traitement de 50.000t/an (40.000t d'OM à 10MJ/kg, 30% humidité et 10.000t de DIB à 12MJ/kg, 23% d'humidité) à PCI moyen de 10,4 GJ/tonne.

Le tableau qui suit donne les détails :

- des énergies consommées (électricité et fuel)
- l'énergie contenue dans les produits de thermolyse
- la production d'énergie pour les 2 variantes « vapeur » et « électricité ».

Construct.	Energie consommée			Production énergie	Energie nette	Rendement
	Electr. KWh/t	Fuel/GN MJ/t	Total MJ/t			
THI	100	--	360	Vapeur 2700 MJ/t	GJ/t 2,3	% 22%
TRD	460	8	1664	6200	4,5	44%
OKA	46	4350	4500	--		--%
SFT	216	270	1050	5000	4,0	38%
BSE	50-80	--	290	8500	8,2	79%
NES	64	--	230	7000	6,8	64%

Remarques :

a) Les modes de chauffage diffèrent selon les procédés :

- Chauffage électrique (TRD)
- Chauffage au combustible fossile (OKA)
- Chauffage par récupération partielle de l'énergie contenue dans le gaz de thermolyse (THI et SFT)
- Chauffage par récupération partielle de l'énergie contenue dans le solide et/ou le gaz de thermolyse (BSE et NES).

b) La valorisation des produits de thermolyse n'est pas homogène :

- THI valorise le gaz (5100 MJ/t) dans l'unité et cède à l'extérieur le coke (4000 MJ/t),
- TRD valorise le gaz (4000 MJ/t) et le coke (4600 MJ/t) dans l'unité,
- OKA ne définit pas de valorisation,
- SFT valorise le gaz (6200 MJ/t) et le coke (3100 MJ/t) dans l'unité,
- BSE et NES valorisent le gaz et le résidu carboné dans l'unité

1.8 CONCLUSIONS.

1.8.1 Généralités

Les procédés de thermolyse devraient permettre de traiter plusieurs types de flux de déchets dans des installations de faibles et moyennes capacités, entre 20.000 et 50.000 tonnes par an (en effet, presque la totalité des procédés sont appliqués dans cette gamme de capacités).

Il a été démontré à échelle pilote, voire à échelle industrielle, par les différents constructeurs que ce type de procédés permet de traiter des déchets ménagers, des déchets hospitaliers, des boues de stations d'épuration, des boues industrielles, des farines animales ainsi que des déchets industriels et dangereux, des résidus de broyage automobile, des pneumatiques usagés, refus de centres de tri, etc.

A échelle commerciale, on constate cependant que seul le traitement de déchets industriels est opérationnel depuis plusieurs années (NOELL, TECHNIP).

1.8.2 Bilans énergétiques

On relève que les rendements énergétiques nets des procédés de thermolyse (lorsque le coke est valorisé dans l'unité) ne dépassent pas 45% pour environ 65% en gazéification (le chiffre donné pour BSE nous paraissant sujet à caution).

1.8.3 Coûts de traitement

Pour le traitement de déchets ménagers et assimilés, on observe une différence notable entre les coûts prévisionnels donnés par les constructeurs en Thermolyse proprement dite (en moyenne 80 Euros/tonne) et ceux annoncés en Gazéification (environ 50 Euros/tonne).

Dans un cas comme dans l'autre, ces coûts budgétaires devront encore être validés après mise en exploitation industrielle des unités projetées, en cours de construction ou en phase de mise en service.

On notera également que la valorisation de la vapeur, prise en compte dans l'évaluation des recettes des procédés, reste soumise aux aléas classiques rencontrés pour toute installation thermique produisant de l'énergie : besoins des acheteurs, prix de production d'énergie par une autre source, garantie d'achat à long terme....

A cet égard le point 2.9.2, dans le chapitre 2 consacré à l'incinération, traite des critères à prendre en compte pour la valorisation énergétique de la chaleur issue d'un traitement thermique des déchets.

1.8.4 Validation des procédés pour le traitement de déchets ménagers

On retiendra que, à l'exception de PKA, aucun des procédés présentés dans cette étude n'a donné lieu en Europe à une validation industrielle de niveau significatif pour le traitement de déchets ménagers et assimilés, à savoir entre 20.000 et 50.000 tonnes par an.

THIDE n'a pas encore commencé les travaux de construction de l'unité d'ARRAS (50.000 t/an de Déchets ménagers et de DIB) ;TRAIDEC ne mentionne pas de commandes pour des unités de ce type et NEXUS (Softer) a arrêté les travaux de construction de l'unité de Digny (au niveau de l'achèvement du génie civil) et est en cessation de paiement.

Ni BSE, ni NESA n'ont enregistré de commandes pour de telles unités.

Par contre, l'unité de PKA à Aalen (25.000, t/an) poursuit depuis 2000 sa mise en service et traite actuellement près de 10.000 tonnes/an de déchets ménagers et assimilés.

Quant au procédé THERMOSELECT (de gazéification, non repris dans l'étude), l'exploitation de l'unité de Karlsruhe (225.000, t/an) a repris depuis quelques mois, après modification du système de secours pour la combustion du gaz de synthèse (assuré initialement en torchère), et devrait achever en fin d'année 2001 sa mise en service.

CHAPITRE 2 : PROCEDES DE TRAITEMENT PAR INCINERATION

2.1	<u>La pression réglementaire</u>	2
2.2	<u>Evolution des techniques de traitement des fumées et de combustion</u>	4
2.2.1	<u>Evolution des techniques de traitement des fumées</u>	4
2.2.2	<u>Evolution des techniques de combustion</u>	5
2.3	<u>Les fours à grille</u>	6
2.3.1	<u>Position sur le marché</u>	6
2.3.2	<u>Technologie proposées</u>	6
2.3.3	<u>Recherche et développement</u>	8
2.4	<u>Les fours à lit fluidisé</u>	12
2.4.1	<u>Introduction</u>	12
2.4.2	<u>Présentation générale des procédés</u>	13
2.4.3	<u>Présentation détaillée de certains procédés</u>	16
2.4.4	<u>Appréciation générale des procédés</u>	17
2.4.5	<u>Commentaires de synthèse</u>	20
2.5	<u>Les technologies émergentes</u>	21
2.6	<u>Optimisation de la valorisation énergétique</u>	22
2.6.1	<u>Introduction</u>	22
2.6.2	<u>Modes de valorisation énergétique</u>	22
2.7	<u>Modes de gestion des mâchefers</u>	25
2.7.1	<u>Introduction</u>	25
2.7.2	<u>Application des MIOM en construction routière</u>	25
2.7.3	<u>Moyens à mettre en œuvre pour la valorisation</u>	26
2.7.4	<u>Maîtrise de la filière de valorisation</u>	28
2.8	<u>Evolution des modes de gestion des résidus d'épuration des fumées</u>	29
2.8.1	<u>Introduction</u>	29
2.8.2	<u>Technologies de traitement des REFIOM</u>	30
2.9	<u>Difficultés de la filière incinération avec récupération d'énergie</u>	31
2.9.1	<u>Acceptation d'un Centre de Valorisation Energétique</u>	31
2.9.2	<u>Choix du mode de valorisation énergétique de l'incinération des déchets ménagers</u>	32
2.9.3	<u>Incinération et santé publique</u>	33
2.9.4	<u>Impacts sur l'environnement au niveau local et global</u>	33
2.10	<u>Influence d'autres déchets en co-incinération avec des déchets ménagers</u>	35
2.11	<u>Concurrence de la filière cimentière pour la valorisation énergétique des déchets ménagers</u>	36
2.12	<u>Aspects économiques</u>	37
2.12.1	<u>Généralités</u>	37
2.12.2	<u>Comparaison des coûts de traitement</u>	38

CHAPITRE 2 : PROCEDES DE TRAITEMENT PAR INCINERATION

2.1 LA PRESSION RÉGLEMENTAIRE

Les récentes contraintes réglementaires provoquent un bouleversement important de la filière traditionnelle de l'incinération. Les directives européennes du 8 et du 21 juin 1989 concernant les déchets ménagers fixaient des conditions de combustion ainsi que les qualités de rejets gazeux et liquides pour les installations existantes et les nouvelles unités.

La transcription en droit français a été faite par l'arrêté du 25 janvier 1991 qui a une approche intégrée englobant l'ensemble des rejets.

L'arrêté du 9 décembre 1993, modifié par l'arrêté du 3 décembre 1998, du gouvernement wallon a défini les qualités de rejets gazeux relatives à la lutte contre la pollution atmosphérique en provenance des installations d'incinération de déchets ménagers, notamment en matière de valeur limite à l'émission des dioxines et furanes.

Le traitement des rejets gazeux ainsi que des autres rejets (solides et liquides) s'avère une nécessité et implique des évolutions technologiques au niveau de l'épuration des fumées, aussi qu'au niveau des conditions de combustion des déchets.

Des changements sont déjà en cours, cependant, une surenchère (dont les gains environnementaux ne sont pas encore clairement établis) a conduit à la rédaction de la Directive Européenne 2000/76/CE du 4 décembre 2000, qui regroupe sous un seul texte, l'ensemble des impositions liées à l'incinération et la co-incinération des déchets.

Le tableau ci-après présente l'évolution de la réglementation concernant les rejets gazeux, ces dernières années et son état actuel.

Il est à noter que les valeurs prescrites dans la Directive Européenne du 4 décembre 2000 s'appliquent aux nouvelles installations dès le 28/12/2002 et aux installations existantes dès le 28/12/2005.

	CEE OM 08/06/89	FRANCE OM 25/01/91	Région Wallonne OM 03/12/98	CEE Directive Européenne 04/12/00
Température (°C)	850	850	850	850
Temps de séjour (s)	2	2	2	2
CO	100	100	100	50
COT	20	20	20	10
Poussières totales	30	30	30	10
Composés chlorés (HCl)	50	50	50	10
Composés fluorés (HF)	2	2	2	1
SO _x (oxydes de soufre)	300	300	300	50
NO _x (oxydes d'azote)	-	-	-	200
Ni + As	1		1	
Cd et Hg	0,2	0,2	0,2	
Cd +Tl	-	-	-	0,05
Hg	-	-	-	0,05
Autres métaux lourds	5	5	5	0,5
Dioxines/furanes	-	-	-	0,1 ngTE

Tableau 1 : Réglementation des rejets gazeux pour la valorisation énergétique des déchets
Valeurs exprimées en mg/Nm³ à 11% de O₂ fumées sèches (valeurs journalières)

2.2 EVOLUTION DES TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES FUMÉES ET DE COMBUSTION

2.2.1 Evolution des techniques de traitement des fumées

Le passage de la directive européenne de 1989 à la nouvelle directive demandera des efforts technologiques parfois considérables pour certains polluants dont les gains environnementaux par rapport à d'autres sources de polluants telles que les centrales thermiques (NO_x , SO_x) ou l'impact des transports ne sont pas toujours évidents.

De nouveaux procédés d'épuration importants seront donc mis en place d'ici 2005 afin de répondre aux nouvelles exigences.

- *Par exemple, un électrofiltre deux champs permet d'atteindre les objectifs de 25 mg/Nm^3 de poussières. Pour arriver à 10 mg/Nm^3 , il est nécessaire d'adjoindre un troisième champ, ou d'utiliser un filtre à manche.*
- *Notons à cet égard que toutes les usines d'incinération en Région wallonne sont déjà équipées pour respecter les prescriptions de la nouvelle directive (seulement depuis le 31.12.2000 pour la valeur limite d'émission pour les dioxines et furanes) sauf pour les NO_x .*

La recherche de l'absence de rejets liquides tend à limiter de plus en plus l'utilisation de systèmes humides au profit de systèmes secs, semi-secs ou semi-humides avec l'utilisation de réactifs performants tels que le bicarbonate de sodium ou la chaux à grande surface spécifique.

Le traitement des dioxines et furanes semble s'orienter vers l'injection d'adsorbant (charbon actif ou coke de lignite ou réactif mixte chaux/coke).

Le traitement des NO_x pose beaucoup plus de problèmes car, selon la valeur de rejet qui est souhaitée (tendance actuelle à 200 mg/Nm^3 ou 70 mg/Nm^3 comme c'est le cas aux Pays-Bas, en Allemagne ou en Suisse), il est nécessaire de mettre en place un système non catalytique (injection d'ammoniac ou d'urée dans le foyer de combustion permettant un traitement limité) ou un système catalytique (plus volumineux et plus coûteux, mais plus performant).

A plus long terme, le traitement de NO_x sera certainement intégré dès la conception d'une nouvelle installation et le système catalytique devrait se positionner du fait de ses spécificités (absence de fuite d'ammoniac, traitement combiné des dioxines/furanes et élimination du panache).

L'Annexe 1 présente sommairement les procédés de traitement des fumées disponibles en indiquant les avantages et limites de chaque solution.

Le choix entre les différentes technologies disponibles se fera selon :

- le niveau de performance recherché ;
- la fiabilité des équipements assurant ainsi une disponibilité maximum ;
- la conception modulaire et sa capacité à évoluer sans modification majeure des équipements déjà en place ;
- la facilité d'exploitation.

2.2.2 Evolution des techniques de combustion

Les évolutions pour les procédés de combustion portent essentiellement sur :

- la limitation de la formation de polluants;
- la possibilité d'obtenir des sous-produits valorisables;
- le taux de disponibilité le plus élevé possible (8 200 à 8 500 heures par an);
- la possibilité de traiter des déchets à haut P.C.I.;
- l'optimisation de la récupération thermique.

Les réponses sont d'ordre technologique accompagnées d'un savoir-faire de conduite de plus en plus poussé et d'une instrumentation de contrôle/commande très performante.

On peut s'attendre :

- à l'adaptation des technologies actuelles couramment utilisées (les fours à grilles) ;
- au développement de réalisations industrielles opérationnelles basées sur des solutions déjà utilisées pour d'autres combustibles (les lits fluidisés) ;
- des solutions technologiques émergentes.

En Annexe 2 est présenté un comparatif des technologies de four à grille et de four à lit fluidisé.

2.3 LES FOURS À GRILLE

2.3.1 Position sur le marché

L'incinération des déchets ménagers et ou assimilés est effectuée dans plus de 95% des cas sur des technologies à grilles que ce soit avec ou sans récupération d'énergie, aussi bien sur des unités de faible capacité (<3 t/h) que plus importantes (jusqu'à 30 t/h).

Plusieurs principaux constructeurs se partagent le marché, on peut lister (de façon non exhaustive) :

ABB (procédé W+E), CNIM (procédé MARTIN), INOR (procédé VONROLL), ALSTOM, LURGI (procédé LENTJES), NOELL (procédé K+K), SEGHERS (procédé INCICO), Babcock Borsig Power « BBP » (procédés DUSSELDORF et STEINMULLER notamment)

Les fours à grilles ont une POSITION PREDOMINANTE qui s'explique pour plusieurs raisons :

1. L'expérience en terme de combustion a plus de 50 années dans le monde sur des centaines d'unités, conduite sur des technologies se différenciant tant par l'inclinaison, que par le mouvement et la forme des barreaux.
2. La technologie est bien adaptée aux produits à traiter , dans certaines limites de composition et de pouvoir calorifique.
3. La recherche tend à pérenniser le concept, pour suivre les évolutions de la réglementation notamment sur les normes à respecter à l'émission, ainsi que pour tenir compte de la variabilité des déchets à traiter et de leur pouvoir calorifique. Ces efforts tendent également à maintenir un produit compétitif en regard des autres procédés (lits fluidisés, thermolyse).

2.3.2 Technologie proposées

Dans toutes les gammes de capacités, le choix est large en retenant que la très grande majorité des constructeurs sont des filiales de sociétés européennes pour la plupart situées en Europe du Nord.

La gamme des fours de 4 à 7 tonnes par heures est la plus couramment rencontrée.

On distingue 4 familles de grilles :

- les grilles inclinées « à recul »,
- les grilles inclinées ou horizontales « à poussée »,
- les grilles « à rouleaux »,
- les grilles « basculeuses ».

2.3.2.1 Grilles inclinées à recul

Elles sont toutes basées sur le concept MARTIN, on trouve CNIM, STEIN, (SITY 2000).

Concept grille / voûte :

- contre courant chez CNIM,
- contre courant/central chez STEIN

La grille est dans les deux cas inclinée à 26° et comprend un seul gradin (grille d'un seul tenant), constitué de rangées fixes et de rangées mobiles.

Le mot « recul » vient du fait que le barreau mobile a un mouvement dirigé vers l'amont, c'est à dire côté introduction des déchets.

C'est l'effet gravitaire dû à la pente qui tend à faire descendre le déchet et assurer ainsi sa progression sur la grille jusqu'à l'extracteur.

Différences concernant les barreaux :

CNIM : la rangée mobile est constituée d'un assemblage de barreaux à mouvement de fin de course différentiel pour le ringardage des orifices d'amenée d'air positionnés en tête de barreau et latéralement.

STEIN : assemblage des barreaux plus larges sur toute la rangée (pas de mouvement de barreau à barreau), amenées d'air par nombre de 3 situées en haut du barreau via un petit mamelon dont l'orifice dirige l'air vers l'aval et parallèlement à la surface de celui-ci.

Les charges massiques selon les constructeurs varient de 300 à 370 kg/h/m² et les charges thermiques varient de 700 à 800 kW/m²

Les gammes de capacité s'échelonnent de 3 à 30 t/h par four, au delà de 5 t/h (1 piste) le four peut comprendre plusieurs pistes (piste = unité modulaire de rangées fixes et mobiles).

2.3.2.2 Grilles inclinées ou horizontales à poussée

ABB (W+E), INOR (VON ROLL), NOELL (K+K), LURGI (LENTJES)

Concept grille / voûte :

- ABB : central,
- INOR : contre courant,
- NOELL et LURGI : contre courant.

La grille comprend dans tous les cas une alternance de rangées fixes et de rangées mobiles, celle-ci est constituée d'un seul gradin pour ABB et INOR, de 2 gradins pour NOELL et LURGI ; elle est horizontale ou inclinée :

- horizontale (inclinaison = 0°) pour ABB.
- inclinée de 6° pour NOELL, 10° pour LURGI
- inclinée de 18° pour INOR.

Différences concernant les barreaux :

ABB : la rangée mobile est constituée d'un assemblage de barreaux à mouvement de fin de course différentiel pour le ringardage des orifices d'amenée d'air positionnés en tête de barreau et latéralement.

INOR, NOELL et LURGI: assemblage des barreaux sur toute la rangée (pas de mouvement de barreau à barreau), amenées d'air comprenant plusieurs orifices en nez de barreau. Orientation du barreau incliné chez INOR et NOELL.

Les taux de charge massique selon constructeurs varient de 250 à 350 kg/h/m², les charges thermiques sont de l'ordre de 700 kW/m².

Les gammes de capacité s'échelonnent de 3 à 30 t/h pour un four ABB, INOR et LURGI, mais limitée à 15 t/h pour NOELL, au delà de 5 t/h (1 piste), le four peut comprendre plusieurs pistes.

2.3.2.3 Grille inclinée basculeuse

SEGHERS

Concept grille / voûte : co-courant.

La grille comprend 3 gradins légèrement inclinés (env. 20°), dont les plans sont constitués de « longerons » alternativement fixes et mobiles et animés d'un mouvement longitudinal. Ce mouvement vers l'aval bascule légèrement (et en seul mouvement) l'ensemble des barreaux empilés les uns à côté des autres sur des pièces appelées « sabots », solidaires des longerons.

L'air de combustion est distribué par une multitude de canaux cylindriques de quelques millimètres de diamètre, débouchant perpendiculairement sur la face supérieure des barreaux. Le taux de charge massique est de l'ordre 250 kg/h/m².

2.3.2.4 Grille inclinée à rouleaux

BBP

Concept grille / voûte : co-courant.

La grille comprend un gradin incliné à 20° constitué d'un assemblage de 6 rouleaux d'un diamètre unitaire voisin de 1,5m. Chaque rouleau constitué d'une cage autoportante en profilés comporte des barreaux en secteurs lisses, disposés en périphérie de celui-ci. Les jeux de barreaux en fonte grise, intègrent des fentes de soufflage calibrées, assurant sur toute la surface du rouleau la distribution d'air de combustion.

Le taux de charge admis est de 250 à 300 kg/h/m².

2.3.3 Recherche et développement

La technologie de four à grille présente l'avantage d'être utilisée depuis de nombreuses années, d'être robuste, d'accepter une grande hétérogénéité de déchets solides, de n'imposer aucune préparation des déchets et de supporter des encombrants relativement volumineux. Elle impose comme contrainte la nécessité d'un excès d'air important et le fonctionnement dans une plage de P.C.I. relativement restreinte : de 6.000 à 12.500 kJ/kg (ou 3.000 kcal/kg).

Les améliorations de conception des ensembles « four à grille/chaudière » portent depuis plusieurs années sur :

- L'alimentation contrôlée des déchets de manière à réduire les variations de charges calorifiques génératrices d'irrégularités de combustion;
- Une diminution de l'air de combustion : uniquement utilisé pour l'incinération et non plus pour le refroidissement de la grille de combustion, laquelle peut être refroidie par un circuit d'eau séparé, ce qui permet ainsi d'incinérer des déchets à P.C.I. plus élevé (jusqu'à 18.500 kJ/kg ou 4.500 kcal/kg);
- Une meilleure régulation des débits d'air (air primaire et air secondaire) afin d'éviter les pointes de température (formation des NOx) et de diminuer les teneurs en CO. Cette régulation des débits permettant ainsi d'envisager la possibilité d'effectuer une recirculation des fumées de combustion;
- Le contrôle de la combustion afin de réguler la charge thermique et la température des fumées, notamment par la commande séparée de plusieurs sections de grille, afin d'obtenir une récupération de chaleur régulière et des mâchefers de bonne qualité;
- L'optimisation du rendement thermique aux alentours de 80-85%, qui est un maximum technologique (soit un gain énergétique d'environ 10% par rapport au rendement de beaucoup d'usines existantes).

De même, plusieurs axes complémentaires sont en développement.

- l'optimisation du concept voûte / grille,
- la grille proprement dite concernant son refroidissement,
- la recirculation de fumées refroidies et dépoussiérées en post-combustion.

a. L'optimisation du concept voûte / grille

Certains constructeurs cherchent à améliorer leur propre concept de façon à pouvoir garantir une meilleure qualité de fumées (imbrûlés, NOx, poussières,...).

On note ainsi la tendance plus ou moins marquée à décaler vers l'aval le carneau d'évacuation des fumées, de façon à limiter au maximum la fuite d'imbrûlés de type CO ou CnHm et à maintenir le plus longtemps possible les fumées à une température « adiabatique » comprise entre 1000 et 1200°C.

Le concept de « contre courant » devient « central » si le carneau se positionne à peu près au milieu de la grille, ou « co-courant » si celui-ci est situé proche du puits d'évacuation des mâchefers.

Il y a lieu de remarquer cependant que la position des injections d'air secondaire, le nombre de buses, la vitesse d'injection.... jouent également un rôle très important et donc, que c'est l'ensemble qui permet de garantir la teneur en polluants résiduels, ceci étant associé à l'architecture du contrôle automatique de combustion (qui agit sur les quantités d'air primaire, secondaire,...).

b. Le refroidissement de la grille à l'eau

La grille est généralement refroidie par de l'air de combustion admis soit à température ambiante, ou plus généralement après réchauffage à une température de 130/140°C (caissons de tête principalement).

Le débit d'air primaire global et par caisson est régulé par le contrôle automatique de combustion. Ce débit fluctue suivant les impératifs de charge mis en consigne, de la qualité des déchets,...

La couche de déchets peut, de temps à autre, ne pas être homogène en épaisseur, et parfois certains barreaux peuvent être mis à nu et en contact direct avec la flamme.

Le PCI n'est pas nécessairement homogène, ce qui peut engendrer localement des températures de combustion élevées.

On peut donc assister en certains points, à des cycles thermiques variables en amplitude et en temps.

Les barreaux dans ces conditions sont soumis conjointement à des attaques chimiques (corrosions par le chlore...) et à des niveaux de température élevés (500/600°C au lieu de 350/400°C).

Certains constructeurs ont mis en expérimentation depuis environ 3 à 4 ans, un refroidissement par l'eau, à une température constante, généralement réglée à 90°C. Dans ces conditions, la température de « travail » devient indépendante des variations de débit d'air primaire, ce qui permet d'allonger sensiblement la durée de vie de la grille et de supporter des charges thermiques plus importantes (de 900 à 1500 kW/m²).

Le refroidissement de l'eau s'effectue par un échangeur de chaleur avec l'air comburant primaire ; la conception de cet échangeur est semblable à celle du réchauffeur d'air primaire.

Le circuit est en boucle fermée et contient de l'eau traitée.

INOR, NOELL et BBP proposent cette technique, de même que STIEFEL dont les applications sont déjà nombreuses (notons que cette technologie a été retenue pour le reconditionnement de la ligne n°2 de l'usine IBW de Virginal).

c. La recirculation des fumées

La recirculation des fumées consiste à prélever une partie (10% à 15%) des fumées en sortie de dépoussiérage ou en sortie de chaudière (T° : 200 à 250°C).

Ces fumées sont réinjectées en zone de post-combustion, en complément de l'air secondaire pour refroidir les fumées.

Plusieurs objectifs incitent à mettre en œuvre ce principe :

- La diminution de la taille des équipements en aval, essentiellement du traitement des fumées (gain investissement : 5% en moyenne),
- Cette diminution du débit transitant dans cette partie de l'unité aboutit à réduire la consommation d'énergie électrique du ventilateur d'extraction
- Une légère augmentation du rendement de récupération, donc de production de vapeur : gain : +1,1 à +1,5 % selon la quantité recirculée.
- Une diminution de la concentration en NO_x, puisque la concentration en O₂ des fumées diminue : réduction environ 20 à 25%.
- Une réduction de la quantité de dioxines et furannes, par la diminution de la teneur en oxygène et par un maintien plus aisé d'une température de 850°C pendant 2 sec. minimum.

Le contrôle de la recirculation nécessite du savoir faire et de l'expérience, au moins pour 2 raisons : les gaz sont humides mais également acides (puisque non traités), d'où des précautions impératives pour éviter les points froids engendrant des corrosions acides.

VON ROLL (INOR) et ALSTOM proposent cette technique en France, le premier sur la base de quelques références en UIOM en Europe du Nord (Hollande, Suisse, Suède, Norvège,...) le second sur la base de l'expérience sur unités de combustion en combustibles fossiles. CNIM applique cette technique depuis quelques années en Angleterre et la met en œuvre également dans l'extension de l'usine IPALLE de Thumaide.

On peut donc penser que, de par ses évolutions, le four à grille restera une technologie de référence pour les déchets ménagers.

2.4 LES FOURS À LIT FLUIDISÉ

2.4.1 Introduction

Les fours à lit fluidisé ne sont pas de conception récente ; les techniques mises en œuvre ont été expérimentées en combustion de produits et de déchets depuis plusieurs décennies : grillage de minerais, combustion de déchets agroalimentaires, combustion de charbon, de bois, de tourbe et de lignite, combustion de boues urbaines....

L'application de ces techniques à la combustion de déchets préparés est plus récente et remonte au début des années 80 principalement au Japon.

On trouve également quelques applications aux Etats-Unis et en Europe (principalement en Allemagne, Suède, Espagne et France).

Il faut noter que les installations françaises sont en cours de validation et que l'ADEME a apporté une aide financière pour ces installations et opère actuellement un état des lieux des installations françaises (5).

Le principe général de la technique dite du « lit fluidisé » est d'effectuer la combustion de produits solides ou pâteux (mais également de fuel lourd), de granulométrie relativement homogène, dans un lit de matériaux mis en suspension par insufflation d'air (air de fluidisation et air primaire de combustion).

L'air, lors de son ascension au travers du lit forme des bulles de taille croissante qui brasse les solides et provoque un mélange rapide de toutes les particules.

La masse de solides en suspension (sable et combustible) a un comportement semblable à un liquide en ébullition et les fortes turbulences engendrées dépendent de la quantité d'air insufflée sous le lit, de son mode d'injection et de la vitesse de fluidisation ;

Le lit est généralement constitué d'un mélange de sable d'une granulométrie bien définie et de déchets, voire de cendres recirculées (cas des lits fluidisés circulants) ; des cendres calciques peuvent également être utilisées en place de sable pour réduire l'importance des équipements de traitement des fumées.

Le lit, après avoir été porté à la température d'ignition des combustibles, donne les qualités d'une bonne combustion :

- Une température uniforme grâce à l'agitation du lit et la grande surface de contact entre les particules du lit et celles des combustibles,
- Une bonne turbulence par le mélange vigoureux des particules sous l'action de l'air injecté,
- Un temps de séjour suffisant tant dans le lit que dans la zone de postcombustion permettant une combustion complète et rapide.

Par opposition aux fours d'incinération à grilles, les fours à lits fluidisés ne comprennent pas de grille support de l'avancement et de la combustion des déchets ; les déchets sont cette fois directement injectés sur ou dans le lit où s'effectue directement la combustion de la partie solide des déchets sous l'action de l'air primaire

Les gaz combustibles dégagés par la combustion sont brûlés en partie haute du four (en chambre de postcombustion selon le type d'aménagement du four), en assurant un temps de séjour de plus de 2 secondes à 850°C après dernière injection d'air secondaire.

Pour des déchets ménagers ou des déchets industriels banals préalablement triés et broyés, les différences principales s'observent en matière de combustion dans des fours à grilles et dans des fours à lit fluidisé :

	Four à grille	Four à lit fluidisé
PCI déchets (kJ/kg)	6000 à 14000	7000 à 30000
Température combustion	950 à 1050 °C	650 à 900 °C
Température postcombustion	850 à 950 °C	850 à 950°C
Excès d'air	80 à 100%	40 à 80 %
Turbulence	faible	forte
Imbrûlé scories	2 à 3%	< 1%
Inertie thermique	faible	forte
Temps de séjour	30 à 120 minutes	quelques minutes

2.4.2 Présentation générale des procédés

On distingue généralement les techniques suivantes :

- Le four à lit fluidisé dense
- Le four à lit fluidisé rotatif
- Le four à lit fluidisé circulant

Ces techniques sont combinées à une chaudière de récupération, une valorisation par production d'électricité et un traitement de fumées, dont les conceptions sont fort similaires à celles rencontrées dans les procédés de fours à grille.

Les premiers passages de chaudière sont néanmoins directement dépendant des techniques de fours à lit fluidisé (notamment pour le four à lit fluidisé circulant).

Seules les technologies des fours sont succinctement présentées ci-après.

2.4.2.1 Four à lit fluidisé dense (FLD)

Dans ce type de four, le mouvement de l'air dans le lit est vertical et la vitesse de fluidisation est faible, de l'ordre de 0,5 à 2 m/sec., ce qui limite le risque d'érosion des parties en contact avec le flux gazeux.

Le mélange du sable et des déchets injectés (après broyage à 150 mm et extraction des ferreux) reste concentré en partie basse du foyer : les déchets plus lourds peuvent tomber sous le lit et les déchets légers peuvent être emportés avec le flux des gaz de combustion avant leur combustion complète.

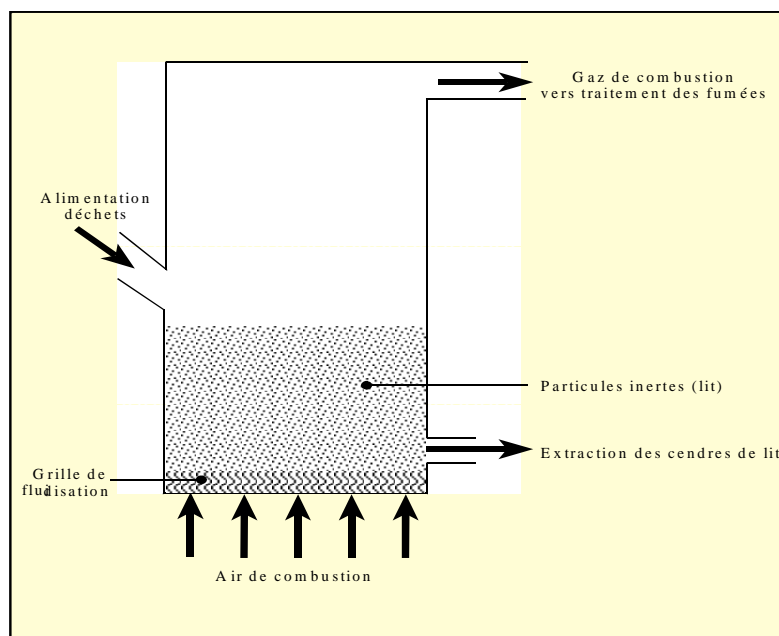
Le mélange gaz/particules n'est donc pas homogène, mais plus concentré en partie inférieure.

Cette technologie est la plus simple techniquement, ce qui la rend intéressante pour des petites capacités (2 à 10 t/h).

Selon les technologies certaines limites peuvent exister au niveau de la souplesse d'utilisation : les difficultés majeures paraissent liées à la difficulté d'obtenir un mélange homogène et une bonne répartition des températures, avec comme conséquence un risque d'agglomération et de collage de particules dans les zones les plus chaudes.

Une certaine modulation de l'injection d'air de fluidisation a néanmoins été introduite dans ce type de four (KVAERNER, IHI) pour éviter la formation de points chauds dans le lit et le risque de phénomènes de prise en masse.

Figure 1 : Four à lit fluidisé dense « classique »



L'application de cette technique sur des déchets ménagers et assimilés a été réalisée en France (procédé L4F) à Mantes (3*4 t/h), à Doullens (1*4 t/h) et à Monthyon (1*4 t/h), en introduisant cependant une grille de fluidisation par pyramides.

A notre connaissance l'unité de Mantes n'est toujours pas opérationnelle (modification en cours sur le système de fluidisation) et l'unité de Doullens est arrêtée suite à de nombreux problèmes récurrents.

2.4.2.2 Four à lit fluidisé rotatif (FLR)

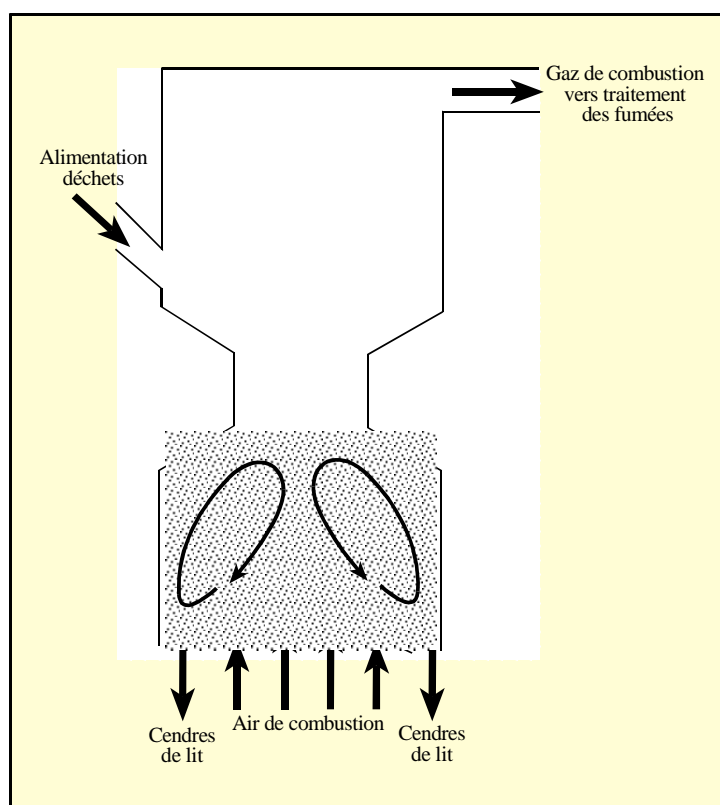
Ce type de four a été étudié pour améliorer la combustion des résidus dans le lit ; l'injection de l'air de fluidisation est modulée de façon à créer deux mouvements rotatifs opposés dans la masse du lit, mais la vitesse de fluidisation reste basse, de l'ordre de 0,6 à 1,2 m/sec.

La géométrie du foyer intègre un rétrécissement entre la zone de combustion du lit et la zone de postcombustion des gaz, ce qui favorise également la mise en rotation du lit et son brassage intense.

Ce procédé (dénommé ROWITEC) a été développé par EBARA au Japon (où de nombreuses références existent) et mis en œuvre en Espagne (Madrid : opérationnel) et en France (Gien et Mulhouse : en mise en service) pour des capacités de 5 à 15 t/h de DIB préparés. Il est actuellement repris en Europe par LURGI.

Il nécessite également une bonne homogénéité des déchets à introduire dans le foyer, ce qui implique une préparation par tri (séparation des ferreux) et broyage à 300 mm au moins.

Figure 2 : Lit fluidisé dense « rotatif »



Moyennant une préparation adéquate, tous types de déchets peuvent être traités : déchets industriels banals, déchets ménagers, boues de step, pneumatiques.....)

2.4.2.3 Four à lit fluidisé circulant (FLC)

Dans ce type de four, la vitesse de fluidisation est portée à plus de 3 m/sec et provoque l'entraînement du lit et des déchets traités (mise en suspension sur toute la hauteur du foyer) avec les gaz de combustion.

Le foyer est suivi par un cyclone de séparation des particules brûlées et imbrûlées avant réinjection en partie basse du foyer.

L'intérêt spécifique de cette technologie est l'assurance d'une grande homogénéité de température dans l'ensemble du foyer et d'un bon contact entre les déchets et l'air de combustion à condition que la granulométrie des déchets soit faible.

Cette technologie implique une préparation poussée des résidus à traiter (broyage à 150 mm, voire à 50 mm selon les procédés) et la séparation des ferreux, l'extraction du verre est également souhaitable pour limiter les phénomènes d'érosion. Il est fréquent d'ajouter au sable du lit des composés calcaires ou de la dolomie pour contribuer à l'abattement des SO₂ et HCl.

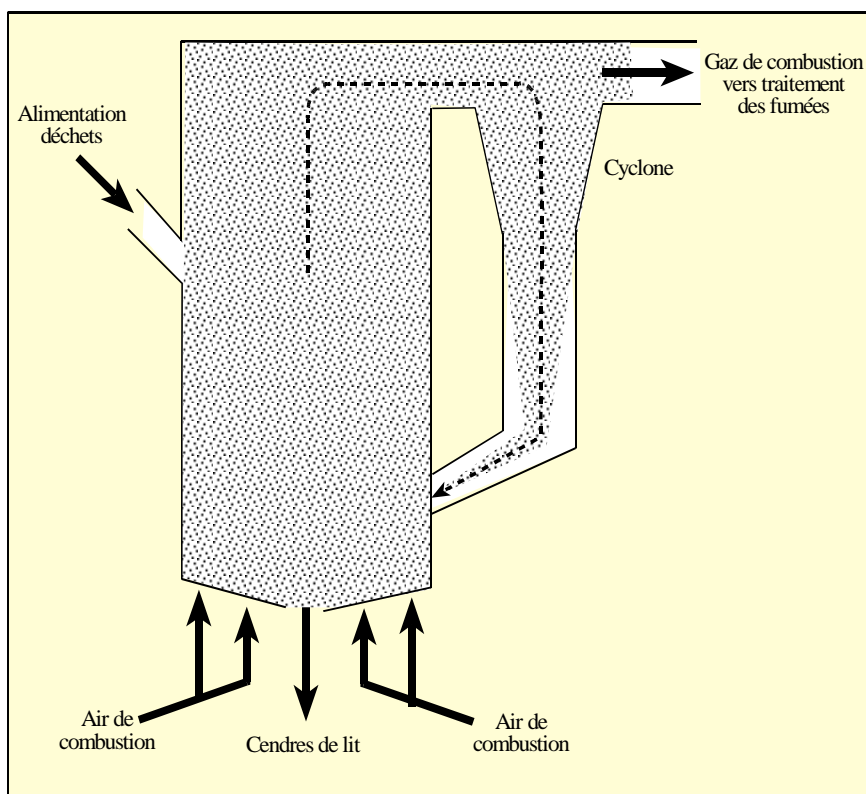


Figure 3 : Four à lit fluidisé circulant

De tels fours ont été développés par KVAERNER (Suède et Etats-Unis), AHLSTROM (Pyroflow) avec comme licenciés CNIM et FOSTER-WHEELER (Etats-Unis) avec des capacités de 20 t/h de DIB préparés et davantage.

2.4.3 Présentation détaillée de certains procédés

Afin d'illustrer les procédés applicables pour des déchets ménagers et assimilés (DIB compris) à des capacités significatives (de 5 à 20 t/h) et pour motiver ultérieurement des observations de synthèse, nous avons visité l'usine de Mulhouse (procédé EBARA) et établi une comparaison d'offres techniques pour les technologies LURGI (EBARA), en four à lit fluidisé rotatif, et pour les technologies KVAERNER et CNIM (AHLSTROM), en four à lit fluidisé circulant.

Les Fiches n°1 et n°2 en Annexe 3 reprennent ci-après les renseignements obtenus.

Il faut noter que d'autres procédés de fours à lit fluidisé ont été développés plus spécifiquement pour des boues de Step, tels les procédés SEGHERS Sludge Evaporator/Combustor et NICHOLS.

Comme ces procédés n'ont pas été appliqués au traitement de déchets ménagers et assimilés, ils n'ont pas été repris dans les fiches de présentation.

2.4.4 Appréciation générale des procédés

2.4.4.1 Avantages

- Nature des déchets à traiter

Les lits fluidisés peuvent traiter des déchets dont le PCI est compris, selon les types de procédés entre 5 et 20 MJ/Kg, voire 30 MJ/kg pour certains fours à lit circulant

Chaque type de four présente cependant une plage de variation de PCI qui lui est propre compte tenu de la technologie mise en œuvre.

Les produits traités vont donc de déchets ménagers aux encombrants ménagers, aux déchets industriels banals, aux déchets de bois, aux déchets bitumineux, aux lignites et à certains charbon, aux boues déshydratées de Step, etc...

L'injection simultanée de déchets à PCI différents est donc parfaitement possible, en veillant au respect de la charge thermique autorisée du four.

- Souplesse d'utilisation

L'inertie thermique importante du four, due à la masse de particules minérales en suspension, permet de supporter des variations de la charge thermique apportée par les déchets, ces variations étant plus ou moins importantes en fonction des technologies appliquées (FLC, FLR ou FLD).

Néanmoins les fours nécessitent un fonctionnement à charge thermique régulière, puisque leur régulation repose essentiellement sur le débit de la vapeur récupérée.

L'admission ponctuelle de produits à PCI différents ne semble cependant pas poser de problèmes, vu l'effet de turbulence du lit (FLC et FLR).

- Rendement de combustion

Vu le mélange turbulent entre l'air de combustion et les déchets à traiter et le maintien d'une température homogène dans le lit, les taux d'imbrûlés obtenus sont inférieurs à 1% (2 à 3 % pour des fours à grille).

La qualité des sous-produits de combustion captés sous le foyer, sous la chaudière ou dans l'installation d'épuration des fumées est en conséquence meilleure.

Le risque de formation de cendres fondues est moindre que dans un four à grille du fait d'un niveau de température dans le lit (entre 750 et 850 °C en général) inférieur à celui observé sur la grille (950 à 1000 °C)

- Rendement énergétique global

Les rendements thermiques « four à lit fluidisé –chaudière » sont de l'ordre de 85 à 90%, alors que les ensembles « four à grille-chaudière » présentent généralement des rendements de l'ordre de 78 à 82%.

En effet les pertes par imbrûlés, par chaleur sensible dans les mâchefers (de 15 à 20% en poids au lieu de 20 à 25%) et par chaleur sensible dans les fumées sont plus faibles (excès d'air de 6% au lieu de 8 ou 9%).

Par contre, au niveau de la production électrique nette (vente au réseau), les rendements énergétiques globaux redeviennent similaires, vu la consommation électrique importante que la préparation des déchets nécessite, soit de l'ordre de 20 à 23%.

- Qualité des fumées

Les gaz de combustion peuvent être partiellement neutralisés en composés chlorés et soufrés par adjonction de pierres calcaires (fours LFC), ce qui réduit les risques de corrosion des surchauffeurs et permet de travailler à des régimes pression / température plus élevés, induisant ainsi un meilleur rendement du groupe turbo-alternateur.

La qualité des gaz de fumées (en principe moins importants vu l'excès d'air réduit) est similaire à celle obtenue à l'aval de fours à grille, les filières d'épuration étant similaires.

Notons cependant une teneur en NOx plus faible (< à 300 mg/Nm³) que celle rencontrée en four à grilles (de 300 à 400 mg/Nm³).

2.4.4.2 Désavantages

- Préparation des déchets

La préparation des déchets est cruciale pour le bon fonctionnement du four à lit fluidisé, tant au niveau de la granulométrie des produits qu'au niveau de leur homogénéité : les parties ferreuses notamment doivent être écartées pour éviter tout colmatage des dispositifs d'injection dans le four (vis par exemple) et d'extraction sous le four (vis refroidies en général).

Il est donc nécessaire que des DIB, des encombrants ménagers... soient prétriés soigneusement avant broyage, déferrailage secondaire et injection dans le four ; le couplage d'un FLF avec un centre de tri est donc indispensable.

Le problème ne se pose pas pour des boues de Step ou d'autres déchets plus homogènes (déchets de bois...).

- Contrôle-commande

Un four à lit fluidisé réagit rapidement à des changements qualitatifs et quantitatifs des produits enfournés, vu le faible temps de séjour dans le foyer et la phase de gazéification pratiquement instantanée.

Le temps de réaction est de l'ordre de quelques secondes (et non de quelques minutes avec des fours à grille) : cela a des conséquences non négligeables sur la

conception des systèmes de régulation du four-chaudière et du traitement des fumées.

- Gestion des sous-produits

Le taux d'envol des cendres volantes est important et la répartition entre scories sous foyer et cendres volantes est de 20-30% / 80-70% contre 94-97% / 6-3% pour un four-chaudière à grille.

Le risque de phénomène d'érosion est donc plus présent dans un four à lit fluidisé (surtout FLR et FLC), notamment au niveau des cyclones de séparation et des réfractaires de protection des tubes de chaudière.

Les sous-produits de traitement sont obtenus à divers niveaux :

- Scories lourdes sous foyer
- Cendres sous chaudière
- Cendres de pré-dépoussiérage (cyclone) et de dépoussiérage
- Résidus d'épuration des fumées (refioms)

Ces sous-produits ont des caractéristiques différentes des résidus en incinération classique et leur gestion doit être appréhendée de façon spécifique.

L'Annexe 4 reprend l'approche réglementaire adoptée actuellement en France.

2.4.5 Commentaires de synthèse

2.4.5.1 Aptitude au traitement des DIB et des boues de Step

Les procédés de fours à lits fluidisés sont bien adaptés à la combustion de déchets industriels banals à condition que leur préparation sous forme d'un fluff homogène soit rigoureusement menée dans une installation de tri et broyage située à l'amont de la centrale thermique.

Les boues de Step peuvent être traitées conjointement sans difficulté particulière, vu leur homogénéité et l'effet de turbulence assuré dans le lit associé à un faible taux d'imbrûlés.

Il est donc parfaitement possible de dépasser un ratio 10-15% de boues à 30%MS dans la quantité de déchets enfournés (en fours à grille) et d'atteindre 30 à 50% en fours à lit fluidisé.

2.4.5.2 Aspects économiques

- Investissements

La comparaison des investissements, exprimés en Tonne/heure installée ou en MWth, pour des installations en fours à grille (FG) et des installations en fours à lit fluidisé FLF - avec chaudière, valorisation électrique, traitement de fumées et génie civil - fournit les ratios suivants :

- En FG : de 120 à 160 Mios BEF, de 40 à 50 MW th
- En FLF : de 150 à 190 Mios BEF, de 40 à 50 MW th

Les coûts d'investissement en FLF sont donc de 10 à 20% plus élevés qu'en FG (cette augmentation est notamment due à la préparation des déchets en FLF), si l'on considère le tonnage traité comme élément significatif.

Par contre, par MW th installé, les coûts d'investissement sont similaires.

- Coûts de traitement

Les coûts de traitement des unités FLF sont repris en section 2.12 ci-après.

2.5 LES TECHNOLOGIES ÉMERGENTES

Une technologie semble se dégager pour le traitement de déchets solides (déchets ménagers et assimilés, DIB, refus de tri et RDF, pneus usagés...) : la thermolyse ou pyrolyse

La thermolyse ou pyrolyse consiste à dégrader thermiquement (scission des liaisons intramoléculaires) une charge hydrocarbonée sous l'action de la chaleur à des températures modérées et en l'absence d'oxygène. Le produit initial est transformé en gaz non condensables et condensables, en vapeur d'eau et en résidu solide.

Deux tendances se dégagent : les procédés différenciant la valorisation des produits et ceux l'intégrant dans la même unité.

Le réacteur de thermolyse ou de pyrolyse n'est qu'une étape du procédé. Des opérations préalables doivent être mises en œuvre pour préparer le déchet, notamment le broyage et le séchage. De plus, des étapes complémentaires de gestion de produits obtenus sont indispensables pour finaliser le traitement.

Ces procédés présentent certains avantages tels qu'un débit de fumées très inférieur à l'incinération et une production de résidus d'épuration des fumées réduite.

Les techniques qui sont en développement industriel sur des déchets ménagers et assimilés en Europe soulèvent un certain nombre de questions :

- maîtrise des réactions avec des déchets hétérogènes;
- sécurité des installations face à des éventuelles explosions;
- difficulté technologique pour avoir une conduite de fonctionnement en continu;
- devenir des produits solides et liquides;
- coût réel de la filière englobant l'ensemble des "pré et post" traitement;
- tenue des équipements réfractaires et des équipements de récupération thermique.

Le Chapitre 1 de la Phase 2 de l'étude est consacrée aux techniques de thermolyse-pyrolyse.

2.6 OPTIMISATION DE LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE

2.6.1 Introduction

L'incinération des déchets ménagers permet de produire de l'énergie à partir d'un gisement à valoriser en remplaçant un combustible "noble" (fuel, charbon, gaz). On substitue ainsi :

- une énergie "renouvelable" (tant que l'on produira des déchets) à une énergie fossile;
- une énergie locale à une énergie importée;
- une énergie fatale à une énergie que l'on doit extraire et transporter.

L'incinération ne doit plus être uniquement considérée comme un outil de salubrité publique mais comme permettant de valoriser une source d'énergie renouvelable se manifestant comme un flux constant et répétitif.

A titre de comparaison, une famille de trois personnes produit environ une tonne de déchets par an. Leur combustion fournit la même quantité d'énergie qu'environ 200 litres de fuel (1 tonne de déchets ménagers = 0,2 T.E.P.). L'incinération des déchets produits par sept familles assure les besoins en chauffage et d'eau chaude d'une famille. Si on ne produit que de l'électricité, l'incinération des déchets de 20 familles assure les besoins électriques (hors chauffage) d'une famille.

Le potentiel énergétique des déchets ménagers est donc loin d'être négligeable et doit être une donnée primordiale à prendre en compte lors d'une gestion intégrée basée sur l'optimisation de la valorisation des déchets.

En 1998, seulement un quart des déchets ménagers en Europe (environ 33 millions de tonnes) étaient incinérés avec valorisation énergétique (ce qui représente une économie d'environ 11 millions de tonnes de charbon, soit 6,6 millions de T.E.P.).

A titre indicatif, si l'intégralité du gisement était incinéré avec valorisation énergétique, il serait possible de couvrir environ 5% des besoins en électricité de toute l'Europe.

De grandes disparités existent entre les pays, mais la tendance observée est de tendre vers l'incinération avec récupération d'énergie. Le Danemark fait office de référence avec l'intégralité du parc d'incinérateurs équipé de récupération d'énergie.

2.6.2 Modes de valorisation énergétique

La valorisation énergétique à partir de la récupération de chaleur effectuée dans la chaudière peut se faire :

- par utilisation directe de la chaleur (valorisation calogène);
- par production d'électricité (valorisation électrogène);
- par production mixte de chaleur et d'électricité (cogénération).

L'incinération électrogène se caractérise :

- par la pérennité du débouché et une latitude totale sur le choix du site de l'usine;
- mais par une valorisation faible (de 20 à 25% environ de l'énergie potentielle des déchets) et un surcoût d'investissement consacré aux équipements de production d'électricité (groupe turbo-alternateur à condensation, équipements de connexion au réseau...).

L'incinération calogène se distingue :

- par une meilleure valorisation (70% de l'énergie potentielle des déchets);
- mais par des débouchés variables et incertains à long terme définis par le taux d'utilisation de la chaleur;
- par la nécessité d'implanter l'usine à proximité de l'utilisateur pour éviter des coûts de réseau prohibitif.

Dans le cas d'une cogénération :

- la vapeur est détendue dans une turbine à contrepression, c'est à dire que la vapeur de sortie est réglée à une pression et une température qui la rendent utilisable pour satisfaire les besoins de chaleur. La détente de la vapeur est plus faible, on produit moins d'électricité qu'avec une turbine à condensation en production électrogène, mais on utilise la chaleur résiduelle.
- on peut aussi prélever la chaleur dans un étage intermédiaire d'une turbine à condensation, c'est la technique du soutirage.

Cette production simultanée de chaleur et d'électricité est une opération énergétique plus performante puisqu'elle permet de produire de l'électricité sans perdre la chaleur.

On épuise au maximum le potentiel énergétique de la vapeur, et les lois de la thermodynamique (principe de Carnot) nous indiquent que le rendement énergétique global peut atteindre 80%.

De plus, la cogénération, par le cycle combiné chaleur-électricité, a un rendement supérieur d'environ 24% par rapport aux cycles classiques de production de chaleur et d'électricité (Figure 1).

Dans une perspective d'optimisation de la valorisation énergétique des déchets, la cogénération apparaît donc comme la solution technique la plus performante. Elle contribue à une économie d'énergie et en plus permet de diminuer les émissions des rejets gazeux, liquides et solides issus des systèmes de productions d'énergies fossiles.

Cependant, la notion de valorisation énergétique ne devient significative que lorsqu'on a une utilisation poussée de la production énergétique. C'est pourquoi on commence à voir apparaître dans les cahiers des charges et prescriptions des seuils minima de production moyenne à respecter.

La cogénération apparaît donc comme la solution technique à préconiser pour une valorisation énergétique optimisée, du fait de son rendement énergétique élevé et de la production de deux sources d'énergie.

Le meilleur choix technologique est l'utilisation d'une turbine à condensation avec soutirage qui permet un rendement de conversion optimal pour la production d'électricité et de chaleur et notamment permet une plus forte production d'électricité lorsque le taux de valorisation de la chaleur s'avère faible (30 à 40%).

Le surinvestissement par rapport à une variante à contre pression est de l'ordre de 10% à 15%, mais ce choix technologique permet une souplesse de fonctionnement (répartition la valorisation électricité/chaleur selon les demandes temporelles).

Cette souplesse de valorisation par une production mixte d'énergie permet de ne pas être dépendant d'une seule catégorie d'acheteurs et de pouvoir répondre aux évolutions inéluctables¹ durant la durée de vie de l'installation.

¹ Pertes ou gains de clients du réseau de chaleur, modification d'ordre tarifaire, réglementaire ou fiscale.

Au niveau économique, une valorisation énergétique optimisée s'avère aussi intéressante :

- par l'économie engendrée par l'autoconsommation d'une partie de l'électricité produite pour les besoins propres à l'usine qui sont de l'ordre de 80 à 100kwh par tonne incinérée et qui vont augmenter avec les traitements de fumées de plus en plus performants et avec la mise en place d'équipements annexes (plate forme de mâchefers....)
- par les recettes engendrées par la vente d'énergie qui permet de diminuer le coût technique d'incinération.

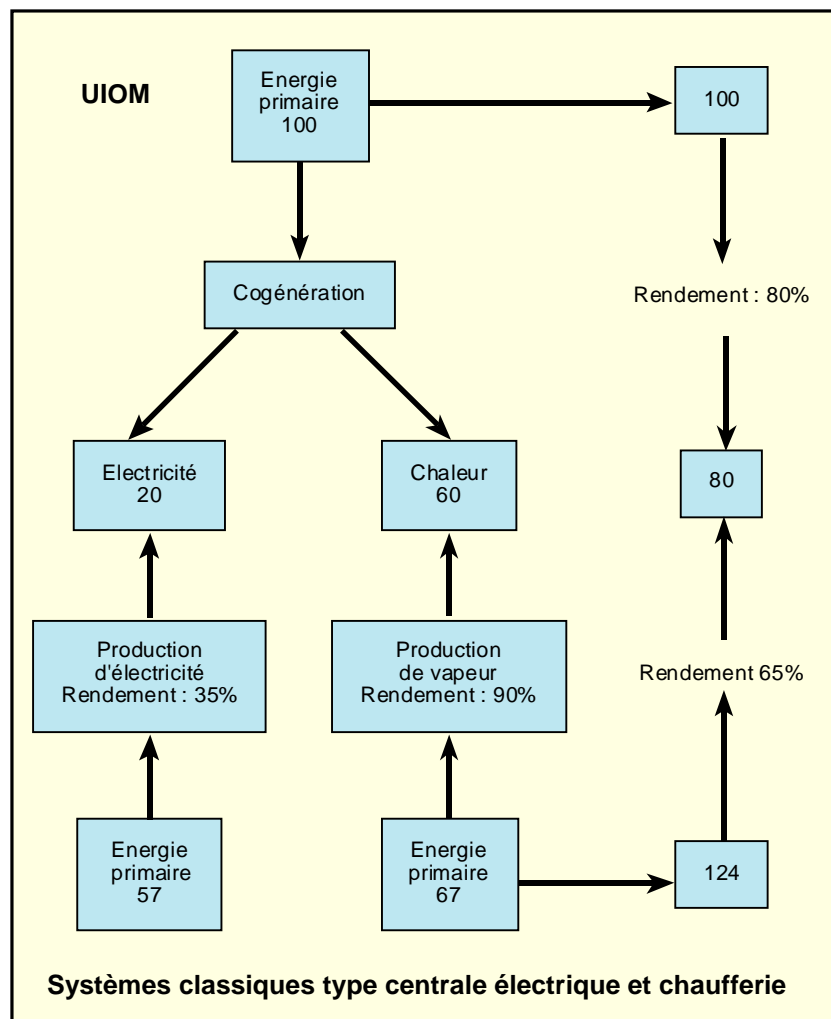


Figure 1 : Comparaison de la production de chaleur et d'électricité entre la cogénération et les systèmes classiques de production d'électricité et de vapeur

2.7 MODES DE GESTION DES MÂCHEFERS

2.7.1 Introduction

Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) sont le principal résidu solide produit par le traitement des déchets par incinération. Ils sont composés uniquement de composés minéraux sous la forme d'une matrice silico-alumineuse avec des oxydes ou des métaux restant sous forme réduite, des imbrûlés de carbone et des sels.

Dans la plupart des fours actuellement utilisés, ils sont récupérés à l'état humide et représentent environ 25% à 30% du tonnage entrant dans une usine d'incinération d'ordures ménagères.

Jusqu'à ces dernières années, les exécutoires pour ces déchets de seconde génération sont des centres d'enfouissement technique de classe II, ou des utilisations "pilotes" sur des chantiers routiers ou de terrassements.

L'évolution, depuis quelques années, passe obligatoirement par l'optimisation de la gestion actuelle des mâchefers. En effet, du fait de leur réel potentiel de valorisation, les mâchefers ne doivent plus être perçus comme des résidus mais comme des matériaux de seconde génération.

A l'exemple de pays tels que l'Allemagne, le Danemark, les Pays-Bas ou la France, la valorisation des mâchefers apparaît essentiellement prometteuse en technique routière ou assimilée.

Le Chapitre 4.1 de la Phase 2 fait le point sur les procédés de traitement des MIOM déjà appliqués en Région wallonne en vue de leur valorisation.

Plusieurs facteurs convergent vers une utilisation accrue de ces résidus de l'incinération :

- la mise en centre d'enfouissement de ces composés est, et deviendra de plus en plus, difficile et coûteuse du fait de la rareté de ces sites et de la "concurrence" avec d'autres déchets plus dangereux;
- les caractéristiques physico-chimiques et leur potentiel polluant limité à quelques composés (teneur en imbrûlés, en sulfates, en plomb) que l'on peut traiter, permettent de les utiliser en remplacement des matériaux naturels (granulats);
- une logique de diminution de l'utilisation de matériaux alluvionnaires ou de gisements calcaires dont l'extraction perturbe l'équilibre naturel (nuisances sonores, dégagement de poussières, pollution des eaux, dégradation du paysage, ...) ainsi que la diminution des gisements impliqueront des transports plus longs et plus coûteux du fait de l'éloignement entre les sites d'extraction et d'utilisation.

2.7.2 Application des MIOM en construction routière

Le constat suivant permet d'illustrer le potentiel d'utilisation des MIOM : on utilise actuellement entre 10 et 12 tonnes de granulats par mètre linéaire de chaussée et environ 18 à 20 tonnes par mètre linéaire d'autoroute. La structure d'une route se composant de différentes couches représentées sur la Figure 2.

Les épaisseurs de chaque couche sont variables selon le type de chaussée (routes secondaires, principales ou autoroutes). Une couche de roulement mesure entre 5 et 8 cm, les couches de base et de fondation entre 20 et 30 cm chacune, une couche de forme entre 30 et 40 cm et l'épaisseur des remblais peut varier jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres.

Les matériaux couramment utilisés sont :

- pour les couches de roulement : un béton bitumeux (mélange d'asphalte et de granulats);
- pour les autres couches : des granulats (sables, graviers et cailloux), en mélange avec des liants hydrauliques, des ciments ou des liants hydrocarbonés.

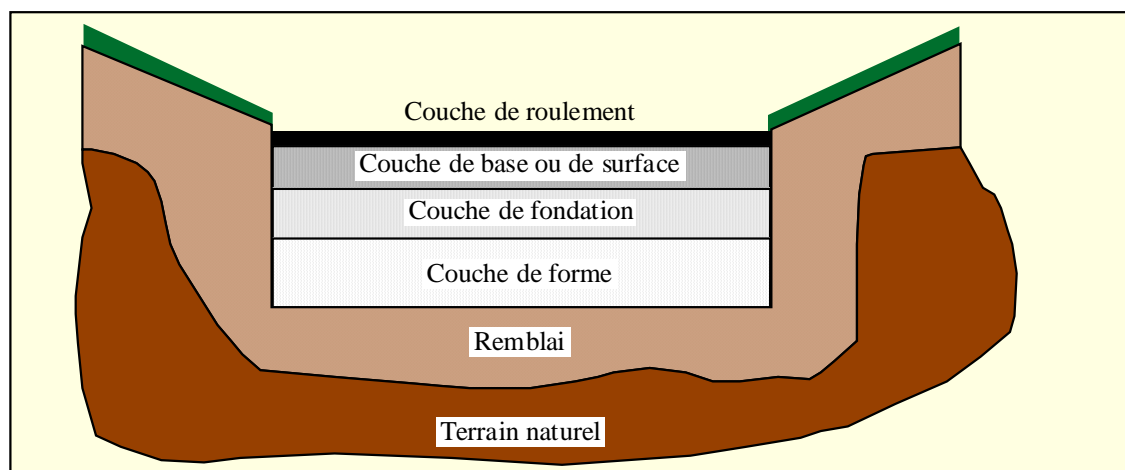


Figure 2 : Couches constituant la chaussée

Les mâchefers apparaissent utilisables dans l'ensemble des couches citées précédemment (hormis couches de roulement) et leur valorisation n'apparaît pas comme un problème technique.

Il est cependant nécessaire de mettre en correspondance les exigences requises à l'utilisation banalisée d'un matériau en technique routière avec les propriétés du mâchefer produit. Son origine, sa variabilité, ses spécificités physico-chimiques (manque de dureté, teneur en certains polluants) exigent plus de vigilance et de contrôles que la plupart des graves de carrière ou de ballastières employées depuis de nombreuses décennies.

2.7.3 Moyens à mettre en œuvre pour la valorisation

Les moyens à mettre en œuvre pour une valorisation banalisée et en grande masse des mâchefers sont :

- une préparation accrue des mâchefers après extraction afin de répondre aux exigences géotechniques et environnementales;
- une incitation de la part des maîtres d'ouvrage afin de mettre en concurrence la valorisation des mâchefers en technique routière avec les autres matériaux plus couramment utilisés (intégration par les pouvoirs publics des solutions à base de mâchefers dans leurs documentations ou prescriptions techniques);
- la mise en place d'une filière de valorisation devant aboutir à une démarche banalisée, voire normalisée.

Le développement des plates-formes de préparation doit être intensifié, ceci afin d'effectuer un prétraitement de qualité du mâchefer.

Les développements techniques sont essentiellement axés :

- sur l'optimisation des techniques de récupération des métaux ferreux, mais aussi des éléments non ferreux tels que l'aluminium (par machine à courant de Foucault sur les mâchefers) afin de tendre vers une extraction maximale de la fraction métallique;
- sur l'optimisation des opérations de criblage afin de trier le mâchefer par classes granulométriques.

Ce pré-traitement optimisé a deux répercussions positives :

- une augmentation des recettes engendrées par la revente des fractions destinées à une valorisation matière (essentiellement les composés métalliques);
- une qualité accrue du mâchefer préparé.

En parallèle, les évolutions techniques au niveau de la combustion ainsi que la mise en place de filières de gestion des déchets contribuent à une diminution de la présence de bloc minéral vitrifié et des imbrûlés (qui limitent leur valorisation actuellement) et ainsi permettent de tendre vers un objectif de refus minimisé.

La maturation reste une étape importante dans la préparation du mâchefer afin que les réactions d'oxydation, de carbonatation et de stabilisation des métaux lourds puissent s'effectuer.

Ce stockage provisoire persistera non seulement afin d'améliorer de façon sensible les caractéristiques environnementales du mâchefer telles que :

- une baisse de la fraction soluble par recombinaison de certaines espèces solubles;
- une baisse du plomb mis en solution liée à la baisse du pH;

mais aussi afin de servir de stock tampon afin d'assurer l'adéquation entre une production au fil de l'eau et une utilisation beaucoup moins régulière mais nécessitant d'importantes quantités.

Des améliorations de ces réactions durant le stockage ont été expérimentées par ajout de réactif à la sortie de l'extracteur des mâchefers. Ce réactif se substitue à l'étape de vieillissement naturel par formation d'une enveloppe insoluble à la surface des grains de chaux et aussi contribue à diminuer la fraction soluble et la réduction du pH. La mise en place de ce mode de traitement accéléré s'avère utile dans l'objectif d'une valorisation poussée des mâchefers où les temps de stockage avant utilisation sont pénalisants.

A terme, on peut s'attendre à une valorisation quasi totale des gisements du mâchefer grâce à une préparation optimisée et par une utilisation de masse en technique routière. On aura recours à une élimination limitée en centre d'enfouissement technique d'une partie non utilisable.

Des perspectives d'utilisation du mâchefer comme matériau de construction à usage plus noble sont toujours à l'étude. Des recherches par l'EPA (Environmental Protection Agency), the US Department of Energy (DOE) et the Federal Highway Administration (FHWA) sont déjà en cours afin d'étudier la valorisation des mâchefers pour les fabrications de parpaings utilisables en construction.

En parallèle à la mise en place, de moyens techniques visant à effectuer une préparation performante des mâchefers, une démarche complète doit être effectuée afin d'arriver à la maîtrise de la filière de valorisation en technique routière.

2.7.4 Maîtrise de la filière de valorisation

La maîtrise de la filière de valorisation dépend d'une démarche qui doit se baser sur :

- des études précises de caractérisation du mâchefer après préparation afin de pouvoir définir pour chaque classe granulométrique, les spécifications requises pour les emplois en technique routière ainsi que les recommandations relatives à la protection de l'environnement;
- des phases d'expérimentation à l'échelle de chantier qui permettront de valider une ou plusieurs techniques de valorisation. Ces chantiers doivent servir de démonstration, de support à l'information mais aussi de validation économique ;
- l'élaboration de moyens de contrôle prenant en compte les aspects géotechniques et environnementaux; Définition des tests normalisés à appliquer pour une utilisation en technique routière ainsi que des tests de mesure d'impact environnemental (lixiviation de certains éléments potentiellement polluants) ;
- des prescriptions réglementaires ;
- la mise en place d'une démarche qualité rigoureuse à toutes les étapes du processus de préparation, de conditionnement et d'utilisation du mâchefer afin d'assurer un produit conforme aux prescriptions demandées et de qualité régulière.

Les pouvoirs publics doivent jouer un rôle moteur dans cette démarche afin d'aboutir, à une codification des mâchefers comme matériaux utilisables en technique routière, ainsi qu'à la normalisation de la technique à mettre en œuvre (comme c'est le cas pour les cendres volantes de centrales thermiques dans de nombreux pays (France, Pays Bas, Allemagne, Etats Unis...)).

2.8 EVOLUTION DES MODES DE GESTION DES RÉSIDUS D'ÉPURATION DES FUMÉES

2.8.1 Introduction

Les résidus d'épuration des fumées dénommés REFIOM sont les résidus solides issus du traitement des gaz (par voie humide, semi-humide, sec...) ainsi que les gâteaux de filtration dans le cas de techniques par voie humide.

Ils sont donc un mélange de cendres volantes silico-alumineuses (poussières), de réactifs de traitement et de sous produits d'épuration des gaz.

La composition des résidus récupérés dans le système de dépoussiérage peut varier selon :

- la technique de neutralisation des gaz (un procédé par voie sèche, par exemple, entraîne une augmentation des poussières à récolter et influe sur la composition des REFIOM en raison de l'excès de réactif dans les fumées et de l'ajout des produits de réaction).
- la composition des ordures ménagères qui peuvent contenir plus ou moins de métaux lourds, chlore et autres polluants selon leur origine ou du tri en amont de l'incinération.

Ils se caractérisent par une forte solubilité, pouvant dépasser 50% en masse, ainsi que par des teneurs en métaux lourds relativement importantes, notamment en plomb.

Les boues de filtre presse ou gâteaux de filtration sont obtenues après le traitement des eaux de rejet du système de lavage des gaz par voie humide.

Comparativement aux résidus du dépoussiérage, les gâteaux sont moins chargés en chlorures mais contiennent relativement plus de métaux lourds volatils : ainsi, le mercure, piégé au niveau du laveur, peut être présent en quantité dix fois plus importante.

En conclusion, les REFIOM apparaissent comme les résidus solides de l'incinération contenant le potentiel polluant le plus élevé par la présence :

- des sels solubles (NaCl, CaCl₂, CaSO₄, ...);
- des métaux lourds, notamment le plomb qui est facilement lixiviable, mais également le mercure et le cadmium qui peuvent atteindre des concentrations susceptibles de présenter des risques toxicologiques.

Pour répondre aux prescriptions de la nouvelle Directive Européenne du 4.12.2000, les systèmes de traitement des fumées doivent permettre de capter les divers polluants référencés (HCl, HF, SO_x, métaux lourds, dioxines furannes, ...) qui se trouveront donc en quantités importantes dans les REFIOM (principe de Lavoisier).

En parallèle, les systèmes de traitement des fumées devraient s'orienter vers un choix de réactifs permettant des réactions proches de la stoechiométrie afin de minimiser les quantités nécessaires.

En résultante on obtiendra une quantité massique de REFIOM réduite, mais contenant des concentrations élevées en divers polluants.

Ces différents phénomènes cumulés contribuent à la nécessité d'avoir recours à un traitement préalable à l'élimination de ces résidus afin de diminuer leur dangerosité.

2.8.2 Technologies de traitement des REFIOM

Actuellement, plusieurs solutions de traitement sont disponibles :

- le pré-traitement des REFIOM qui consiste en un lavage afin d'extraire la partie soluble et ainsi de diminuer la masse des résidus solides;
- la solidification/stabilisation des REFIOM par des procédés utilisant des liants minéraux (hydrauliques ou non);
- la solidification/stabilisation des REFIOM par des procédés à base de polymères organiques (liants organiques) ou par stabilisation dans une matière composée de plastiques mélangés;
- la solidification/stabilisation des REFIOM par vitrification ou traitement thermique.

Le Chapitre 4.2 de la Phase 2 présente de manière complète les différentes technologies de traitement des REFIOM.

2.9 DIFFICULTÉS DE LA FILIÈRE INCINÉRATION AVEC RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE

2.9.1 Acceptation d'un Centre de Valorisation Energétique

Une usine d'incinération est souvent mal perçue par l'opinion publique, elle est souvent assimilée à une source importante de nuisances de par ses fumées, son aspect visuel et le flux de transports qu'elle occasionne.

Cependant, l'incinération avec récupération d'énergie permet d'éliminer les déchets en les valorisant (énergie et matière). On évite donc les pollutions engendrées sur l'eau et le sol par les décharges. Par contre, elle entraîne une pollution nouvelle, par ses rejets gazeux et aqueux.

C'est pourquoi les nouvelles réglementations concernant l'incinération des déchets sont particulièrement strictes au niveau des rejets gazeux et aqueux et font office de référence pour de nombreux secteurs industriels.

La mise en place de moyens d'épuration performants (traitement des oxydes d'azote, des dioxines/furannes, élimination des rejets liquides), diminueront très fortement l'impact sur l'environnement, notamment par rapport à d'autres sources d'émissions plus globales (pollutions liées aux transports) ou par rapport à d'autres secteurs industriels (centrales thermiques, industries métallurgiques, cimenteries).

Les installations d'incinération de déchets ménagers aux normes auront donc un impact très faible en terme de rejets atmosphériques et aqueux et la réglementation en vigueur sera certainement la plus draconienne tous secteurs industriels confondus.

De plus, la production d'énergie par incinération évite une partie de la pollution qui existait auparavant en provenance des moyens classiques de production d'énergie. En effet, si l'usine produit de la chaleur distribuée par un réseau de chaleur, celle-ci se substitue à une autre énergie de chauffage qui dégageait des pollutions :

- soit le réseau de chaleur existait déjà et on remplace du fuel lourd ou du charbon par l'incinération;
- soit le réseau de chaleur n'existait pas, et on remplace alors les chaufferies d'immeubles, en général au fuel domestique;
- soit l'usine d'incinération va chauffer un quartier neuf, et l'incinération se substitue en général à un projet de chauffage gaz.

Il faut donc prendre en compte la pollution évitée par la mise en service de l'incinération et la comparer à la pollution ajoutée par l'usine d'incinération. L'expérience montre que le bilan est souvent en faveur de l'usine d'incinération car les normes imposées aux usines d'incinération des ordures ménagères sont plus sévères que celles que doivent respecter les grandes et petites chaufferies qui utilisent des combustibles fossiles.

Dans le cas d'une production d'électricité, le bilan de pollution n'est plus strictement local puisque l'électricité va se substituer à celle qu'aurait produit une centrale thermique située ailleurs. La pollution de l'usine va donc se substituer à la pollution des centrales au fuel, au charbon, ou à une partie de centrale nucléaire.

Les clichés issus des usines d'incinération «anciennes générations», devenues obsolètes à ce jour, doivent donc évoluer d'une manière objective en plaçant l'incinération avec récupération d'énergie à sa juste place dans une gestion multifilière des déchets ménagers. Pour cela, la communication est primordiale ainsi que l'impact visuel des installations.

La recherche d'une intégration dans le paysage local est un facteur important à prendre en compte pour tout projet. La recherche de projets architecturaux doit donc être stimulée afin de faciliter l'intégration des futurs projets dans le contexte culturel et paysager local.

2.9.2 Choix du mode de valorisation énergétique de l'incinération des déchets ménagers

L'incinération des déchets ménagers avec valorisation énergétique est une source d'énergie à développer. La cogénération apparaît comme la solution technique à préconiser du fait de son rendement énergétique élevé et de la production de deux sources d'énergie. Cependant, elle suppose un investissement supérieur par rapport aux deux autres solutions (chaleur ou électricité seule). Selon la solution de base, l'investissement supplémentaire sera différent.

Si la solution de base est la seule production de chaleur, il faudra rajouter un turbo alternateur, mais aussi travailler à pression de vapeur probablement plus élevée, ce qui augmente le coût de la chaudière elle-même et de ses auxiliaires (robinetterie, pompes...).

Si la solution de base est une production d'électricité seule par turbine à condensation, il faudra rajouter un soutirage, ainsi que le poste de livraison de vapeur et les canalisations de raccordement aux clients ou au réseau de chaleur.

Le bénéfice net obtenu (tenant compte du surinvestissement et des recettes ou économies générées) dépend de la proportion de vapeur et d'électricité produites ainsi que des prix respectifs de vente. Il est délicat de faire un diagnostic à long terme et des simulations des bilans énergétiques et économiques s'avèrent nécessaires.

De même, plusieurs critères évolutifs sont à prendre en compte :

- dans le cas d'une production de chaleur, la quantité vendue dépend des besoins des acheteurs, le taux de valorisation de la chaleur produite sera donc le paramètre essentiel de l'équilibre économique. Dans une perspective à long terme, les incertitudes de valorisation de la chaleur peuvent donc être un frein au développement de cette technique de récupération.
- la chaleur produite est à considérer comme une énergie de substitution. Le prix de rachat est donc indexé au prix de production de l'énergie par une autre source. Ce système est très sensible car il fait dépendre les recettes de facteurs non maîtrisables comme le prix international du pétrole ou du gaz. Dans une perspective de rentabilité durable de la valorisation énergétique, la production de chaleur apparaît donc incertaine.
- la production d'électricité permet de fournir les besoins énergétiques propres de l'usine. Cette auto-consommation est donc une économie sur la facture énergétique qui, avec l'évolution pressentie de la demande croissante électrique, notamment pour des nouveaux systèmes de traitement de fumées, est un facteur particulièrement intéressant.
- à l'heure actuelle, les conditions de rachat par les sociétés nationales électriques (ELECTRABEL, EDF, ...) ne sont pas toujours suffisamment incitatives. Dans le cadre de la libéralisation du marché de l'électricité, on peut entrevoir un assouplissement de ces conditions, notamment par la possibilité de rachat par d'autres sociétés (suppression du monopole) ou par le développement de la vente directe à certains établissements à proximité de l'usine, gros consommateurs d'électricité.

Si l'incinération avec valorisation énergétique n'est plus un débat, le mode de valorisation (calogène, électrogène ou cogénération) n'est pas encore tranché et nécessite, cas par cas, une étude tenant compte des spécificités locales de l'installation.

Selon les retours d'expériences en France, on constate qu'à partir d'une capacité d'environ 40.000 t/an la cogénération permet d'optimiser le bénéfice net et cet intérêt croit ensuite avec la taille de l'installation. Par contre, l'éloignement des installations des zones de consommation aurait tendance à favoriser la valorisation électrique seule.

2.9.3 Incinération et santé publique

L'incinération des déchets, sous réserve d'être réalisée avec un équipement et selon des méthodes d'exploitation appropriées, ne présente pas une menace pour la santé.

Au cours de la dernière décennie, les règlements concernant les émissions sont devenus plus rigoureux. Une forte proportion des usines d'incinération existantes au sein de l'Union Européenne sont ou seront équipées d'appareils efficaces d'épuration des fumées répondant aux nouvelles normes.

Pour ces raisons, il est techniquement possible d'installer les incinérateurs à proximité de zones à forte densité de population, sous réserve d'observer les réglementations urbaines. Dans de nombreux pays, une distance de l'ordre de 300 à 500 mètres par rapport aux quartiers résidentiels, variant en fonction de la taille de l'usine et des conditions locales, apparaît comme acceptable.

La santé des travailleurs de l'usine peut être préservée en veillant au respect des procédures d'exploitation et d'entretien, à l'usage de méthodes de travail sûres et au maintien d'un environnement sain dans toute l'usine.

L'incinération des déchets ne pose pas de problème particulier d'hygiène du travail. Lorsque les règles d'entretien et d'exploitation sont respectées, l'incinération n'est pas reconnue comme présentant des risques accrus pour la santé des travailleurs. Il faut cependant veiller à ce que le personnel soit muni de l'équipement individuel de protection approprié lors des travaux d'entretien : chaussures, casques antibruit, masques antipoussières, et même tenues de travail propres. En exploitation normale, des vêtements spéciaux ne sont pas nécessaires. Pour les travailleurs, le plus grand risque pour la santé existe là où il y a contact direct avec les déchets, par exemple dans le hall de réception où les véhicules apportent les déchets et déchargent leur contenu. Les poussières et aérosols contenant des micro-organismes en suspension peuvent être dangereux.

Il est impératif que l'usine soit convenablement éclairée et ventilée et qu'un programme complet et régulier de nettoyage soit appliqué aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'usine. Une usine bien entretenue est beaucoup mieux acceptée par les riverains.

2.9.4 Impacts sur l'environnement au niveau local et global

La construction et l'implantation d'une usine d'incinération doivent être précédées d'une étude d'impact sur l'environnement et la santé.

La mise en décharge de déchets inertes, plutôt que celle de déchets bruts, a un impact plus faible sur l'émission de gaz à effet de serre. La production de chaleur et d'électricité à partir

des déchets permet une réduction nette des pressions sur l'environnement grâce à la diminution de l'usage de combustibles fossiles.

Les usines d'incinération peuvent être implantées à proximité du lieu de production des déchets, ce qui n'est pas le cas des décharges qui, sous la pression du public, doivent souvent être aménagées assez loin des producteurs de déchets. Les distances sur lesquelles sont transportés les déchets s'en trouvent réduites.

Le bruit causé par le fonctionnement de l'usine et la circulation des véhicules qui la desservent constituent une nuisance pour les riverains à ne pas négliger. Il pourra être atténué par un choix judicieux des équipements et de l'isolation acoustique de l'usine. D'un autre côté, tout autre équipement de traitement des déchets, comme par exemple une usine de tri de recyclables, se révèle aussi bruyante.

Les décharges peuvent produire des lixiviats et des gaz pendant plusieurs décennies, ce qui rend nécessaire la mise en place de dispositifs de captation (biogaz..).

Les mâchefers pour leur part sont inertes et n'émettent pas de gaz, mais leur lessivage peut causer l'entraînement de polluants. Des mesures de confinement ou de neutralisation identiques à celles utilisées dans les décharges de déchets non traités sont donc nécessaires lors de leur mise en décharge (à défaut de leur valorisation).

Grâce aux températures élevées de combustion et à l'épuration poussée des fumées, les usines d'incinération peuvent traiter des déchets difficiles à mettre en décharge ou présentant des risques pour la santé publique : il s'agit notamment des déchets hospitaliers infectieux ainsi que certains déchets chimiques.

En dehors de l'incinération, la méthode la plus utilisée pour éliminer les déchets est la mise en décharge contrôlée.

Ces deux solutions ont des impacts sur l'environnement, la décomposition des déchets organiques émettant des gaz à effet de serre quel que soit le type de traitement.

La décomposition anaérobie dans une décharge produit un gaz, composé de 50 à 65% de méthane et de dioxyde de carbone avec quelque gaz à l'état de trace. L'incinération émet essentiellement du dioxyde de carbone.

Le méthane étant considéré comme étant sept à dix fois plus nuisible que le dioxyde de carbone du point de vue de l'effet de serre, il semble à première vue que l'incinération soit préférable à la mise en décharge.

Les émissions de gaz à effet de serre ne sont cependant qu'une partie des émissions provenant de l'incinération et une telle comparaison nécessite une approche plus globale.

2.10 INFLUENCE D'AUTRES DÉCHETS EN CO-INCINÉRATION AVEC DES DÉCHETS MÉNAGERS

L'influence de l'apport d'autres gisements incinérables est essentiellement mesurée par le PCI et la proportion de ces déchets.

La variation du PCI des déchets influe considérablement sur la récupération énergétique de l'incinération. Cette variabilité peut être due aux fluctuations de composition d'un gisement ou durant une co-incinération au mélange de plusieurs déchets ayant des PCI différents. En effet, un mélange de plusieurs déchets dont les P.C.I. sont très différents est complexe à traiter. Si, en théorie, on calcule un P.C.I. résultant, en pratique, il s'agit de déchets de composition et de teneur en eau distinctes dont le mélange n'est pas toujours homogénéisé dans la fosse. Lors de l'incinération, cette variation importante peut provoquer des chocs thermiques dans le four qui ont des répercussions négatives sur la conduite de la combustion et limitent la production énergétique.

La spécificité des autres gisements incinérables (boues de stations d'épuration, déchets hospitaliers, DIB...) doit être prise en compte dans le cas d'une incinération dans une usine destinée aux déchets ménagers afin de ne pas perturber son fonctionnement et de ne pas pénaliser la valorisation énergétique.

La co-incinération des boues de stations d'épuration nécessite des prescriptions particulières. Du fait de leur teneur en eau, un stockage en fosse n'est pas possible, les problèmes liés aux odeurs sont importants et on est obligé d'avoir recours à une injection spécifique au dessus de la grille d'incinération ou en trémie d'alimentation.

Leur P.C.I. dépend de leur siccité et de leur teneur en matières volatiles (une boue à 25% de siccité et à 70% de MV n'est pas autocombustible). L'incinération des boues ne génère un bilan énergétique positif que si la teneur en matières combustibles est importante, ce qui implique des boues suffisamment déshydratées, en général autour de 30 à 40%.

L'incinération des boues en mélange avec les déchets ménagers n'apparaît pas être une solution intéressante pour une valorisation de masse, d'autant plus que, de par leur composition, elles génèrent des teneurs en poussières dans les fumées 2 à 3 fois supérieures aux déchets ménagers.

Du fait de leur contribution énergétique nulle et des contraintes techniques, il est préférable d'envisager une limitation de leur co-incinération (10 à 12% en masse), ce qui dans ce cas a une influence négligeable sur le P.C.I. du mélange.

Les Déchets Hospitaliers peuvent être co-incinérés dans les installations destinées aux déchets ménagers. Dans ce cas, on limite leur tonnage pour des raisons techniques et environnementales (à titre d'exemple, en France, l'arrêté du 23 août 1989 limite à 10% le tonnage horaire incinérable). Le P.C.I. de ce gisement, quoiqu'en moyenne beaucoup plus élevé (3 000 à 6 000 kcal/kg), n'affecte dans ces proportions que légèrement le P.C.I. global du mélange.

Les Déchets Industriels Banals (DIB) ont en général un PCI plus élevé que celui des déchets ménagers (2 500 à 4 000 kcal/kg). Leur co-incinération a donc un effet "dopant" au niveau de la valorisation énergétique en diminuant cependant la charge massique incinérable dans une installation non dimensionnée avec de tels déchets.

La co-incinération de ce gisement peut apparaître intéressante afin d'optimiser les capacités d'incinération libérées par la valorisation matière et organique des déchets ménagers. Cette substitution limitée en tonnage ne pose pas de réels problèmes techniques au niveau des unités déjà dimensionnées, en dehors du mélange à effectuer en fosse de réception.

2.11 CONCURRENCE DE LA FILIÈRE CIMENTIÈRE POUR LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES DÉCHETS MÉNAGERS

Grande consommatrice d'énergie, l'industrie cimentière, depuis une quinzaine d'années, s'intéresse à la substitution énergétique partielle, par certains déchets, des combustibles classiques utilisés (fuel, charbon, gaz). De nombreux déchets (solvants, huiles usées, pneumatiques) sont déjà utilisés en complément des combustibles classiques, soit en injection directe en tuyère et/ou en injection en zone de précalcination selon les procédés de clinkérisation.

Au-delà de la valorisation énergétique de ces déchets, les types de four permettent une décomposition complète des phases organiques compte tenu de la température élevée (1450°C), du long temps de séjour des gaz (plus de 5 secondes au dessus de 1000°C) et du maintien des conditions oxydantes. Un four cimentier s'avère donc particulièrement adapté pour les déchets dangereux.

Les critères d'acceptation des déchets à l'entrée du four font l'objet d'un contrôle sévère et surtout d'un dosage strict pour ne pas perturber la composition du clinker, produit industriel normalisé. Pour cela, tout n'est pas permis dans ces installations et les déchets acceptés doivent répondre à un cahier des charges strict définissant un P.C.I. minimal, des teneurs en eau, en cendres, en chlore et soufre ainsi qu'une granulométrie maximale.

Des expériences avec des déchets triés et préparés provenant d'encombrants ménagers ainsi qu'avec des déchets de bois, ont montré la nécessité d'une filière de préparation en amont afin d'amener aux exigences strictes du cahier des charges, et surtout de fournir un gisement à caractéristiques constantes. Il s'avère donc nécessaire d'effectuer un broyage final avant injection en tuyère, un stockage spécifique et une alimentation en continu qui aboutissent à des surcoûts de préparation élevés.

D'autres déchets apparaissent donc plus compétitifs du fait de leur préparation moins délicate ou de leur apport énergétique plus important tels que la fraction combustible des déchets ménagers (fluff), les farines animales, les résidus de broyage automobiles, des boues de Step déshydratées à 80-90%....

A partir de ces expériences, la valorisation énergétique des déchets ménagers en cimenterie apparaît comme une filière difficile à mettre en place d'une manière pérenne.

Plusieurs facteurs permettent d'émettre certaines réserves sur cette option qui n'est d'ailleurs pas pratiquement envisagée par l'industrie cimentière :

- difficultés de répondre aux exigences nécessaires au bon fonctionnement de la clinkérisation du fait de l'hétérogénéité et des variations du gisement;
- concurrence par de nombreuses catégories de déchets (emballages souillés, déchets plastiques, rebuts de broyage automobile, pneumatiques, ...);
- caractère aléatoire de la pérennité à long terme de l'acceptation du gisement par l'industrie cimentière;
- réglementations concernant les émissions plus strictes du fait de la mise au niveau avec celles des usines de traitement des déchets.

2.12 ASPECTS ECONOMIQUES

2.12.1 Généralités

Les contraintes réglementaires, les évolutions technologiques, l'optimisation de la valorisation énergétique et de la valorisation des résidus solides ont des répercussions sur l'évolution du coût global des installations.

Le coût global de fonctionnement (ramené à la tonne incinérée) est constitué de la somme:

- des coûts de l'amortissement des investissements;
- des coûts d'exploitation;
- des coûts de gestion des sous-produits;
- dont sont déduites les recettes liées à la valorisation énergétique et à la valorisation des métaux.

Un premier facteur qui influence le coût global de traitement est la taille de l'installation de traitement.

Une valorisation énergétique optimale nécessite certaines conditions techniques afin d'obtenir une bonne stabilité thermique. Les fours de combustion de capacité inférieure à 3 t/h ne permettent pas une conduite maîtrisée et régulière du fait du faible volume de combustion et forment des rejets solides et gazeux de qualité médiocre.

Une capacité de 6 t/h (environ 45 000 t/an) apparaît comme la taille minimale pour le fonctionnement optimal d'une unité avec récupération d'énergie.

L'augmentation du taux de disponibilité de l'installation, ainsi que la nécessité de ne plus avoir recours à la mise en décharge des déchets lors des arrêts techniques, contribuent à concevoir une unité d'incinération comportant au moins deux lignes de traitement.

Un effet d'échelle est observé selon la capacité des installations. Le coût global de l'incinération (ramené à la tonne incinérée) décroît quand la capacité horaire de l'installation augmente.

L'utilisation de technologies performantes et les prescriptions réglementaires, notamment relatives à l'épuration des fumées, pénalisent en terme d'investissement et de coûts d'exploitation les installations de petite capacité.

Cet effet de taille est fortement ressenti entre 45 000 t/an et 120 000 t/an par une diminution du coût global de l'ordre de 20 à 25%.

Au-delà de ce tonnage, une autre ligne de traitement s'avère nécessaire et atténue nettement cet effet d'échelle.

La réglementation concernant les rejets gazeux est le principal facteur d'évolution des coûts d'investissement et d'exploitation.

Le passage aux teneurs prescrites par la nouvelle directive aurait pour conséquence une augmentation des coûts d'investissement de l'ordre de 35% (estimation pour une unité d'incinération de 100 000 t/an avec récupération d'énergie par cogénération conforme aux directives européennes de 1989).

Cette estimation de surcoût est liée à la mise en place d'un laveur supplémentaire pour les SO_x, du traitement des dioxines par charbon actif et des NO_x par système catalytique, dont 70% uniquement pour le traitement des NO_x.

La surface nécessaire au traitement de fumées est doublée ce qui correspond à un surinvestissement de 35% pour le génie civil.

Les coûts d'exploitation (charges fixes et proportionnelles) subiraient une augmentation de l'ordre de 45% due essentiellement aux postes d'analyses et de contrôles, aux consommables (catalyseur, réactifs) et aux frais de gros entretiens et renouvellement.

Actuellement, la gestion des résidus est une charge importante sur le coût global de fonctionnement dont on peut envisager une diminution à terme.

Dans un premier temps, la mise en place de plates-formes de traitement des mâchefers ayant recours à des moyens techniques performants nécessitera un investissement supplémentaire. De même, les coûts de traitement risquent d'augmenter plus rapidement que les recettes escomptées de la valorisation (récupération des métaux et valorisation en technique routière).

A moyen terme, la valorisation des mâchefers risque de rester une charge dans les coûts d'exploitation. C'est par rapport à une mise en CET (dont les coûts d'exploitation croissent très rapidement et dont le nombre limité de sites risque d'augmenter les coûts de transport) qu'il faudra mesurer l'économie générée par leur valorisation.

A plus long terme, lorsque les filières d'utilisation seront standardisées et normalisées, les coûts de traitement seront stabilisés et les recettes optimisées, on peut donc s'attendre à une rentabilité allant vers un coût de traitement fortement diminué par les recettes.

Concernant les résidus d'épuration des fumées, les tendances observées laissent entrevoir à moyen terme une stabilisation, voire une diminution de leur part sur le coût global du fait de plusieurs facteurs :

- de la diminution et stagnation de la quantité de REFIOM produits;
- de la concurrence entre plusieurs sociétés proposant des technologies similaires;
- de l'apparition d'autres technologies de traitement sur le marché.

A plus long terme, on peut penser que cette diminution des prix perdurera du fait essentiellement de la substitution de la mise en centre d'enfouissement (qui représente environ 45% du coût total traitement/transport/enfouissement) par la possibilité de valorisation de ces résidus stabilisés.

2.12.2 Comparaison des coûts de traitement

Le Tableau 2 ci-après donne une comparaison des coûts de traitement applicables à des installations de capacité de l'ordre de 200.000 tonnes par an (Déchets ménagers ou Déchets industriels banals).

Ces coûts prennent en compte les hypothèses suivantes :

- Unités avec production d'électricité vendue au réseau à 1,3 BEF/kWh,
- PCI des déchets variant de 9 à 16 MJ/kg,
- Financement des installations en 20 ans, taux d'intérêt de 7%
- Mise en CET II à 2.400, BEF/tonne et mise en CET I à 8.000, BEF/tonne (transport inclus).

On relève que les coûts de traitement en FG sont de l'ordre de 3.000, BEF/tonne et en FLF de 4.000, BEF/tonne et plus, alors que les coûts par Gjoule traitée sont assez comparables.

<u>CHAPITRE 3 : PROCÉDES DE COMPOSTAGE ET BIOMÉTHANISATION</u>	2
<u>3.1 Introduction</u>	2
<u>3.2 Situation dans les pays limitrophes et en Belgique</u>	3
<u>3.2.1 Pays limitrophes</u>	3
<u>3.2.2 Belgique</u>	4
<u>3.3 Comparaison générale du compostage et de la biométhanisation</u>	7
<u>3.3.1 Introduction</u>	7
<u>3.3.2 Le compostage</u>	7
<u>3.3.3 La biométhanisation</u>	9
<u>3.3.4 Avantages et inconvénients du compostage et de la biométhanisation</u>	10
<u>3.4 Contraintes de valorisation des produits</u>	12
<u>3.4.1 En compostage</u>	12
<u>3.4.2 En biométhanisation</u>	14
<u>3.5 Approche économique</u>	16
<u>3.6 Synergie possible des procédés pour le traitement d'autres déchets que la f.f.o.m.</u>	18
<u>3.7 Application du compostage pour le bioséchage de déchets ménagers et la production d'un composé déshydraté stable</u>	19
<u>3.7.1 Introduction</u>	19
<u>3.7.2 Présentation du procédé HERHOF de composé déshydraté</u>	19
<u>3.7.3 Conclusions</u>	21
<u>3.8 Synthèse des coûts de traitement</u>	22
<u>3.9 Conclusions sur la fiabilité et les conditions d'application des procédés</u>	23

CHAPITRE 3 : PROCÉDES DE COMPOSTAGE ET BIOMÉTHANISATION

3.1 INTRODUCTION

Les techniques de compostage et de biométhanisation sont actuellement appliquées depuis plusieurs années en Belgique et dans les pays limitrophes ; elles sont devenues des solutions industrielles du traitement des déchets.

Ainsi, la capacité de traitement des différentes usines de biométhanisation implantées en Europe a atteint 1.037.000 tonnes de déchets organiques en 2000 et se répartit sur plus de 50 installations.

Ce chapitre fait le point sur le développement actuel des procédés de compostage et de biométhanisation et recense les procédés disposant de références significatives.

Trois techniques de compostage et trois procédés de biométhanisation sont présentés et complétés avec des fiches techniques détaillant les caractéristiques principales d'installations exploitant ces procédés.

Il s'agit également d'identifier les contraintes pour la valorisation des produits, de commenter la fiabilité des procédés et d'aborder une comparaison économique (investissement et coûts d'exploitation) des références prises en compte.

Nous préciserons les complémentarités éventuelles de certains procédés pour le traitement d'autres déchets (ex. les boues de station d'épuration des eaux urbaines,...).

Nous clôturerons ce chapitre par la mise en évidence du développement du bioséchage de déchets ménagers et en donnerons le champ d'application, les références, les caractéristiques techniques et économiques, le mode de valorisation des produits issus du traitement.

3.2 SITUATION DANS LES PAYS LIMITROPHES ET EN BELGIQUE

Certains pays ont initié depuis longtemps un programme quasi généralisé de collectes sélectives organiques.

3.2.1 Pays limitrophes

A/ En Hollande, le «Biowaste action Program» lançait fin 1989 un projet pilote rassemblant 2 % de la totalité des ménages hollandais pour une collecte sélective de la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM). Fin 1994, près de 76 % de la population était engagée et depuis 1996, 100% des communes procède à une collecte séparée de déchets de cuisine et de jardin, dénommé «GFT» (groen, fruit, tuin).

L'hypothèse de départ en matière de quantité de déchets organiques générés annuellement était basée sur les hypothèses suivantes :

1. les O.M. hollandaises (375 kg / hab. an) renferment en moyenne 47 à 50 % de M.O. soit 150 kg / hab. an,
2. le taux moyen de collecte attendu est de 50 %,
3. une récupération maximale est attendue pour les zones à habitat horizontal ; un taux de récupération variant entre 1,4 et 1,8 kg/semaine fut retenu (soit entre 73 et 94 kg).

En pratique, le taux moyen actuel atteint est de 95 kg/hab. an avec des minima en zones urbaines (27 kg) et des maxima dans les zones rurales (145 kg). La poubelle de déchets résiduels contient encore de la M.O. (36 % de GFT et 33 % de papier carton).

En 1998, 24 installations (21 unités de compostage et 3 usines de biométhanisation) ont traité près de 1,5 millions de tonnes de FFOM ou GFT.

B/ L'Allemagne possède également, en matière de collecte sélective, de compostage, de suivi de qualité et de commercialisation, une expérience et un recul de près d'une décennie. Le taux de desserte de 90 % de la population en RFA est atteint. Les quantités de déchets biologiques produits annuellement par habitant sont de l'ordre de 100 à 140 kg (120 à 180 kg avec le papier inclus) et la collecte sélective permet de capter entre 50 et 70 % de ce gisement.

On observe des variations selon le type d'habitat : 110 à 180 kg pour les habitats avec jardin contre 50 à 70 kg pour les habitats denses. Le taux de captage fluctue également en fonction des secteurs de collecte : 48 % pour les zones urbaines contre 73 % pour les départements ruraux.

La capacité de compostage pour l'ensemble de l'Allemagne est estimée à environ 6 millions de tonnes de déchets organiques (déchets cuisines et déchets verts confondus), lesquels sont traités dans quelques 520 installations de compostage (dont 400 sites industriels).

La biométhanisation commence cependant à prendre son essor et représentait une capacité de 450.000 tonnes en 2000 (FFOM et déchets gris confondus).

C/ En Suisse, les capacités des unités de biométhanisation sont plus modestes (capacité unitaire maximale de 10.000 t) : au total 78.500 tonnes réparties en 9 installations.

- D/ En France, 2,3 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés ont été traités et valorisés par compostage et par biométhanisation en 1998, ce qui représente environ 7 % de l'ensemble des OM produites au total.

Néanmoins, des opérations de collecte sélective et de compostage de la FFOM se sont développées : on compte en 1999, 27 opérations se répartissant sur 715.000 habitants.

La quantité récoltée a atteint 69.700 tonnes, soit un ratio annuel de collecte moyen de 97,5kg/habitant avec des fluctuations allant de 60 à 211 kg / hab.an : on observe en général deux types de résultats :

- soit un ratio de collecte moyen de 75 kg avec une proportion élevée en déchets de jardin (85 %),
- soit un ratio de collecte de 80 kg avec des déchets de cuisine uniquement.

Lorsque les papiers et cartons sont également collectés, le ratio peut atteindre 211 kg/ hab.an à l'exemple de Bapaume.

Le traitement des déchets organiques est opéré soit dans des installations existantes de compostage (qui traitaient des OM brutes et dont une partie a été transformée) , soit dans des plate-formes provisoires en attente d'une unité de compostage spécifique.

En 2000, la mise en route du nouveau programme européen « Qualorg » pour la valorisation organique des biodéchets engage neuf nouveaux sites pilotes représentant la participation de 800.000 habitants.

L'unique installation de biométhanisation opérationnelle (Amiens) traite actuellement la FFOM issue d'un tri mécanique sur OM bruts et possède une capacité de traitement de 85.000 tonnes. D'autres unités sont cependant en cours de construction (Varennes-Jarcy : 100.000 tonnes d'OM bruts triés) ou en cours de planification (Portès-les-Valence : 25.000 tonnes de FFOM).

3.2.2 Belgique

- A/ En Région flamande, 3.566.000 habitants bénéficiaient fin 1998 d'une collecte en porte-à-porte de déchets de cuisine et de jardin (Groen, Fruit en Tuin afval : GFT). Les objectifs de récupération fixés dans le « Uitvoeringsplan Organisch-Biologisch Afval » pour 2001 sont les suivants : valoriser 45 % de GFT et 90 % de déchets verts (DV).

Fin 1998, les collectes sélectives de GFT ont permis de récupérer 340.000 tonnes de déchets GFT (44%), alors qu'en 1994 la quantité traitée n'atteignait que 75.000 tonnes.

Le ratio moyen de GFT collecté par habitant par an est de 84 kg et fluctue entre 7 et 187 kg / hab. an ! Ces fluctuations s'expliquent par le type de région (caractère rural, urbain, semi-urbain), par le moyen de collecte (sac biodégradable ou conteneur de 120 et 240 litres) et par la fréquence des collectes.

La société publique des déchets OVAM (Openbare Afval Maatschappij) a enregistré les ratios suivants pour des collectes au départ de sacs : de 7 à 65 kg/ hab. an avec une fréquence de collecte hebdomadaire.

Les collectes en conteneurs atteignent un ratio oscillant entre 61 et 187 kg / hab. an : ce dernier ratio est atteint pour les conteneurs de 240 litres collectés chaque semaine, tandis qu'un ratio de 147 kg / hab. an correspond aux conteneurs de 120 litres pour un ramassage bimensuel. Au plus le volume du contenant est grand au plus le ratio est élevé.

Une enquête récente montre également que pour les collectes réalisées au départ de sacs :

- le pourcentage de polluants est plus élevé : 2 % contre 1 % pour les conteneurs,
- la quantité de déchets de cuisine tourne autour de 60 % (27 % pour les conteneurs),
- les déchets de jardin atteignent 38 % (72 % pour les conteneurs).

En ce qui concerne la quantité moyenne de matières organiques (M.O.) encore présente dans les sacs gris, une enquête récente donne les résultats suivants :

Caractéristiques		Quantité de M.O.	Exemple pour
		dans le sac gris résiduel (kg / hab. an)	le Brabant flamand
collecte sélective GFT			
compostage maison			
	oui	31,4	25
	non	55,9	34
pas de collecte sélective			
compostage maison			
	oui	52,7	33
	non	131,8	119

Le tableau ci-avant montre que le compostage à domicile permet de réduire la quantité de M.O. dans les déchets résiduels ; cet impact est d'autant plus important pour les zones ne pratiquant pas la collecte sélective de GFT.

Le type de contenant et la fréquence de collecte a par contre peu voire pas d'influence sur la quantité de M.O. dans les déchets résiduels.

Les résultats d'une enquête menée dans le Brabant flamand montre les fluctuations suivantes de M.O. :

- 29 kg pour des collectes hebdomadaire en conteneurs de 240 litres,
- 35 kg pour des collectes bimensuelles en conteneurs de 120 litres.

On constate donc que les habitants pratiquant un compostage à domicile peuvent atteindre les mêmes résultats (en terme de M.O. résiduelle dans les sacs gris) que les habitants participant à une collecte sélective de GFT. *Le but fixé dans le Plan flamand est d'atteindre un ratio de 25 kg de M.O. dans les déchets résiduels !*

En 4 ans, le nombre d'unités de valorisation de GFT en Région flamande est passé de trois à neuf. La capacité globale de traitement de 280.000 tonnes se répartit en six installations de compostage (5 unités dans des halls fermés étanches et une avec des tunnels de compostage) et une installation de biométhanisation (Brecht).

Actuellement deux nouvelles installations sont en cours de construction : l'usine de compostage en tunnels à Maasmechelen pour l'IVVA (25.000 tonnes) et l'unité de biométhanisation à Veurne pour l'IVVO (50.000 tonnes).

Note : une autre unité de biométhanisation est également en cours de construction dans la Province du Limbourg, mais pour des ordures ménagères brutes avec un tri poussé en amont et un tri poussé sur le digestat.

B/ En Région wallonne, le PWD Horizon 2010 prévoit d'intensifier graduellement les collectes sélectives de matières organiques pour atteindre respectivement en terme de couverture de la population : 30% en 2000, 50 % en 2005 et 70 % en 2010. Force est de constater qu'en 2000 seulement 4,7 % de la population est desservie par une collecte de déchets fermentescibles (FFOM).

IDELUX a démarré en 1996 la collecte séparée de déchets FFOM avec la commune de Florenville. L'intercommunale compte actuellement 9 communes pilotes (55.500 habitants) pratiquant la collecte sélective hebdomadaire et a décidé d'adapter ses infrastructures existantes (unités de compostage d'ordures brutes) pour la production d'un compost de qualité.

Le taux de collecte enregistré en 2000 chez IDELUX est de 50 kg de FFOM / hab. an avec un maximum de 75 kg/hab. an (Florenville).

Le pourcentage de déchets de tonte, et autres déchets verts dans la FFOM est faible étant donné que leur déversement dans les duo-bacs n'est pas aisé (la quantité de déchets verts collectés via les PAC représente 29.506 tonnes soit 96 kg / hab. an !).

Les autres expériences pilotes ayant démarré en 2000 concernent INTRADEL et le BEPN ; les résultats sont repris dans le tableau suivant :

	nombre de communes	population concernée (habitants)	quantité de FFOM collectée (tonnes)	durée de la collecte (mois)
INTRADEL	6	80.290	565	6
BEPN	4	18.390	373	9

En comparaison avec d'autres expériences, ces chiffres indiquent une anomalie importante, puisque les ratios de collecte moyens (après extrapolation des tonnages collectés en 6 et 9 mois) ne sont que de 14 kg / hab. an (INTRADEL) et de 27 kg / hab. an (BEPN).

Enfin, IDEA débutait en 1999 une collecte sélective de FFOM pilote à Besonrieu (1.830 habitants), laquelle s'est étendue depuis février 2001 à l'ensemble de La Louvière (76.568 habitants).

Le taux de participation de la population enregistré n'a atteint que 18 %, d'où un gisement collecté de 11,3 tonnes pour 2000 ! Toutefois, le ratio de collecte moyen atteint auprès des habitants ayant participé est de 77 kg / hab. an !

Un taux de participation aussi faible peut s'expliquer par les raisons suivantes :

- une mauvaise tenue des sacs ; l'épaisseur de ceux-ci a été augmentée depuis,
- des sacs trop grands (35 litres) ; le volume est passé à 25 litres,
- un sac payant à 10 BEF ; le prix est descendu à 5 BEF depuis (sac gris : 35 BEF)

10% de la population a abandonné à cause de ces deux premières raisons.

3.3 COMPARAISON GÉNÉRALE DU COMPOSTAGE ET DE LA BIOMÉTHANISATION

3.3.1 Introduction

Le compostage et la biométhanisation sont tous deux des processus biologiques de conversion et de valorisation des déchets organiques biodégradables.

Le compostage est une conversion en aérobiose (en présence d'oxygène), où les micro-organismes chargés de la décomposition de la matière organique (M.O.) des déchets ont besoin d'oxygène pour leur métabolisme, sans quoi ils mourraient rapidement. Ils transforment la M.O. en gaz carbonique (CO₂) et en eau. Cette réaction est exothermique, ce qui explique l'élévation de température en début de compostage.

La biométhanisation ou digestion anaérobie est une biodégradation se déroulant en anaérobiose (en absence d'oxygène) sous l'action de micro-organismes utilisant les composants présents dans les déchets pour leur métabolisme. Ils produisent dès lors moins de CO₂ que ceux travaillant en aérobiose et créent du biogaz composé essentiellement de méthane CH₄ (50 à 80 %) et de CO₂ (50 à 20 %).

Ce méthane peut être récupéré à des fins énergétiques : production de chaleur et/ou d'électricité, alimentation d'un réseau gazier, carburant, co-génération de chaleur et d'électricité ; chaque application a cependant ses exigences quant à la qualité du gaz utilisé .

Les équipements de collecte, de traitement et d'utilisation du biogaz sont des périphériques que l'on ne retrouve pas dans le processus de compostage. Une partie du biogaz est utilisée pour le fonctionnement de l'installation (autoconsommation de l'unité) et le reste constitue la production nette du biogaz.

Le traitement du digestat (matière organique digérée) après biométhanisation consiste ensuite en une séparation liquide / solide.

Un pressage mécanique produit le « pressat » qui subit une phase courte de stabilisation dans une unité de post-compostage (ou unité de maturation), afin de compléter l'hygiénisation de la matière digérée ; quelques compléments de composés organiques volatils sont encore transformés dans le post-compostage et des bactéries anaérobies sont détruites, d'où une élévation de température durant cette phase. Le produit final possède une haute valeur fertilisante.

Les jus de pressage sont, quant à eux, soit rejetés en station d'épuration, soit recyclés dans l'installation, soit évaporés biologiquement par compostage aérobie moyennant une épuration préalable.

3.3.2 Le compostage

On distingue le compostage 'accélééré' ou 'lent' selon que, respectivement, il y a ou il n'y a pas une insufflation mécanique d'air dans la masse de produit en décomposition.

Ces 2 catégories regroupent des procédés très différents, tant au point de vue des techniques mises en œuvre que des performances atteintes.

Le système le plus ancien est l'andainage : les déchets sont mis en andains à l'air libre (andain triangulaire, trapézoïdale ou tabulaire) et un retournement mécanique assure leur aération ; la manipulation s'effectue en moyenne tous les 15 jours au chargeur ou avec des retourneurs adaptés aux andains.

A partir de cela, des procédés permettant d'accélérer le compostage se sont développés : la ventilation forcée en milieu ouvert, consistant en une ventilation positive au travers des andains, permettant d'accélérer la fermentation et de réduire la surface occupée.

La nécessité de s'affranchir des contraintes climatiques (réduction de la quantité d'eaux résiduelles et amélioration de la gestion de l'humidité) et de réduire les nuisances olfactives a conduit les constructeurs à réaliser des installations de compostage confinées en bâtiments fermés étanches avec une ventilation où les gaz extraits sont désodorisés avant rejet dans l'atmosphère.

Les traitements les plus évolués se rapprochent de la technologie du réacteur « version aérobie » et la durée de fermentation est ramenée à 2 semaines (parfois moins) ; le principe est de constituer un système fermé et de réguler tous les paramètres en boucle sous une gestion entièrement automatisée.

Le but de ce chapitre n'est pas de décrire toutes les techniques de compostage, mais de se concentrer sur les procédés possédant le plus de références et dont la fiabilité du traitement n'est plus à démontrer.

Trois procédés de fermentation en tunnel (GICOM, LINDE, HERHOF) et deux procédés en hall fermé (VAM, BUHLER) sont présentés en détail en Annexes avec des fiches descriptives et des fiches techniques.

A la lecture des fiches, on observe que certaines caractéristiques de tel ou tel procédé constituent des avantages alors que d'autres représentent des inconvénients.

La solution du compostage en tunnel fermé permet de s'affranchir de quasi toutes les contraintes inhérentes au compostage en milieu ouvert ou en hall fermé :

- Durée de la fermentation raccourcie,
- Faible surface occupée,
- Manipulations de matière relativement réduites,
- Confinement de l'air vicié et désodorisation optimale,
- Rejet zéro des eaux usées car autoconsommation des lixiviats et des condensats dans les tunnels,
- Possibilité d'extension modulaire,
- Contrôle quasi optimal des paramètres de fermentation,
- Plus grande souplesse d'exploitation : le fait que chaque tunnel fonctionne comme une cellule indépendante (la gestion des paramètres de fermentation est propre à chaque cellule), permet à l'exploitant de composter des déchets de natures différentes, ce qui est impossible pour le compostage en hall fermé.

Le compostage en hall fermé est toutefois moins énergivore et assure une meilleure hygiénisation que le compostage en tunnel.

En effet, le compostage en tunnel présente le risque d'une hygiénisation incomplète de la matière sur les côtés du tunnel. Il peut arriver que la thermique interne ne soit pas équilibrée : la température atteinte sur les cotés du tunnel n'est pas aussi élevée qu'au milieu à cause des pertes de charge.

Des processus de fermentation anaérobie, à l'origine d'odeurs nauséabondes, et la présence de germes peuvent présenter des inconvénients en matière d'hygiène de travail. Le compostage en hall s'affranchit de ce problème, car la circulation de l'oxygène est assurée conjointement par la ventilation forcée et le retournement de la meule.

Avec l'un ou l'autre de ces procédés, la qualité du compost est compatible avec les normes en vigueur mais le temps de fermentation diffère. Par exemple dans le cas du compost « frais », utilisable rapidement en agriculture, le compostage en tunnel permet d'en produire au bout de 2 semaines, tandis que le procédé en hall fermé nécessite entre 6 et 8 semaines.

Toutefois, pour obtenir un produit présentant une stabilisation maximum (Rottegrade IV et V au sens de la classification allemande), la stabilisation de la température n'est possible qu'avec une maturation complémentaire avec aération forcée et ce pour les 2 procédés.

3.3.3 La biométhanisation

On peut classer les procédés de digestion anaérobie en 2 groupes principaux : les systèmes humides continus et les systèmes secs continus ou par batch.

Le digesteur (ou méthaniseur) est l'équipement principal du procédé. Il consiste en une grande cuve hermétique, étanche à l'air, agitée ou non et thermostatée dans laquelle se déroule les transformations catalysées des micro-organismes divisées en 4 étapes : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse (dernière étape durant laquelle les micro-organismes méthanogènes vont produire du méthane et du CO₂ à partir des acides organiques et de leurs dérivés provenant des étapes précédentes).

Les systèmes humides se caractérisent par une digestion en 2 étapes : durant la première phase, une dissolution et dégradation partielle de la M.O. soluble s'opère dans un réacteur tandis que, dans la seconde phase, il s'agit d'une digestion de l'eau de process, riche en M.O., réalisée dans un deuxième réacteur qui sert également au traitement d'eau.

Les systèmes secs n'ont pas de seconde étape.

Les procédés continus ou par batch se différencient par le mode de remplissage et d'évacuation du digesteur

Un procédé continu se définit par une alimentation régulière en produits frais et une vidange simultanée du substrat digéré. Dans ce cas, les substrats solides sont mis en suspension dans des réacteurs agités ou non.

Un procédé 'par batch' consiste à remplir le réacteur, le maintenir fermé pour assurer une digestion suffisante et le vider afin de recevoir une nouvelle cuvée. La technologie consiste dès lors à placer les substrats solides en lit fixe épais et le lessiver en continu par une fraction liquide.

Le bilan masse d'une installation de biométhanisation est repris au Tableau 1 à la page suivante (exemples de bilan matière pour des unités de capacités différentes).

Chaque procédé de digestion se caractérise par les paramètres ou critères suivants :

- la technologie du digesteur,
- la gamme de température dans laquelle s'opère la digestion : 30° à 40 °C (mésophyle) ou 50° à 65 °C (thermophile),
- le temps de séjour des déchets dans le digesteur,
- les opérations de pré et post-traitement.

Le procédé de digestion liquide (ou humide) est mis en œuvre de préférence pour la co-digestion de déchets biologiques avec des boues de step ainsi qu'avec d'autres sous-produits de l'agriculture (lisier par exemple).

L'étude traitera la digestion sèche, utilisable pour tout type de déchets organiques et particulièrement pour le traitement de la FFOM obtenue par collecte sélective ou tri mécanique.

Les fiches techniques jointes en Annexes détaillent les trois procédés secs suivants : DRANCO, VALORGA et LINDE, qui sont les plus utilisés et qui possèdent de nombreuses références dans les pays limitrophes.

Le procédé BTA (digestion humide) est également présenté, mais n'a pas été complété par une fiche technique de visite.

3.3.4 Avantages et inconvénients du compostage et de la biométhanisation

Par rapport au compostage, outre la valorisation énergétique du biogaz, un avantage de la biométhanisation mis en avant aujourd'hui réside dans le pouvoir de traiter des matériaux humides, qui sont problématiques pour les procédés de compostage, notamment pour les raisons suivantes:

- ils entraînent le tassement des déchets,
- ils produisent de forte lixiviations,
- ils nécessitent l'utilisation de structurant en grande quantité,
- ils produisent des nuisances olfactives .

Un inconvénient de la biométhanisation est le bilan hydrique positif alors qu'il est quasi nul pour le compostage. Certains procédés permettent cependant de recycler les lixiviats et de réduire fortement le rejet ou le traitement d'eaux usées résiduelles.

Les lixiviats extraits de la déshydratation mécanique du digestat sont fort chargés en pollution carbonée et azotée ; ils doivent être traités dans une installation adaptée, comparable aux installations prévues pour le traitement des percolats de décharge :

type de lixiviats	D.B.O ₅	D.C.O.	
percolats de CET	2.560	6.670	mg O ₂ /l
pressats de digestat	8.000	24.000	mg O ₂ /l
lixiviats de compost	393	1.566	mg O ₂ /l

Comparaison des teneurs de différents lixiviats

La perception d'odeurs par des riverains représente depuis toujours la plus grande contrainte pour le traitement de matières biologiques. La grande majorité des odeurs est générée lors de la fermentation intensive et donc il est indispensable de prendre une protection contre les odeurs pendant cette phase.

Quel que soit le procédé, les infrastructures seront donc surtout réalisées en fonction des contraintes sur les odeurs.

En cas de grande densité de population ou d'impossibilité de trouver un site suffisamment éloigné de toute habitation, l'installation devra être équipée d'un système de captage (bâtiment clos mis en dépression pour tout ou une partie du site) et de désodorisation de l'air (tour de lavage, biofiltre).

La rentabilisation d'un tel système n'est envisageable qu'à partir d'une capacité de traitement de plus de 12.000 tonnes / an.

Nota :

L'intercommunale de Bilzen (Interkompost) transforme en ce moment ses installations à cause de problèmes d'odeurs générés dans le hall de fermentation et remplace celui-ci par des tunnels de compostage (cf. fiche descriptive n° 1 – compostage en hall fermé).

En Allemagne, l'intercommunale de Lippe a quant à elle opté d'office pour la biométhanisation suite aux nuisances olfactives survenant trop fréquemment durant la fermentation des déchets organiques à cause du tassement des déchets (cf. fiche technique n° 6 - LINDE).

La concentration d'odeurs la plus élevée dans une installation de compostage est dans le hall de fermentation (1000 à 10.000 UO /m³) et à l'aspiration en dessous des andains (5.000 à 50.000), puis lors de l'affinage et dans les halls de réception et de préparation (100 à 500 UO/m³).

Dans une installation de biométhanisation, le problème des odeurs est plus réduit et se limite aux périphériques (hall de réception, de post-compostage, de traitement des lixiviats), car la fermentation se déroule dans un réacteur hermétique.

Rappel: le nombre «d'unité odeur» (U.O.) est par définition la concentration en substances odorantes au seuil de perception (c'est à dire la dilution pour laquelle 50 % des personnes ne perçoivent plus une odeur). Ainsi, une concentration de 80 U.O./m³ signifie que l'effluve doit être diluée 80 fois pour atteindre le seuil de perception.

3.4 CONTRAINTES DE VALORISATION DES PRODUITS

3.4.1 En compostage

En Belgique, l'A.R. du 7.01.1998 régit la mise sur le marché des engrais et amendements de culture («commerce des engrais et des amendements du sol»).

Le Ministère Fédéral de l'Agriculture, chargé de mettre cette loi en application, y a fixé des normes concernant le compost commercialisé en agriculture ; ces normes plus communément appelées les normes VLACO sont reprise dans le Tableau 1 en Annexes.

Les transferts de compost d'une Région à l'autre se réalisent librement (l'exportation C.E.E. également), pour autant que l'on réponde aux prescriptions du Ministère Fédéral de l'Agriculture. Toutefois, en cas d'exportation en Région flamande, une procédure a été instaurée, via la Mestbank, afin de gérer et contrôler les apports d'azote et de phosphore aux parcelles agricoles.

Cette procédure, outre le contrôle strict qu'elle opère, a tendance à freiner les ventes du compost, car les composts sont en compétition directe avec les lisiers, fumiers, et autres sous-produits agricoles valorisés en agriculture.

En Région wallonne, le compost tombe sous la réglementation des boues d'épuration pour son utilisation en agriculture. Toutefois, la Division de la Protection du Sol (DPS) de la DGRNE prépare un texte de décret qui devrait englober l'ensemble de sous-produits et déchets recyclés en agriculture et notamment les composts (décret relatif à l'utilisation de matières recyclables dans les sols)

Une liste de matières premières secondaires est également en cours d'élaboration ; ces matières assimilables à des produits perdraient leur dénomination de déchets et pourraient s'absoudre de la législation relative aux déchets.

A l'heure actuelle, le Ministère fédéral de l'Agriculture reconnaît le compost comme un amendement et octroie une dérogation pour son utilisation.

Le Comité Nitrates a réalisé un rapport approuvé par le Gouvernement wallon en juillet 2000, dans lequel la priorité est donnée aux produits d'origine agricole en matière d'épandage et où les déchets d'origine non agricole sont exclus, sauf liste positive à déterminer.

Si les composts issus de collectes sélectives organiques et d'un co-compostage ne sont pas repris rapidement dans cette liste, cela pourrait constituer un frein à leur commercialisation.

Au niveau européen, il n'existe pas de norme en matière de compostage. Toutefois, en vue de la détermination d'une norme européenne, la FEAD (Fédération européenne des Activités du Déchets et de l'Environnement) réalise une étude dont l'objectif est de déterminer les conditions à imposer aux installations de compostage dans l'Union Européenne : une partie concerne les installations de compostage et une autre concerne la qualité du compost à commercialiser.

L'intérêt agronomique d'un compost de qualité (pour la structure et la biologie des sols et pour les plantes) répondant aux normes (c'est à dire principalement dont l'innocuité est garantie) est reconnu et admis par tous les professionnels. Il possède encore une valeur commerciale positive qu'il est intéressant d'exploiter.

Le compost a la potentialité d'être utilisé comme amendement pour différentes applications grâce à ses caractéristiques avantageuses :

- amélioration des qualités physiques du sol et donc de l'absorption et de la rétention de l'eau et diminution de l'érosion,
- apport d'éléments fertilisants au sol,
- développement de l'activité biologique du sol et augmentation des échanges nutritionnels entre le sol et les plantes.

A ce titre, les débouchés existent, mais qu'en est-il de la réelle surface agricole utile ?

Pour répondre à cette question, une étude stratégique (analyse économique et environnementale) sur les potentialités de valorisation des composts et digestats produits ou susceptibles d'être produits en Région wallonne, vient d'être commandée par le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et de l'Environnement.

L'objectif est de définir les réels débouchés en Région wallonne, notamment les quantités de compost que les zones rurales peuvent absorber en agriculture, mais également les possibilités d'écoulement dans d'autres secteurs : horticulture, réhabilitation de sites pollués, contrôle de l'érosion, couches de surface (parcs, jardin), aménagements de CET..

Il s'agit de mettre en place une filière de valorisation de la matière organique, cohérente de l'amont à l'aval, pour ne pas craindre un problème d'écoulement du compost dont la quantité devrait augmenter dans les prochaines années en raison de la mise en place de nouvelles installations et du développement d'installations existantes.

En ce moment, les débouchés en agriculture sont difficiles à trouver vu la concurrence avec d'autres amendements : le monde agricole préfère réserver ses terres à la valorisation des déchets issus des secteurs agro-alimentaires plutôt qu'au compost issu de la FFOM.

Outre la commercialisation du compost, une autre grande contrainte est celle du transport. Au delà d'une courte distance, le coût de transport dépasse rapidement la « valeur » d'amendement du produit. Cette contrainte sera abordé en section 3.8 conjointement au coût de traitement.

Le problème d'écoulement du compost se pose actuellement sur l'unité de compostage de l'Intercommunale IOK à Beerse (système de compostage VAM – capacité de traitement de 50.000 tonnes) où le compost, quoique certifié VLACO, est donné gratuitement en vrac aux agriculteurs, alors qu'il y a 2 ans ce dernier était encore vendu 100 BEF / m³ (reprise sur site).

La pression dans les régions productrices d'effluents d'élevage est considérable et celles-ci leur donnent priorité pour l'amélioration de leurs terres.

Les producteurs de lisier ont cassé les prix du marché. Le coût de reprise du lisier par un agriculteur pour l'épandre sur des zones importables est de 10.000 BEF/ha et l'agriculteur choisit donc le lisier à la place du compost sans penser à long terme.

A titre indicatif, la commercialisation des 250.000 tonnes de compost produites en région flamande en 1999 est la suivante (source VLACO : Afzet GFT- en groencompost) :

- | | |
|---------------------------------|------|
| • Agriculture et Horticulture : | 11 % |
| • Espace vertes : | 18 % |
| • Fabricants de terreau : | 23 % |
| • Particuliers : | 20 % |
| • Exportation : | 4 % |
| • Réhabilitation : | 11 % |
| • Mélanges sol : | 6 % |

- Autres négociants : 7%

3.4.2 En biométhanisation

La production d'un biogaz, dont une partie (le méthane) est convertible en chaleur, en force motrice et électrique, est sans aucun doute une valeur ajoutée par rapport au traitement de la FFOM par des procédés de compostage.

Le méthane constitue 50 à 60 % du volume total de biogaz produit et possède un pouvoir calorifique de 36,5 MJ/m³ ; la quantité théorique d'énergie disponible dans un m³ de biogaz vaut donc 36.5 multiplié par la teneur en méthane dans le biogaz.

En général, le biogaz a une valeur énergétique qui varie entre 18,5 et 22 MJ/m³.

Les créneaux possibles pour la valorisation du biogaz sont les suivants :

- La production de chaleur : elle s'obtient par combustion du biogaz dans une chaudière ou un four. La contrainte se situe au niveau du réseau d'utilisation : il faut qu'il soit proche du site et que la demande en chaleur soit continue (en été et en hiver) ;
- La production d'électricité : elle s'obtient soit par alimentation directe d'un moteur à gaz ou diesel adapté (faibles puissances), donnant un rendement proche de 30 %, soit par production de chaleur et de vapeur et alimentation d'une turbine à vapeur pour les très fortes puissances (rendement inférieur à 20 % pour les puissances inférieures à 5 MWe) ;
- La co-génération de chaleur et d'électricité : elle permet de maximiser le rendement d'utilisation du biogaz, mais nécessitent des débouchés pour ces 2 formes d'énergie ;
- L'injection dans le réseau de gaz naturel : elle nécessite une épuration poussée du biogaz et des investissements importants ;
- Le biogaz-carburant pour des véhicules : il nécessite une épuration complète du biogaz et une forte compression pour réduire les volumes des réservoirs de stockage ;

Force est de constater que si le méthane donne essentiellement ^(*) sa valeur énergétique au biogaz, l'élimination d'un ou des autres constituants (la vapeur d'eau, l'hydrogène sulfuré (H₂S) et le gaz carbonique (CO₂) est indispensable pour certaines applications.

() les teneurs en CO₂ et en H₂S étant très faibles, leur apport calorifique peut être négligé.*

Ces indésirables peuvent en effet être néfastes pour les installations et l'environnement : condensation bouchant les tuyauteries, corrosion de l'installation, émission d'H₂S dans les gaz de combustion, dilution du pouvoir calorifique du gaz...

Aussi, l'épuration reste nécessaire dans certaines utilisations pour supprimer les gaz gênants ou incombustibles.

Les gaz que l'on supprime par épuration sont en général :

- La vapeur d'eau : à la sortie du digesteur, le biogaz, à température élevée, est saturé d'eau. On observe alors une condensation de la vapeur d'eau dans les points bas des tuyauteries. Le danger se situe en saison froide si la purge n'est pas réalisée.

- Le gaz carbonique : il ne gêne pas la combustion mais occupe un volume de stockage. On peut l'éliminer par un lavage à l'eau sous pression, ce qui élimine aussi l'H₂S. Une faible partie du méthane (environ 8%) se dissout dans l'eau, mais sa solubilité est nettement inférieure à celle du CO₂ et de l'H₂S,
- Le sulfure d'hydrogène (H₂S) : ce gaz toxique et nauséabond produit de l'acide sulfurique et attaque les métaux. On observe toutefois, que pour la biométhanisation de FFOM, la désulfuration n'est pas nécessaire, car la teneur en H₂S dans le biogaz n'est que de 900 ppm, ce qui est acceptable pour les moteurs, alors que dans le cas de la méthanisation d'OM brutes on atteint de l'ordre de 1200 ppm. On l'enlève assez facilement par passage sur l'oxyde de fer ou du charbon actif.

La réelle contrainte de valorisation du biogaz n'est pas d'ordre technique mais plutôt d'ordre commercial et politique. Le coût de vente actuel de l'électricité obtenue à partir de biogaz ne permet pas à la méthanisation d'être concurrentielle vis-à-vis du compostage aérobic. Le solde est vendu au réseau à un prix moyen actuel de 1,2 BEF/Kwh + 1 BEF/Kwh d'aide tarifaire, soit 2,2 BEF/ Kwh .

Malgré cette situation défavorable, certains pays ont résolument opté pour ce type de traitement et la Flandre notamment joue la carte de la biométhanisation.

Un nouvel élément devrait bientôt améliorer la viabilité des installations de biométhanisation produisant de l'énergie : le concept d'électricité verte inclus dans le Décret wallon sur la libéralisation du marché de l'électricité. Cet aspect sera traité en section 3.5.

En ce qui concerne le digestat, ce dernier a subi une fermentation anaérobic, mais il doit encore être purifié (élimination d'indésirables comme des petits morceaux de plastique et de verres, des pierres,...) et puis subir une maturation aérobic avant d'être utilisé comme fertilisant. Durant cette phase, la matière mûrit très vite (en général il s'agit toujours d'un compostage accéléré) étant donné que les composés facilement biodégradables ont déjà été métabolisés lors du traitement en anaérobic.

Après une à deux semaines, l'activité de la maturation aérobic se stabilise (la température chute et se stabilise).

La durée de la phase active de maturation dépend de la quantité de composants qui se décomposent difficilement en anaérobic (mais facilement en aérobic) et du procédé de digestion. Cette phase active permet également d'augmenter la teneur en MS du compost.

En compostage aérobic accéléré, il faut compter minimum 3 mois pour obtenir un compost avec un degré de maturation de 4 ou 5 (degré de stabilisation au sens du système allemand : Rottegrade), tandis qu'avec la biométhanisation, il y a 3 semaines de digestion suivie de 2 à 6 semaines de post-compostage.

Le produit final est un compost riche en matières organiques (environ de 20 à 25 % de M.O. sur Matières Brutes) et constitue un amendement utile pour améliorer la teneur en humus des sols et leur structure. Il est soumis au respect des mêmes normes de qualité que le compost issu d'un compostage aérobic. Les difficultés rencontrés pour le commercialiser sont donc les mêmes que pour le compost.

A titre comparatif, le Tableau 1bis en Annexes détaille la composition moyenne pour 3 compost différents (GFT compost, digestat Humotex de DRANCO OWS, Groencompost) répondant aux normes VLACO (source OVAM 1999).

3.5 APPROCHE ÉCONOMIQUE

Le Tableau n° 2A ci-après fournit l'évolution du coût d'investissement et de traitement pour une unité de compostage en tunnels pour des capacités croissantes de traitement (source HERHOF ; prix sur le marché allemand).

Cette estimation n'intègre cependant pas les recettes du compost (si vente il y a), lesquelles peuvent avoir un impact variable selon la taille de (production de compost plus élevée pour les grandes capacités et donc recettes plus élevées).

Le Tableau n° 2B compare les coûts de traitements de 3 unités de biométhanisation de capacités différentes. A titre indicatif, un comparatif de montants d'investissement d'unités de biométhanisation de différentes capacités est également consultable à la suite de ce tableau.

Sur base des données transmises par les constructeurs, le Tableau n° 3 (et n° 3bis) établit une comparaison «équitable» des coûts de traitement de 2 installations de biométhanisation et de 2 installations de compostage de capacités différentes ; les hypothèses suivantes sont identiques pour chaque unité : la maintenance du génie civil et des équipements, les frais administratifs, la tarification pour la mise en décharge, la vente du compost et de l'électricité, le traitement des effluents et les consommables.

Pour le compostage, les coûts d'investissement et d'exploitation sont relativement proches dans les pays où les 2 systèmes de compostage existent. Les usines appliquent un prix de marché variant entre 2.200 et 2.500 BEF/tonne M.O. traitée. Le coût de traitement obtenu pour le compostage en halls (1.737 BEF/t) est inférieur à la moyenne, alors que celui pour le compostage en tunnels est supérieur. Rappelons que pour ce dernier il s'agit d'un coût sur le marché allemand !

Pour la biométhanisation, le coût de traitement varie entre 3.250 et 2.682 BE /tonne M.O. traitée.

Cette différence s'explique en partie par le fait que dans un cas le post-traitement du digestat est plus coûteux : il s'agit d'une maturation en tunnel avec alimentation automatique, ce qui entraîne une autoconsommation de l'usine plus élevée ; dans l'autre cas la maturation s'effectue sous hall avec ventilation forcée et une alimentation au chargeur.

Bien qu'en matière de traitement la biométhanisation reste une technique plus coûteuse que le compostage industriel, elle pourrait devenir une solution compétitive en tant que producteur d'énergie verte.

En effet, jusqu'en 2000, la politique énergétique de notre pays constituait un frein pour ce type de technologie, car le prix d'achat de l'électricité produite par transformation du biogaz n'était guère intéressant.

En effet, chaque kWh produit au départ d'une source d'énergie renouvelable obtenait seulement un franc complémentaire au tarif de base (base = dispositions du Comité de contrôle du gaz et de l'électricité).

En mai 1999, un projet de directive a été adopté par le parlement européen, à savoir : doubler la part d'énergie renouvelable dans la consommation brute d'énergie et passer de 6 % actuellement à 12 % en 2010 avec des amendes en cas de non respect des objectifs.

Tableau 2A - Exemple de coûts de traitement pour un compostage en tunnels de type HERHOF ⁽¹⁾

Capacité de l'installation Investissement (en BEF)	10 000 tonnes / an	15 000 tonnes / an	20 000 tonnes / an	25 000 tonnes / an	30 000 tonnes / an
EM, études et mise en service incluses	68 788 105	81 761 545	104 593 973	115 502 800	133 302 607
Genie civil (*)	74 437 430	102 158 102	136 932 695	169 582 861	200 191 103
Investissement total	143 225 535	183 919 646	241 526 668	285 085 661	333 493 710
Investissement à la tonne	14 323	12 261	12 076	11 403	11 116
Coût de traitement (BEF / tonne) **	3 465	3 073	3 011	2 867	2 743

(*) hors frais d'architecte et frais de permis

(**) inclus : frais d'exploitation et charges d'investissement au taux de 7% non constant sur 15 ans et une recette de zéro pour la vente du compost.

(1) source HERHOF (les prix s'entendent sur le marché allemand)

Tableau 2B - Coûts de traitement pour des unités de biométhanisation										
Contracteur :				DRANCO OWS		DRANCO OWS		VALORGA		
Source : offre ou usine				offre		offre		usine (Engelskirchen)		
Capacité de l'usine :		tonnes	déchets IN	50 000	GFT	60 000	GFT +	35 000	FFOM	
Type de post-compostage				andains ventilés		andains ventilés		tunnel		
				hall couvert		hall couvert		hall couvert		
I/ Investissement										
	Génie civil		BEF		100 849 750		101 315 950		227 370 000	
	EM		BEF		369 110 085		350 858 726		268 700 000	
	Equipements biogaz		BEF		26 220 935		115 589 299		compris	
	Engins		BEF		4 033 990		compris		compris	
	Etudes, démarrage		BEF		compris		14 651 338		82 700 000	
	Total		BEF		500 214 760		582 415 313		578 770 000	
II.a / Amortissement										
Génie civil										
	Investissement		BEF		100 849 750		101 315 950		227 370 000	
	période		ans		20		20		20	
	intérêt		%		7		7		7	
	annuités constantes				0,94393%		0,94393%		0,94393%	
	Sous-total GC		BEF / an		951 951		956 352		2 146 214	
EM										
	Investissement		BEF		500 214 780		481 099 363		351 400 000	
	période		ans		10		10		10	
	intérêt		%		7,00		7,00		7,00	
	annuités constantes		14,23770%		71 219 080		68 497 484		50 031 278	
	Sous-total GC		BEF / an							
Total charges d'investissement			BEF / an		72 171 031		69 453 836		52 177 491	
II.b / Coûts d'exploitation										
1.	Personnel				2 postes		2 postes		1poste	
	directeur	pers./an	1 800 000	BEF/an	2	3 600 000	2	3 600 000	1	1 800 000
	employés	pers./an	1 600 000	BEF/an	4	6 400 000	4	6 400 000	2	3 200 000
	ouvrier	pers./an	1 600 000	BEF/an	6	9 600 000	6	9 600 000	2	3 200 000
	Total personnel		BEF/an			19 600 000		19 600 000		8 200 000

2.	Consommables									
	huiles		BEF /an		201 700		201 700			
	polymères	t / an	121 020	BEF /t	60	7 261 200	60	7 261 200	60	7 261 200
	eau	m³/an	50	BEF /m³	4 815	240 750	6 200	310 000	9 033	451 650
	fuel	l /an	30	BEF /l	15 000	450 000	15 000	450 000	7 500	225 000
	anti-foam	t / an	100 850	BEF /t	2,5	252 125	2,5	252 125	0	0
	Total consommables		BEF/an			8 405 775		8 475 025		7 937 850
3.	Maintenance et entretien									
	Génie civil	% inv.GC	BEF/an		0,5%	504 249	0,5%	506 580	1%	2 273 700
	EM	% inv.EM	BEF/an		3%	12 180 633	3%	15 876 279	5%	17 570 000
	autres	% inv.	BEF/an							
	Total maintenance/entretien		BEF/an			12 684 882		16 382 859		19 843 700
4.	Traitement des résidus									
	Effluents	m³	1000	BEF /m³	22 500	22 500 000	23 540	23 540 000	20 022	20 022 000
	Résidus	tonnes	2622	BEF/t	7 440	19 507 680	8 960	23 493 120	3 100	8 128 200
	Total traitement résidus		BEF/an			42 007 680		47 033 120		28 150 200
5.	Frais administratif	% inv.	BEF/ an		2%	10 004 295	2%	11 648 306	2,3%	13 311 710
	assurances, analyses, frais									
	Total frais administratifs		BEF/an			10 004 295		11 648 306		13 311 710
Total coûts d'exploitation			BEF/ an			92 702 632		103 139 310		77 443 460
			BEF/ t			1 854		1 719		2 213
II.c / Recettes										
	vente du compost	t / an	0	BEF/t	19 400	0	23 865	0	12 250	0
	vente de l'électricité	kWh/ an	2,2	BEF/ kWh	6 000 000	13 200 000	9 300 000	20 460 000	3 500 000	7 700 000
	Total Recettes		BEF / an			13 200 000		20 460 000		7 700 000
III. Coût de traitement (I + II)			BEF / an			151 673 663		152 133 146		121 920 951
			BEF / tonne			3 033		2 536		3 483

Tableau 3

Comparaison équitable des investissements et des coûts de traitement entre la biométhanisation et le compostage							
Données \ Procédés		Biométhanisation				Compostage	
		VALORGA Engelskirchen		DRANCO Brecht II		VAM Beerse	HERHOF Beselich
1/	Données quantitatives					<i>réalisation</i>	
	Capacité nominale de l'unité	<i>tonnes</i>	35 000		50 000	50 000	36 000
	Bilan matière						
	déchet IN		35.000 t de FFOM		49.000 tonnes	58 268	36 000
	pré-traitement OUT		ferrailles : 80		refus : 4.900 t	2 800	3 600
	Refus compostage	<i>tonnes</i>	3 100		2 100	compris	compris
	Compost (production en % IN)	<i>tonnes</i>	12 250	35%	1 930	22 147	38% 19 800
	Autres		n.c.		effluents : 22,500 tonnes	0	0
	Bilan énergie						
	production biogaz		110 Nm³ / tonnes FFOM IN		103 NM³ / tonne IN		
	énergie brute dans le biogaz		56 % de CH4		55 % de CH4		
	énergie autocons.		47,75%		20%		
	énergie exportée	<i>kWh /an</i>	3 500 000		6 000 000		
2/	Données économiques	<i>Tarifcation</i>					
	Investissement		578 770 000		502 215 000	407 000 000	391 884 500
	génie civil		227 370 000		100 850 000	287 000 000	144 378 500
	équipements		268 700 000		401 365 000	120 000 000	247 506 000
	études, démarrage		82 700 000		inclus	inclus	
A.	Coût d'amortissement de l'investissement						
	GC-EM: annuités cstes : taux 6 % sur 15 ans	<i>10,29628%</i>	59 591 780		51 709 463	41 905 860	40 349 525
B.	Charges d'exploitation / fonctionnement		<i>1 poste</i>		<i>2 postes</i>	<i>1 poste</i>	<i>2 postes</i>
	personnel (cadre)	<i>1 800 000</i>	1 800 000		3 600 000	1 800 000	-
	personnel (ouvriers, employés)	<i>1 600 000</i>	4 800 000		16 000 000	11 200 000	8 800 000
	maintenance GC (% Inv. GC)	<i>1%</i>	2 273 700		1 008 500	2 870 000	1 443 785
	maintenance EM (% Inv. EM)	<i>4%</i>	10 748 000		16 054 600	4 800 000	27 792 449
	consommables (eau / électricité)		1 380 000		7 955 756	9 356 920	12 932 190
	traitement eau de process		20 022 000		22 500 000	compris	compris
	frais de mise en décharge (BEF / t)	<i>2,622</i>	8 128 200		18 354 000	7 341 600	compris
	frais admin., assur., analyse compost : % Inv.	<i>2,4%</i>	13 890 480		12 053 160	9 768 000	9 405 228
C.	Recettes						
	vente compost (BEF / t)	<i>100</i>	-1 225 000		-1 956 485	-2 214 700	-1 980 000
	vente électricité (BEF / kWh)	<i>2,20</i>	-7 700 000		-13 200 000		
	(productio						
	Total cout de traitement (A+B-C)		3 249		2 682	1 737	2 743

Tableau 3 bis

Comparaison équitable des investissements et des coûts de traitement entre la biométhanisation et le compostage							
Données \ Procédés		Biométhanisation				Compostage	
		VALORGA Engelskirchen		DRANCO Brecht II		VAM Beerse	HERHOF Beselich
1/	Données quantitatives						
	Capacité nominale de l'unité	tonnes	35 000		50 000		36 000
	Bilan matière						
	déchet IN		35.000 t de FFOM		49.000 tonnes		36 000
	pré-traitement OUT		ferrailles : 80		refus : 4.900 t		3 600
	Refus compostage	tonnes	3 100		2 100	compris	compris
	Compost (production en % IN)	tonnes	12 250	32%	1 930	39%	19 800
	Autres		n.c.		effluents : 22,500 tonnes		0
	Bilan énergie						
	production biogaz		110 Nm³ / tonnes FFOM IN		103 NM³ / tonne IN		
	énergie brute dans le biogaz		56 % de CH4		55 % de CH4		
	énergie autocons.		47,75%		20%		
	énergie exportée	kWh /an	3 500 000		6 000 000		
2/	Données économiques	Tarifcation					
	Investissement		578 770 000		502 215 000		391 884 500
	génie civil		227 370 000		100 850 000		144 378 500
	équipements		268 700 000		401 365 000		247 506 000
	études, démarrage		82 700 000		inclus		inclus
A.	Coût d'amortissement de l'investissement						
	GC-EM: annuités cstes : taux 6 % sur 15 ans	10,29628%	59 591 780		51 709 463		41 905 860
B.	Charges d'exploitation / fonctionnement		1 poste		2 postes		2 postes
	personnel (cadre)	1 800 000	1 800 000		3 600 000		1 800 000
	personnel (ouvriers, employés)	1 600 000	4 800 000		16 000 000		11 200 000
	maintenance GC (% Inv. GC)	1%	2 273 700		1 008 500		2 870 000
	maintenance EM (% Inv. EM)	4%	10 748 000		16 054 600		4 800 000
	consommables (eau / électricité)		1 380 000		7 955 756		9 356 920
	traitement eau de process		20 022 000		22 500 000		compris
	frais de mise en décharge (BEF / t)	2 622	8 128 200		18 354 000		7 341 600
	frais admin., assur., analyse compost : % Inv.	2,4%	13 890 480		12 053 160		9 768 000
C.	Recettes						
	vente compost (BEF / t)	0	0		0		0
	vente électricité (BEF / kWh)	2,20	-7 700 000		-13 200 000		
	(productio						
	Total cout de traitement (A+B-C)		3 284		2 721		2 798

Tableau 3ter

Comparaison équitable des investissements et des coûts de traitement entre la biométhanisation et le compostage									
Données		Procédés site	Biométhanisation				Compostage		
			VALORGA Engelskirchen (D)		DRANCO OWS Brecht II (B)		VAM Beerse (B)		HERHOF Beselich (D)
1/ Données quantitatives			réalisation		offre		réalisation		offre
Capacité nominale de l'unité		tonnes	35 000		50 000		50 000		36 000
Bilan matière									
déchet IN			35.000 t de FFOM		49.000 tonnes		58 268		36 000
pré-traitement OUT			ferrailles : 80		refus : 4.900 t		2 800		3 600
Refus compostage		tonnes	3 100		2 100		compris		compris
Compost (production en % de IN)		tonnes	12 250	35%	19.30	39%	22 147	38%	19 800
Autres			n.c.		effluents : 22,500 tonnes		0		0
Bilan énergie									
production biogaz			110 Nm ³ / tonnes FFOM IN		103 NM ³ / tonne IN				
composition en CH ₄ du biogaz			56 % de CH ₄		55% de CH ₄				
énergie autocons.			47,75%		20%				
énergie exportée		kWh /an	3 500 000		6 000 000				
2 / Données économiques		Tarifcation							
Investissement			578 770 000		502 215 000		407 000 000		391 884 500
génie civil			227 370 000		100 850 000		287 000 000		144 378 500
équipements			268 700 000		401 365 000		120 000 000		247 506 000
études, démarrage			82 700 000		inclus		inclus		
A. Coût d'amortissement de l'investissement									
GC-EM: annuités cstes : taux 6 % sur 15 ans		10,29628%	59 591 780		51 709 463		41 905 860		40 349 525
B. Charges d'exploitation / fonctionnement			1 poste		2 postes		1 poste		2 postes
personnel (cadre)		1 800 000	1 800 000		3 600 000		1 800 000		0
personnel (ouvriers, employés)		1 600 000	4 800 000		16 000 000		11 200 000		8 800 000
maintenance GC (% Inv. GC)		1%	2 273 700		1 008 500		2 870 000		1 443 785
maintenance EM (% Inv. EM)		4%	10 748 000		16 054 600		4 800 000		27 792 449
consommables			1 380 000		7 955 756		9 356 920		12 932 190
traitement eau de process			20 022 000		22 500 000		compris		compris
frais de mise en décharge (BEF / t)		2 622	8 128 200		18 354 000		7 341 600		compris
frais admin., assur., analyse compost : % Inv.		2,4%	13 890 480		12 053 160		9 768 000		9 405 228
C. Recettes									
vente compost (BEF / t)		100	-1 225 000		-1 956 485		-2 214 700		-1 980 000
vente électricité (BEF / kWh)		4,00	-14 000 000		-24 000 000				
Total cout de traitement (A+B-C)			3 069		2 466		1 737		2 743

La Commission prévoit de laisser aux Etats membres le soin de fixer leurs objectifs, mais précise des chiffres indicatifs sur le niveau que devrait atteindre chaque pays (6 % pour la Belgique en 2010).

Les énergies renouvelables étant du ressort des Régions, le Décret flamand, approuvé en 07/2000, a prévu 5 % en 2010 avec l'introduction du système de certificat vert depuis 2001 ; l'arrêté d'exécution est en cours de rédaction.

Ainsi, les producteurs d'électricité en Flandre pourront se faire certifier et seront tenus d'atteindre un certain pourcentage en matière de production d'énergie renouvelable sous peine d'amendes (5 BEF / kWh manquant en Flandre en 2004), en cas de non respect de leurs obligations.

En région wallonne l'avant-projet d'Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la promotion de l'électricité verte est en cours d'approbation définitive au gouvernement.

Les mécanismes de soutien à l'électricité verte (l'éligibilité, les certificats verts et l'aide à la production : les primes extra-tarifaires sur les kWh verts, provisoire et d'une durée maximale de 10 ans) rendront plus viables les installations de production de bio-électricité ou les installations de bio-cogénération.

L'impact de ce décret peut s'illustrer par le Tableau 3 ter.

Le fait de passer à un prix de vente de l'électricité sur le réseau de 2,2 BE /kWh à 4 BEF/kWh, comme c'est le cas pour l'unité de Brecht II, diminue le coût de traitement d'environ 216 BE / tonne (120 kWh / t x (4 – 2,2) BEF / kWh).

On se trouve dans un cas similaire pour la seconde unité de biométhanisation de GFT (IVVO à Veurne) en Flandre, dont la mise en service est prévue fin 2002 ; l'Intercommunale a pu négocier un coût de vente d'électricité approchant 4,5 BE /kWh !

Pour le compostage par contre, le fait d'avoir un prix de vente nul (voire négatif) n'influence par fortement la rentabilité de l'opération : une différence de 100 BEF / tonne sur le compost ne joue qu'à concurrence de 45 BEF / tonne sur le prix de traitement (cf. Tableau 3bis).

En matière d'incitants financiers à l'investissement (hors subventions classiques), l'aide accordée par la Région wallonne reste actuellement plafonnée à 15%. Néanmoins, une révision des lois d'expansion économique et de réorientation économique, qui organisent l'aide à l'investissement en SER (sources d'énergie renouvelables), est en cours.

Le Ministre des Transports, de la Mobilité et de l'Energie souhaite revoir ce pourcentage à la hausse (affaire à suivre...).

3.6 SYNERGIE POSSIBLE DES PROCÉDÉS POUR LE TRAITEMENT D'AUTRES DÉCHETS QUE LA F.F.O.M.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la co-digestion de matières organiques avec des déchets plus humides (boues de step, déchets commerciaux, déchets des industries agricoles alimentaires) est possible ; elle représente environ 7 % du tonnage total des matières organiques digérées en Europe.

Notons que la société LINDE possède de nombreuses références d'installations pratiquant la co-digestion.

En ce qui concerne le compostage, la technologie du tunnel peut également traiter les boues de stations d'épuration (step), les déchets d'élevage et résidus de digestion anaérobie. En effet, la fermentation aérobie permet de déshydrater et de stabiliser des boues qui sont des matières organiques fermentescibles comprenant des germes pathogènes.

Le compostage qui opère sous des conditions thermophyles et mésophyles, conduit à l'obtention d'un produit hygiénisé, déshydraté et désodorisé, facile à stocker.

Pour composter des boues de Step (taux de siccité de 15 à 25 %), un mélange avec des déchets ligneux est nécessaire : 1 volume de boues pour 5 volumes de bois, la durée de fermentation tournant aux alentours de 14 jours. Le sous-produit principal est un amendement organique généralement valorisable en agriculture.

Les gaz de fermentation sont récupérés et épurés (lavage + biofiltre). La vapeur d'eau extraite par le flux d'air est rejetée dans l'atmosphère, tandis que les condensats, les jus et lixiviats sont collectés, traités et recyclés dans le process ou traités dans une step

La solution idéale est d'associer le traitement des effluents à la Step dont on composte les boues. Les concentrations de pollution sont de type 'urbain' pour les condensats issus de la fermentation. Toutefois, il est essentiel de réduire au maximum les rejets liquides, car l'origine du traitement des boues par compostage est l'épuration des effluents liquides !

En conclusion, le compostage des boues réclame des équipements appropriés et des procédés performants en vue de réduire les nuisances. En particulier, le compostage en tunnel permet une collecte optimale des rejets à la source et leur traitement.

3.7 APPLICATION DU COMPOSTAGE POUR LE BIOSÉCHAGE DE DÉCHETS MÉNAGERS ET LA PRODUCTION D'UN COMPOSÉ DÉSHYDRATÉ STABLE

3.7.1 Introduction

Depuis quelques années une solution alternative au traitement thermique direct s'est développée : le pré-traitement mécanique et biologique des déchets ménagers résiduels (plus couramment connu sous le vocable MBS : Mechanical Biological Stabilization) . Ce (pré)-traitement est appliqué sur les déchets avant leur enfouissement ou incinération ou en vue d'une utilisation d'une fraction sèche à haut pouvoir calorifique. L'idée est de stabiliser la matière organique pour supprimer tout potentiel toxique.

En Allemagne, il s'agit d'une conséquence de l'entrée en vigueur en 1996 de la loi sur le recyclage et le traitement des déchets (KrW-/AbfG), laquelle fixe les priorités en matière de prévention et de recyclage des déchets.

Cette loi incite notamment la transformation des déchets dans le but de recycler et de récupérer les matières premières se trouvant dans les déchets résiduels. Ce n'est qu'après avoir épuisé toutes les possibilités de prévention et de recyclage, que la solution ultime « mise en décharge ou incinération » est acceptable.

Cependant, la loi précise également que « l'obligation de valoriser les déchets est à respecter pour autant que cela soit économiquement admissible et qu'un marché pour une substance ou une énergie produite existe ou peut être créé. »

Enfin, l'un des critères d'acceptation des déchets dans les décharges, à savoir l'exigence d'une faible teneur en MO ($\leq 5\%$) applicable dès 2005, est également une conséquence du développement des traitements MBS.

Ces impositions ont conduit la société HERHOF à développer un procédé de valorisation des déchets résiduels ne nécessitant plus aucun recours à la mise en décharge : le procédé HERHOF Trockenstabilat (ou procédé de composé déshydraté stable).

() Les Intercommunales IOK et Igemo ont choisi en novembre 2000 ce procédé comme alternative de traitement des déchets résiduels. L'usine sera implantée à Geel et possédera une capacité de traitement de 150.000 tonnes de déchets. La mise en service est prévue fin 2002. Une solution de traitement des boues est également en cours d'étude pour IOK étant donné que le procédé HERHOF accepte également les boues pour la fabrication du Trockenstabilat, à raison de 20 % par tonne de déchets entrants (boues avec une siccité de 20 et 30 % de MS).

3.7.2 Présentation du procédé HERHOF de composé déshydraté

Comme nous l'avons précisé dans la définition du compostage, la décomposition des matières organiques est une réaction exothermique.

Le procédé HERHOF 'Trockenstabilat' consiste à évaporer l'humidité présente dans les déchets résiduels en utilisant la chaleur libérée par la fermentation aérobie des M.O.

Les déchets stockés dans des tunnels de compostage HERHOF subissent une stabilisation à sec. Au total, la masse de déchets est réduite en moyenne de 34 % grâce au processus de bioséchage. Le produit obtenu est stable d'un point de vue biologique et contient plus de 85 % de matières sèches dont environ encore 32 % de M.O.

Une des différences principales entre le compostage de déchets organiques et le bioséchage des déchets résiduels réside dans la composition de l'air vicié. De par la nature des déchets traités, la purification de l'air vicié issu d'un bioséchage ne peut plus être assurée par un biofiltre seul car les solvants, hydrocarbures et autres polluants détruiraient la flore bactérienne du biofiltre.

De plus, la loi fédérale allemande sur le contrôle de la pollution ambiante (17 et 29 BImSchV) fixe une valeur limite en carbone organique total (COT) difficile à atteindre par un biofiltre pour l'air expulsé d'installations traitant des ordures ménagères.

HERHOF a par conséquent développé un procédé de filtration de l'air vicié (système LARA : Luft Aufbereitung und ReinigungsAnlage) se basant sur l'oxydation complète du COT : l'air vicié est envoyé dans un four pendant 2 secondes et à 850 °C.

Pour éviter une reformation des contaminants en CO₂, l'air est refroidi en sortie dans un échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur qui servira à préchauffer l'air vicié avant d'entrer dans le four, d'où un gain d'énergie.

Cette purification, sophistiquée et coûteuse, est applicable dans le cas d'HERHOF car la concentration en COT est plus élevée (conséquence d'une recirculation de l'air vicié dans les tunnels), d'où une oxydation plus complète et optimale.

Après cette stabilisation biologique succède le post-traitement du composé déshydraté en vue de récupérer un maximum de matières premières.

Cette séparation est basée sur la différence de densité des matériaux : les particules lourdes (les pierres/céramiques, le verre et les métaux) sont extraits des matières synthétiques et autres (fraction légère) par broyage, tamisage et tables densimétriques.

La fraction légère est épurée en métaux non-ferreux et compose le produit fini pouvant être utilisé comme combustible secondaire : le Trockenstabilat.

Il présente une densité de 0,22 (0,5 lorsque mis en balles) et un pouvoir calorifique inférieur oscillant entre 15 et 18 MJ/ kg : à comparer au PCI du bois (entre 10,5 et 15,5 MJ/kg) et à celui de la lignite (entre 8 et 16 MJ/kg) alors que le PCI des OM varie entre 7,5 et 10 MJ /kg.

Une fiche technique rédigée sur base de la visite de l'installation HERHOF à Rennerood figure en Annexes et présente les caractéristiques techniques de l'installation.

A l'heure actuelle, 4 installations utilisant le procédé HERHOF sont en exploitation et 5 en commande (dont Geel en Belgique avec 150.000 tonnes et Trèves avec 180.000 tonnes) ; les deux unités mises en service récemment sont :

- Dresden (D) : 85.000 tonnes, mise en service en 05/2001
- Venice (I) : 120.000 tonnes, mise en service en 03/2001

Pour les installations de Geel et Trèves, HERHOF est responsable de la vente du Trockenstabilat et s'est engagé pour la reprise de ce produit durant 15 ans.

3.7.3 Conclusions

La solution MBS, très étudiée en Allemagne, mais également en Hollande, permet :

- de réduire le volume de déchets grâce la décomposition de la fraction organique résiduelle dans les déchets,
- de prolonger la durée de vie des décharges et de diminuer les coûts afférents au traitement des lixiviats et du biogaz.

La solution HERHOF va un peu plus loin puisqu'elle produit un combustible alternatif et le principe de la directive CE est appliqué : « tout déchet peut passer la frontière s'il est prévu de l'utiliser pour des raisons énergétiques ».

La Hollande définit quand un déchet peut être utilisé, plutôt qu'être détruit, de la façon suivante : « un déchet présentant un PCI supérieur à 11,5 MJ / kg est réutilisable ».

L'avenir est toutefois encore incertain pour le bioséchage étant donné que le déchet sec n'est pas nécessairement stabilisé (excepté pour le procédé HERHOF) et que l'un des critères d'acceptation des déchets dans les décharges, à savoir l'exigence d'une faible teneur en M.O. ($\leq 5\%$) applicable dès 2005, n'est pas satisfaite.

Certains Länder se refusant à tout traitement thermique ont opté pour la solution MBS, et c'est le cas de Borken (D), car ils estiment que de meilleurs résultats seront atteints d'ici là.

Note :

La société LINDE, active dans le compostage de déchets organiques et de déchets verts, se diversifie également dans le traitement mécano-biologique des déchets résiduels en utilisant ses tunnels de compostages pour « stabiliser » les déchets.

Une fiche technique rédigée sur base de la visite de l'installation de Borken figure en Annexes

3.8 SYNTHÈSE DES COÛTS DE TRAITEMENT

Nous avons relevé en section 3.5 des différences notables dans les coûts d'investissement et de traitement selon les procédés .

Néanmoins, nous pourrions adopter les évaluations suivantes pour les coûts de traitement :

- en compostage : entre 2.000 et 2.200 BEF /tonne traitée
- en biométhanisation : entre 2.700 et 3.400 BEF /tonne traitée

(pour des capacités de traitement variant entre 35.000 tonnes et 50.000 tonnes de déchets fermentescibles).

La commercialisation du compost permet (en général) de couvrir uniquement les coûts de commercialisation, et éventuellement de transport ; elle n'a par conséquent pas d'impact sur le coût de traitement des déchets.

La grande contrainte résulte du transport ; à cet égard, une étude allemande permet d'avancer les éléments suivants :

- valeur du compost : entre 80 et 110 BEF/t de MS,
- coût de transport (rayon proche de 30 km) : 65 à 215 BEF/t de MB

Au coût de transport s'ajoute celui de l'épandage estimé de 172 à 215 BEF/tonne de MB.

Ces données ne prennent pas en compte les effets bénéfiques du compost liés à l'amélioration de la structure du sol et à la santé globale des végétaux ; ils montrent qu'une commercialisation en dehors de la région d'origine est moins rentable qu'un écoulement local.

La biométhanisation pourrait par contre devenir une technologie compétitive à condition de profiter d'une politique énergétique favorable. Des aides tarifaires supérieures pour la revente de l'électricité produite grâce au biogaz permettrait de compenser le prix plus élevé du traitement anaérobie.

3.9 CONCLUSIONS SUR LA FIABILITÉ ET LES CONDITIONS D'APPLICATION DES PROCÉDÉS

Le procédé idéal n'existe pas, car seule une étude de cas permettrait de définir une solution adaptée au site, à la quantité et à la composition du gisement.

Les techniques de compostage en hall et en tunnels ont été appliquées à de nombreuses reprises, et la fiabilité de leur fonctionnement n'est plus à démontrer. Certains problèmes techniques ne sont pas entièrement résolus, notamment les nuisances olfactives, mais dans l'ensemble on peut relever des avantages qui leur sont propres.

(1) Compostage en tunnels :

- Durée de la fermentation raccourcie,
- Faible surface occupée,
- Confinement de l'air vicié et désodorisation optimale,
- Rejet zéro des eaux usées car autoconsommation des lixiviats et des condensats dans les tunnels,
- Possibilité d'extension modulaire,
- Contrôle quasi optimal des paramètres de fermentation,
- Plus grande souplesse d'exploitation : le fait que chaque tunnel fonctionne comme une cellule indépendante (la gestion des paramètres de fermentation est propre à chaque cellule), permet à l'exploitant de composter des déchets de natures différentes.
- Longévité : les tunnels en béton résistent bien à l'air corrosif du compostage, contrairement aux structures métalliques du hall (sauf en cas d'aération forcée par aspiration ex. VLAR INDAVER à Grimbergen)

(2) Compostage en hall

- Retournement et ventilation : conditions optimales de fermentation
- Automatisation depuis l'entrée dans le hall de pré-traitement.

En ce qui concerne la biométhanisation des déchets fermentescibles, cette technologie plus récente que le compostage est plus chère, mais commence à se positionner sur le marché des déchets (notamment en Allemagne, aux Pays-Bas et en Flandre).

Le biogaz offre de nombreuses possibilités de valorisation énergétique, d'où la nécessité, pour des raisons économiques et environnementales, d'envisager dès les premières phases d'un projet de biométhanisation la forme que doit prendre cette valorisation énergétique.

Les paramètres à prendre en considération pour déterminer le type de valorisation à mettre en œuvre sont : le débit de biogaz et la caractérisation de l'utilisateur du biogaz.

Un des inconvénients majeurs de la biométhanisation résulte dans la production des lixiviats. Ces effluents fortement pollués doivent être traités selon des techniques de filtration poussées et coûteuses.

CHAPITRE 4 : TRAITEMENT DES RESIDUS SOLIDES DE L'INCINERATION.....2

PARTIE 4.1 LES MACHEFERS ou MIOM..... 2

<u>4.1.1</u>	<u>Introduction</u>	2
<u>4.1.2</u>	<u>Situation en Région wallonne – opérateurs</u>	3
<u>4.1.3</u>	<u>Bases réglementaires en Belgique pour une valorisation des miom</u>	6
<u>4.1.4</u>	<u>Contexte légal en France et aux Pays-Bas pour la valorisation des miom</u>	7
<u>4.1.5</u>	<u>Destinations et exutoires</u>	9
<u>4.1.6</u>	<u>Coûts</u>	10
<u>4.1.7</u>	<u>Conclusions</u>	11
<u>4.1.8</u>	<u>Application pour les boues de step</u>	12

PARTIE 4.2 LES RESIDUS DU TRAITEMENT DES FUMÉES ou REFIOM 13

<u>4.2.1</u>	<u>Introduction</u>	13
<u>4.2.2</u>	<u>Développement des technologies de traitement</u>	14
<u>4.2.3</u>	<u>Le procédé solatech de la société revatech</u>	16
<u>4.2.4</u>	<u>Conclusions et aspects économiques</u>	20

CHAPITRE 4 : TRAITEMENT DES RESIDUS SOLIDES DE L'INCINERATION

PARTIE 4.1 LES MACHEFERS ou MIOM

4.1.1 INTRODUCTION

La gestion et le traitement des MIOM en Région wallonne a fait l'objet d'une étude en 1997 commandée par l'Office Wallon des déchets.

La phase 1 analysait la situation réglementaire en matière de gestion des MIOM en Région flamande, dans la Région de Bruxelles-Capitale et dans certains pays limitrophes (France, Pays-Bas et Allemagne) afin de mettre en exergue les conditions de valorisation des MIOM.

La phase 2 identifiait les modes de gestion à envisager pour les MIOM en Région wallonne avec notamment une réflexion technico-économique sur l'opportunité de réaliser un ou plusieurs centres de traitement de MIOM en Région wallonne.

Dans le cadre de la définition d'un plan pour la réutilisation des MIOM, la mise en place d'un cadre réglementaire permettant l'usage des MIOM en tant que « matières secondaires » a également été étudié et une partie de l'étude a élaboré les éléments à insérer dans le projet de réglementation wallonne.

Le présent rapport présente un relevé des procédés de traitement déjà appliqués en Région Wallonne pour la valorisation des MIOM compte tenu de la récente réglementation entrée en vigueur en juin 1999.

Il met en évidence certaines évolutions technologiques en cours ou en projet en Belgique et dans les pays limitrophes.

Il fait également le point sur l'évolution réglementaire en Région flamande, en France et aux Pays-Bas en matière de valorisation des MIOM.

Le rapport est complété par des annexes caractérisant certains procédés, installations et projet de réglementation.

4.1.2 SITUATION EN RÉGION WALLONNE – OPÉRATEURS

En 1999, la Région wallonne générait près de 80.000 tonnes de MIOM bruts. Le Plan wallon des déchets horizon 2010 prévoyait une production constante de 200.000 tonnes de MIOM à partir de 2000 ; cette estimation intégrait la production de MIOM générée par l'incinérateur prévu pour le BEPN et IDELUX (environ 50.000 tonnes de MIOM).

Le Tableau 4.1/ 01 détaille, par intercommunale possédant une unité d'incinération d'ordures ménagères, la production actuelle (1999 et 2000) et prévisionnelle (2005) de MIOM ainsi que leurs destinations.

A l'exception d'IBW, la seule intercommunale à faire transporter l'entièreté de ses MIOM en CET, les autres ont opté pour une valorisation de leurs MIOM.

Mis à part IPALLE qui possède et gère sa propre installation de traitement de MIOM à l'usine d'incinération de Thumaide, il n'est pas encore possible de définir avec exactitude le taux de recyclage atteint c'est-à-dire la fraction de MIOM effectivement réutilisés par rapport au gisement de MIOM bruts traités.

A/ IPALLE

L'usine de traitement de MIOM d'IPALLE a pour objectif la valorisation des MIOM en technique routière et traite environ 18.500 tonnes de MIOM par an pour 100.000 tonnes d'OM incinérées. Cette valorisation ne concerne que les MIOM de calibre 0/20 mm (entre 15.000 et 16.000 tonnes par an) qui sont écoulés et recyclés comme matériau de sous-fondation.

Les MIOM extraits en sortie des fours d'incinération sont acheminés par convoyeurs capôtés jusqu'à un hall fermé renfermant la chaîne de traitement proprement dite ; les séquences sont les suivantes :

- Un pré-criblage au tamis vibrant pour sortir 2 calibres : 0/100 mm et > 100 mm,
- Un criblage fin de la fraction 0-100 mm dans un trommel à maille carrée de 20 mm,
- Un déferrailage (sur toutes les fractions) et un nettoyage des ferrailles,
- Une séparation des imbrûlés sur la fraction 20/100 mm,
- Une maturation sous hall fermé des MIOM de calibre 0-20 mm pendant 13 semaines complétée par une maturation à l'air libre (en dehors du site) avant leur utilisation.

Afin d'améliorer encore la qualité du matériau, l'installation sera prochainement équipée d'un séparateur à courants de Foucault pour récupérer les non-ferreux présents dans la fraction 0/20 mm (marché en cours).

D'autres essais, projets et études sont en cours afin de réduire au maximum la mise en décharge de ce produit :

- Broyage de la fraction 20/100 en vue de sa ré-incorporation dans la chaîne de traitement,
- Broyage de la fraction > 100 mm chez RECYHOC en vue de sa ré-incorporation dans la chaîne de traitement,
- Utilisation de MIOM liés (stabilisés au ciment) en fondations de voiries : chantier expérimental à la station d'épuration de MOUSCRON.

L'usine d'incinération de Thumaide fait actuellement l'objet d'une extension (triplement de la capacité d'incinération) ; le hall de maturation ne pourra plus assurer la maturation provenant des lignes nouvelles et une nouvelle dalle de maturation à l'air libre (sur site) est déjà planifiée.

Quoiqu'il en soit, cette installation reste réservée aux besoins propres de l'incinérateur d'IPALLE.

B/ INTRADEL et ICDI

Les MIOM d'INTRADEL et d'ICDI sont acheminés jusqu'à la plate-forme de traitement de VALOMAC (groupe WATCO) implantée en Région flamande à GRIMBERGEN; les MIOM des Intercommunales flamandes IVAGO et MI-WA y sont également traités.

Il s'agit de la première installation d'un opérateur privé opérationnelle en Belgique pour le traitement des MIOM.

Ce centre de maturation et de traitement a été dimensionné pour accueillir 250.000 tonnes de MIOM ; cette capacité est cependant loin d'être atteinte car, en 2 ans, le centre n'a traité que 100.000 tonnes.

A l'heure actuelle, la seule fraction recyclée est le calibre 0-10 mm, ce qui représente un taux de recyclage approximatif de 60% sur le tonnage de MIOM bruts entrants.

La plate-forme de traitement de VALOMAC a fait l'objet d'une visite synthétisée dans une fiche technique jointe en annexe 4.2/01.

La maturation et le traitement s'opèrent à l'air libre et les opérations sont les suivantes :

- un pré-criblage sur tamis vibrant à barreaux avec une maille de 80 mm,
- un second criblage sur tamis vibrant à barreaux avec une maille de 40 mm,
- un tamisage fin à une maille de 10 mm,
- une séparation des ferreux sur toutes les fractions,
- une séparation des non-ferreux (sous couvert) sur la fraction 10-40 mm,
- une séparation des imbrûlés sur la fraction 10-40 mm (dimensionnée pour 20/40 mm),
- un concassage provisoire de la fraction 40-80 mm en vue de son retraitement,
- une maturation à l'air libre de plus de 3 mois.

Afin d'améliorer la qualité du calibre 10/40 mm, un quatrième tamisage à 20 mm est prévu pour séparer les non-ferreux sur la fraction 10/20 mm et assurer une séparation optimale des imbrûlés sur la fraction 20/40 mm.

La fraction métallique (ferreux et non-ferreux) récupérée en 2000 (sur un gisement brut d'environ 60.000 tonnes de MIOM) et vendue aux recycleurs représentait 1.872 tonnes : 1.778 t de ferreux (2.96 %) et 94 tonnes de non-ferreux (0.16%).

C/ En Région flamande

INDAVER a mis en service en janvier 2001 une installation de traitement de MIOM possédant une capacité de 160.00 tonnes par an; la moitié étant réservée aux besoins propres d'INDAVER.

Le principe de fonctionnement est plus complexe que celui appliqué chez IPALLE ou VALOMAC car à chaque étape de criblage est associé un lavage des MIOM ; les séquences de traitement sont les suivantes :

- un pré-criblage dans un trommel nettoyeur à l'eau d'où résultent un calibre 0-50 mm et une fraction > 50 mm renvoyée à l'incinération ;
- un tambour nettoyeur à l'eau qui élimine les imbrûlés de la fraction 0/50 mm,
- un tamisage et lavage à l'eau pour récupérer deux fractions : 6 et 2 mm,
- une séparation ferreux et non-ferreux sur les calibre 6/50 mm et 2/6 mm,

Le lavage a été incorporé au procédé de manière à pouvoir satisfaire la réglementation flamande (voir ci-après).

Un certificat d'utilisation est en cours de demande auprès de l'OVAM pour l'utilisation du calibre 0-50 mm comme matériau de sous-fondations ou de recouvrement de décharge.

Les fines (0/2 mm) pourraient être utilisées comme matériau de construction.

4.1.3 BASES REGLEMENTAIRES EN BELGIQUE POUR UNE VALORISATION DES MIOM

La Région flamande et la Région wallonne ont développé leur propre législation en matière de recyclage de MIOM.

Le Gouvernement wallon a adopté le 20.05.1999 un Arrêté établissant une liste de déchets assimilables à des produits et autorisant leur réutilisation moyennant une certain nombre d'impositions. Les MIOM ont été intégrés dans la catégorie des travaux de génie civil, plus précisément dans des travaux de sous-fondations ou comme remblais.

L'Arrêté impose les conditions suivantes :

- la délivrance d'un certificat d'utilisation conditionné par un test de conformité : test de lixiviation en colonne (NEN 7343) identique à celui appliqué dans la norme hollandaise,
- un tests d'assurance qualité pour chaque lot de MIOM valorisé,
- le respect des cahiers des charges des travaux publics, de caractéristiques géotechniques vérifiées par des essais (granulométrie, essais Proctor, mesures du potentiel de gonflement,..) et d'un temps de maturation de 4 mois,
- la traçabilité complète du matériau depuis sa production jusqu'à l'application finale,
- la constitution d'un manuel d'utilisation destiné aux utilisateurs du matériau.

En Région flamande, la réglementation VLAREA (Belsuit van de Vlaamse regering houdende nadere regelen voor secundaire grondstoffen) fixe les critères d'acceptabilité à respecter en vue d'obtenir un certificat d'utilisation des MIOM avec ou sans restrictions délivré par l'OVAM.

Ces critères sont basés sur :

- les concentrations en certains composants (métaux lourds, hydrocarbures aromatiques mono et polycycliques, composés organiques autres),
 - la lixivibilité des métaux lourds ; celle-ci est déterminée sur base du même test colonne qu'en RW.

Les valeurs limites (caractérisant le potentiel polluant du MIOM vis-à-vis de l'environnement) et les paramètres ne sont pas identiques pour les deux régions.

A titre comparatif, le Tableau 4.1/02 en annexes présente les seuils réglementaires de lixiviation pour les MIOM appliqués en Belgique, en Hollande, en France et en Allemagne.

Un certification d'utilisation est délivré sans restrictions pour autant que les critères 1 et 2 soient respectés ; par contre, les concentrations en certains composants ne sont, au sens légal, que des valeurs indicatives.

Ce qui signifie que, même si certains seuils admis sont dépassés (c'est souvent le cas du cuivre, du zinc et du plomb dans une moindre mesure), les MIOM pourront être valorisés mais avec certaines restrictions comme par exemple la mise en oeuvre par lot de 10.000 m³.

4.1.4 CONTEXTE LÉGAL EN FRANCE ET AUX PAYS-BAS POUR LA VALORISATION DES MIOM

A/ Aux Pays-Bas, une procédure de certification a été mise en place depuis 1986 en vue de garantir les qualités environnementales et les caractéristiques des MIOM.

Le gouvernement a décidé que ceux-ci devaient respecter un certain nombre de critères dont les normes de qualité sont reprises dans le BSB (Bouwenstoffenbesluit bodem en oppervlaktewaterenbescherming ou Décret sur les matériaux de construction et la protection des eaux souterraines et de surface), de manière à prévenir le risque potentiel de contamination du sol et des eaux souterraines.

Un code bonne pratique a été élaboré pour leur réutilisation et des critères relatifs aux caractéristiques physiques des MIOM ont été définis en étroite collaboration avec l'Association des entrepreneurs routiers.

La législation a cependant été révisée et, depuis la mi-1998, de nouveaux test de lixiviation et des critères plus sévères sont exigés. La réglementation des matériaux à recycler se base sur la compatibilité vis-à-vis de la gestion des eaux et les valeurs limites d'immission (mg/m²) qui sont les mêmes pour tous les matériaux à recycler :

- La qualité du sous-sol ou des eaux souterraines sous le matériau utilisé ne peut être affectée que marginalement par le lixiviat du matériau.
- Un matériau respectant les valeurs d'immission de la catégorie 1 peut être mise en œuvre sans mesures techniques de protections.
- Un matériau respectant le valeurs d'immission de la catégorie 2 doit être mis en œuvre avec une série de protections techniques.

Cette récente contrainte réglementaire a pour conséquence de limiter graduellement les applications de MIOM, car à l'heure actuelle près de 70 % de la production de MIOM ne respecte pas les critères de la catégorie 2 ; ces MIOM sont classés dans la catégorie spéciale pour laquelle des mesures de sécurité complémentaires - en plus des protections techniques - sont nécessaires (impositions rigoureuses sur le revêtement supérieur de la construction).

Il a été décidé récemment qu'à partir de janvier 2003, la catégorie « spéciale » pour les MIOM serait supprimée. Il y a donc un sérieux problème !

Toutefois, la qualité des MIOM peut être améliorée par des traitements plus poussés tels que le vieillissement accéléré et des procédés de lavage.

Ces traitements sont parfois plus intéressant financièrement quand ils sont appliqués à des MIOM spéciaux pour lesquels un revêtement est obligatoire.

En annexe, le procédé de vieillissement accéléré développé par la société Tauw Milieu est présenté.

B/ En France, la réglementation sur la valorisation des MIOM en techniques routières et autres applications assimilées est définie dans la circulaire du 9 mai 1994 du MATE (Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement).

Elle régit l'ensemble de la chaîne depuis les contrôles réalisés par le producteur jusqu'à ceux réalisés par l'utilisateur, en passant par le transformateur. La traçabilité est également à la base de cette utilisation.

Les annexes de la circulaire comprennent :

- les règles d'aménagement et dispositions techniques à usage des autorités devant délivrer des permis de construction et d'exploitation,
- les utilisations possibles en techniques routières pour les MIOM de type « V » (MIOM à faible fraction lixiviable et valorisable immédiatement).

Les MIOM de type V ou de type M ayant subi une maturation sont destinés aux remblais, couches de forme et de fondations de chaussées.

En complément au traitement mécanique (criblage, déferrailage ferreux et non-ferreux, séparation des imbrûlés, calibrage à 20 mm et maturation), certains MIOM sont traités aux liants hydrauliques (SCORCIM C) et liants hydrocarbonés (SCORMOUSSE); ils deviennent assimilables à des sables traités et convenant également à la réalisation de couches de formes et de fondation de chaussées, où ils permettent une réduction des épaisseurs des couches de chaussée de 40%.

Ces brevets déposés ont permis d'augmenter la part de MIOM valorisables et d'accéder ainsi à un marché plus important.

Il n'existe aucune norme sur l'utilisation des MIOM en assises routières. Aussi, plusieurs sociétés spécialisées dans la valorisation des mâchefers dans la construction, comme Yprema et l'Entreprise Jean Lefèbre, se sont créées un référentiel afin d'assurer une utilisation optimale de ce matériau. Des chantiers expérimentaux sont réalisés pour suivre dans le temps les relargages d'éventuels polluants.

Pour ce qui est de l'évolution de la réglementation française, les Autorités attendent les résultats d'un important programme d'étude mis sur pied par le MATE et l'ADEME, en collaboration avec le BRGM (Bureau de Recherche en Géologie minière), le CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement), INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) et INSAVALOR division POLDEN (Pollution – Déchets - Environnement).

Cette étude a pour objectif de définir les différentes possibilités d'utilisation et d'élimination qu'il convient de réserver aux résidus issus de procédés thermiques dont les MIOM font partie.

Ce programme tient compte des développements réglementaires et normatifs en cours au niveau européen dans le domaine de l'environnement.

Plusieurs scénarios d'utilisation du MIOM en travaux publics sont envisagés. Ce programme vise donc à :

- proposer une base scientifique pour le choix de critères et des seuils,
- élaborer, sur cette base scientifique, un projet réglementaire.

D'ici fin 2001-début 2002, un projet de texte réglementaire rédigé par ce groupe de travail, avec de nouveaux seuils, devrait être présenté et discuté avec les producteurs de résidus thermiques. Le détail du programme, de ses objectifs, des étapes et des méthodes utilisées sont présentés en annexe.

Note sur la situation en Allemagne :

Le marché allemand est aujourd'hui concurrentiel pour la valorisation des MIOM suite au vaste programme de réhabilitation par comblement de mines de sels.

Ce programme en cours attire des flux de déchets de toutes sortes et est reconnu comme application 'utile' mais est contesté par différents Etats membres, qui l'assimilent à une mise en décharge, puisque ne traitant aucunement la pollution de la matière.

4.1.5 DESTINATIONS ET EXUTOIRES

Force est de constater que dans la majorité des exemples de valorisation étudiés, les exutoires n'existent que lorsque les critères suivants sont remplis :

- la région (ou le pays limitrophe) où les MIOM sont utilisés présente soit un déficit de matériaux « nobles » soit des MIOM de moindre qualité,
- les tarifs pratiqués pour les MIOM sont inférieurs à ceux des matériaux « nobles »,
- l'accès jusqu'au lieu d'utilisation est aisé (accès proche par voie routière ou accès par voie fluviale).

L'avantage concurrentiel des MIOM par rapport aux matériaux naturels est amoindri par son coût de transport routier pondéreux. Par conséquent, le débouché avec éventuellement la vente sur le marché local est toujours envisageable à condition de ne pas dépasser une distance limite, sans quoi le matériau de substitution perd tout son avantage.

Une autre manière d'élargir la gamme d'utilisation des MIOM en technique routière est de le traiter aux liants hydrauliques afin d'améliorer les caractéristiques géotechniques du produit. Ce traitement se présente déjà actuellement comme particulièrement intéressant, car il confère au produit l'intégrité des structures recherchée et améliore ses performances environnementales par piégeage de certains polluants.

Depuis l'obtention du certificat d'utilisation de ses MIOM, IPALLE n'a plus éliminé de MIOM de calibre 0/20 mm en décharge. Les projets en cours énoncés au point a/ du § 4.1.2 indiquent une volonté de destiner l'ensemble des MIOM produits à une valorisation.

Du côté de VALOMAC, des exutoires ont également été étudiés dans différents domaines :

- plusieurs chantiers en Région flamande ont été négociés : 150.000 tonnes pour fin 2002,
- une utilisation certifiée en travaux de TGV (ligne Anvers – Rotterdam),
- une utilisation en tant que remblai (plus de 500.000 m³) pour le groupe WATCO dans des sites à restaurer, sous réserve d'autorisations (flamande et wallonne),
- des contacts avec des producteurs de béton doivent être lancés en vue d'utiliser les MIOM dans la composition de bétons maigres.

Selon VALOMAC, il apparaît que, dans les différentes expériences de commercialisation, le débouché sera toujours envisageable, pour une qualité minimale, à un coût de 0 BEF / t rendue au chantier d'application.

L'un des freins à la valorisation des MIOM sont les décharges.

En région wallonne, les MIOM ne sont plus acceptés en décharge, sauf dans celles possédant des cellules spécifiques séparées du reste des déchets (les décharges du CETEM à Mont Saint Guibert et d'INTRADEL à HALLEMBAYE.....).

Toutefois, l'évolution de la réglementation sur l'interdiction de la mise en CET de certaines matières devrait permettre de lever rapidement ce frein ; du moins en région wallonne ! L'avant-projet de l'Arrêté en question prévoit l'interdiction de la mise en CET de MIOM, autres que ceux 'ultimes', endéans les 5 ans à partir de la mise en vigueur de l'Arrêté.

En région flamande par contre, les MIOM ne sont pas soumis à taxation et constituent un matériau de couverture et de piste d'accès fort apprécié dans les décharges. Ces décharges qui acceptent le stockage des MIOM rendent les coûts de valorisation prohibitifs.

4.1.6 COÛTS

Dans le cadre de l'étude réalisée en 1997 pour l'OWD, une comparaison économique avait été réalisée entre 2 scénarii de gestion et traitement des MIOM en région wallonne ; il s'agissait :

- en solution 1 (S1), du cas où chaque UIOM en région wallonne s'équipait d'une unité de traitement de MIOM (capacité unitaire de 40.000 tonnes et similaire à celle d'IPALLE) et où les MIOM valorisables étaient ensuite cédés à une/des sociétés privées pour un éventuel traitement complémentaire et la commercialisation des MIOM,
- en solution 2 (S2), du cas où les MIOM produits en région wallonne étaient transportés vers un centre de traitement unique pour la RW (capacité de 150.000 tonnes) et où les MIOM valorisables étaient ensuite cédés à une/des sociétés privées pour un éventuel traitement complémentaire et la commercialisation des MIOM,

Les hypothèses communes prises en compte pour les 2 scénarios étaient :

- une maturation sur dalle non couverte,
- un temps de maturation de 6 semaines minimum,
- un criblage des MIOM à 20 mm avec broyage des refus compris entre 20 et 100 mm,
- 10 % de refus à évacuer en CET,
- une commercialisation des MIOM depuis le site de traitement

En conclusion des évaluations économiques, la solution centralisée (S2) apparaissait comme la plus intéressante d'un point de vue économique : investissement de 190 MBEF et coût de traitement de 600 BEF / t (abstraction faite des recettes éventuelles provenant de la valorisation des MIOM traités).

Sur base de leur expérience et selon les dernières estimations de VALOMAC, la création d'un site de traitement en région wallonne présentant la même configuration que celui de Grimbergen (criblage, récupération des ferreux et des non-ferreux, élimination des imbrûlés, concassage et traitement de la fraction > 40 mm) nécessiterait un investissement d'environ 125 MBEF (hors achat du terrain) pour une capacité de traitement de 200.000 tonnes de MIOM / an.

Les exigences wallonnes en matière de qualité des MIOM traités permettent d'envisager un coût de traitement de 500 BEF / t, hors coût exutoire et ce pour autant que la capacité de traitement avoisinerait 200.000 tonnes.

A l'heure actuelle, INTRADEL et ICDI paient environ 1.800 BEF / t (reprise sur site) pour évacuer leur MIOM en vue de les valoriser, alors que le coût afférent à l'élimination des MIOM bruts en CET se situe entre 1.300 et 1.500 BEF / tonne (transport et mise en décharge).

En ce qui concerne IPALLE, le budget d'investissement de l'installation de Thumaide avoisine les 150 MBEF et le coût d'exploitation actuel (hors charges d'investissement et recettes comprises) est de 540 BEF / t.

Etant donné la qualité des matériaux, les MIOM sont vendus à 30 BEF / t (repris sur site).

Outre l'investissement et le principe de l'unité de traitement centralisée, le transport fluvial, tant pour l'apport que pour la vente des matières traitées, présente un avantage indéniable vis-à-vis du transport routier. A l'heure actuelle, force est de constater que les intercommunales en RW ne possèdent pas l'infrastructure leur permettant de transporter leurs MIOM par voie fluviale, alors que deux sur trois sont implantées à proximité d'une voie d'eau.

4.1.7 CONCLUSIONS

La production de MIOM en Région wallonne en 2005 atteindra 150.000 tonnes dont 52.000 tonnes pour IPALLE.

La mise en œuvre de l'unité de maturation et de traitement d'IPALLE constitue une étape de la gestion et de valorisation des MIOM au moyen de filières contrôlées et transparentes.

La qualité des MIOM, grâce à l'installation actuelle et aux modifications en cours, devrait permettre une utilisation optimale de ce matériau dans tous les chantiers comme matériau de sous-fondations ou en remblais.

Le potentiel de valorisation des MIOM existe et les modes de traitement permettant leur valorisation, tout en respectant les normes d'utilisation admises en applications routières en région wallonne, sont à présent éprouvées.

Les marchés potentiels d'utilisation des MIOM valorisables ont pu être identifiés au départ des processus d'utilisation appliqués dans les pays limitrophes. L'accès à ces marchés dépend du développement par les entreprises de méthodes de préparation / de conditionnement pour les marchés privés.

La valorisation des MIOM, telle qu'elle a été mise en évidence lors de l'examen de la situation dans les pays voisins, reste cependant directement liée à l'implantation du centre de traitement.

La valorisation des MIOM est une technique sûre et suivie (traçabilité complète du matériau) qui peut être lancée à grande échelle. Il faut cependant une volonté de la part des Intercommunales de s'engager dans cette alternative de gestion des résidus.

Le frein, lié au manque de volonté d'imposer l'utilisation des MIOM recyclés, pourrait être levé si l'on acceptait comme critère de choix des adjudicataires de marchés de construction routière un critère environnemental justifiant éventuellement un surcoût.

La recherche et le développement appliqués aux MIOM doit se faire en collaboration avec les intercommunales afin d'améliorer le processus de fabrication.

La recherche des marchés proprement dits commence à être assuré :

- par les intercommunales (IPALLE),
- par des sociétés privées (VALOMAC, INDAVER...).

Cette recherche pourrait également être assurée par une (des) société(s) mixte(s) à créer avec des sociétés spécialisées (SHANKS, TIRU, VALOMAG...).

4.1.8 APPLICATION POUR LES BOUES DE STEP

En matière de recyclage et de valorisation des sous-produits dans l'industrie routière il est intéressant de noter que l'utilisation de mâchefers d'incinération de boues urbaines est également envisagée en techniques routières, en France notamment.

L'incinération de boues de station d'épurations des eaux résiduaires (Step) peut être commune avec les ordures ménagères, ou être dédiée aux seules boues.

Dans le premier cas, certaines UIOM en France sont équipées pour injecter des boues de Step présentant une siccité définie, à un taux d'environ 12 % du poids d'OM, sans modifier la nature des MIOM sortants.

L'Entreprise Jean Lefèbvre (EJL) utilise ces MIOM sans problèmes particuliers.

Pour ce qui est des MIOM d'incinérateurs dédiés aux seules boues de Step, des essais de validation sont en cours.

Le gisement de boues de Step destiné à l'incinération est actuellement très faible, mais il pourrait croître si le recyclage agricole continue à être fortement contesté.

PARTIE 4.2 LES RESIDUS DU TRAITEMENT DES FUMÉES ou REFIOM

4.2.1 INTRODUCTION

Le présent sous-chapitre reprend une présentation des techniques de stabilisation les plus utilisées en France et en Région wallonne et met en évidence leurs développements récents.

Définitions

La stabilisation est un terme générique qui regroupe différentes techniques pouvant même, pour certaines, être associées :

- **Solidification**

Historiquement, cette technique, très utilisée dans le domaine du nucléaire, visait à faire réagir toute l'eau libre du déchet avec le liant, afin de lui donner une certaine structure physique.

Aujourd'hui, la solidification regroupe toutes les techniques qui tendent à donner aux déchets une certaine structure physique.

- **Fixation chimique**

Technique qui consiste en l'immobilisation de polluants dans une matrice, du fait de la formation de liaisons chimiques entre les polluants et les composés de la matrice (par exemple : insolubilisation de cations sous forme de silicates, formation d'aluminates, complexation d'ions...).

- **Fixation physique ou enrobage ou encapsulation**

Technique qui consiste à enfermer dans une gangue étanche » les composants polluants du déchet (micro-encapsulation dans le cas d'un mélange intime entre déchets et liant) ou la totalité du déchet (macro-encapsulation si le déchet, déjà éventuellement traité, est enrobé dans sa globalité).

- **Vitrification**

Son principe consiste en une rétention physico-chimique des polluants d'un déchet dans une matrice vitreuse, obtenue par un traitement à haute température et issue des composants propres du déchet, ainsi que d'éventuels ajouts complémentaires.

L'une des particularités d'un procédé par rapport à un autre est la nature des réactifs employés (minéraux et/ou organiques) et éventuellement des additifs qui sont très souvent ajoutés.

Le rôle des additifs est de compléter l'action des liants en vue de conférer aux déchets stabilisés un certain nombre de propriétés physico-chimiques compatibles avec un objectif souhaité de qualité.

Les procédés utilisant des liants minéraux peuvent être qualifiés de procédés de stabilisation-solidification. On considère alors que fixation chimique et solidification vont se produire.

Les procédés utilisant des liants organiques sont des procédés d'enrobage.

Les procédés dits de vitrification sont le plus souvent des procédés de stabilisation solidification. Toutefois une mauvaise vitrification peut engendrer une seule encapsulation des polluants.

L'Annexe au Chapitre 4.2 donne une présentation générale des techniques de stabilisation.

4.2.2 DÉVELOPPEMENT DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT

Les techniques utilisant des liants minéraux sont actuellement les plus usitées (INERTEC en France ou REVATECH en Belgique).

Ces liants à base de ciments, de silicate de soude ou d'autres composés ont pour principales actions :

- de neutraliser les acides et les bases;
- de favoriser la précipitation de certains sels insolubles, contribuant ainsi à diminuer les concentrations en cations toxiques comme les métaux lourds;
- d'absorber les ions restant en solution après la précipitation;
- de participer au processus de solidification.

Ces procédés semblent avoir une bonne stabilité physique et chimique à long terme pour les produits solidifiés et permettent un piégeage chimique au cours des réactions de solidification ; cependant, ils augmentent considérablement la masse du produit stabilisé.

A moyen terme, les techniques de prétraitement basées sur un lavage des REFIOM peuvent s'avérer intéressantes essentiellement pour les deux raisons suivantes :

- le lavage permet d'extraire certains composés polluants (NaCl , CaCl_2 , CaSO_4) qui pourraient être réutilisés dans les industries chimiques comme matière première secondaire en process industriel,
- on diminue la fraction massique du résidu lavé où sont concentrés les métaux lourds initialement contenus dans les REFIOM.

Cette filière sera particulièrement intéressante à développer si un marché de la récupération de ces saumures arrive à s'imposer d'une façon pérenne.

Pour cela, l'utilisation de réactif de traitement de fumées spécifique (comme le bicarbonate de sodium) peut s'avérer intéressant du fait de la "qualité" des saumures produites (essentiellement des sels de chlorure et des sulfates) et à condition que des marchés de reprise soient établis.

A terme, le lavage pourra s'avérer aussi intéressant si des technologies d'enrichissement des métaux lourds contenus dans la phase solide insoluble arrive à être techniquement et économiquement compétitives en vue d'extraire et de récupérer ces éléments à l'état métallique.

Les techniques des liants organiques sont basées sur le principe d'enrober le résidu solide sans le transformer chimiquement.

On peut distinguer deux types de procédés :

- procédés utilisant des résines thermoplastiques ou des bitumes liquéfiés par chauffage, puis incorporés au REFIOM. Après refroidissement, on obtient un déchet solide stable,
- procédés à base de thermodurcissant qui utilisent des monomères que l'on mélange au déchet ; après polymérisation en présence de catalyseur, on obtient un produit solidifié.

Ces procédés n'ont pas à leur actif actuellement de site industriel capable de traiter les REFIOM et leur développement à court terme semble limité.

Les techniques de vitrification consistent à porter le déchet à une température suffisamment élevée (supérieure à 1 200°C) pour le faire fondre, puis à le refroidir brusquement.

La vitrification apparaît intéressante du fait de la formation d'un verre et de la réduction importante du volume du déchet.

A l'heure actuelle, ces filières apparaissent énergivores et nécessitent des développements techniques afin de limiter la formation de pollution durant le processus, notamment la libération des métaux les plus volatils comme le mercure ou le cadmium, ainsi que la mise en solution des anions tels que les chlorures.

Cependant, dans les années à venir, ces procédés par utilisation de torche à plasma, d'arc électrique ou par combustion de l'oxygène pourraient connaître un essor croissant et devenir compétitifs par rapport à d'autres technologies du fait essentiellement :

- de la diminution de leur besoins énergétiques;
- de la valorisation des verres formés du fait de leur caractère inerte.

Parallèlement au développement des techniques de traitement des REFIOM, des recherches sur le devenir de ces résidus stabilisés sont en cours. En effet, la démarche française consistant à stabiliser les REFIOM pour les enfouir en centre de classe I apparaît comme une illustration extrême du principe de précaution.

D'autres pays tels que les Pays Bas ont une approche différente basée sur la recherche des conditions de valorisation de ces résidus stabilisés.

De nombreuses études sont actuellement en cours afin de prédire le comportement à long terme de déchets stabilisés (tenue mécanique, relargage des métaux lourds, ...) utilisés comme matériau de construction ou en technique routière.

Cette approche est d'ailleurs en cours de discussion en France au sujet des verres obtenus par vitrification des REFIOM.

4.2.3 LE PROCÉDÉ SOLATECH DE LA SOCIÉTÉ REVATECH

1. Contexte

La société REVATECH occupe une place prépondérante dans le traitement des résidus d'épuration des fumées d'incinération d'ordures ménagères en région wallonne.

En 2000, la production de REFIOM en région wallonne atteignait 12.170 tonnes, dont 10.900 tonnes ont été stabilisées chez REVATECH. Le Tableau 4.2/1 ci-après détaille l'évolution du gisement de REFIOM entre 1996 et 2000.

En 2001, la capacité de traitement de REFIOM annoncé par REVATECH devrait atteindre 13.000 tonnes.

Le procédé utilisé (SOLATECH) résulte de la combinaison d'un procédé d'inertage / solidification par liants hydrauliques et d'un procédé de lavage / extraction des sels présents dans les REFIOM.

Ce procédé est issu d'un retour d'expérience ayant montrée les limites techniques des procédés d'inertage «classiques» par liants hydrauliques tels que :

- Rapport entre produits solidifiés et produits entrés important,
- Impossibilité de fixer efficacement les composés hydrosolubles (sels, organiques). Dès lors, ceux-ci risquent d'être lixivés par les eaux de pluie sur le CET.
- Présence d'air occlus dans les matières solidifiées ce qui augmente le risque de perméabilité ou porosité de ces produits.
- Temps de solidification assez long.
- Dans le cas de REFIOM provenant de procédé de déchloration à la chaux par voie sèche ou semi-humide, la présence de chaux en excès induit des pH élevés des mélanges REFIOM + réactif ce qui a pour effet, la formation de complexes métalliques solubles de Zn et Pb.

2. Principes du procédé SOLATECH

Le traitement peut se décomposer en 3 phases :

▪ Phase de mélange

Les REFIOM sont mélangés avec les réactifs hydrauliques et pouzzolaniques définis par les tests laboratoire. Lors de cette phase, on ajoute également l'eau de process au mélange.

▪ Phase de réaction

Le mélange liquide de REFIOM + réactifs + eau est pompé alternativement dans 2 réacteurs à fond conique munis de mélangeurs. A ce niveau, un traitement physico-chimique est effectué en ajoutant au mélange des composés permettant de fixer les métaux lourds présents dans les REFIOMS.

Lors de cette phase de réaction, les sels solubles, principalement les chlorures et sulfates, vont être mis en solution dans la phase aqueuse.

▪ Phase de déshydratation

Le mélange est alors pompé vers un filtre-pressé où il va être partiellement déshydraté et comprimé de façon à obtenir un gâteau présentant une siccité de 60% de M.S..

Les eaux de filtration obtenues vont contenir des matières solubles présentes dans le mélange REFION – eau de réaction – réactif. Ces matières sont principalement des chlorures et sulfates dont la teneur va évidemment dépendre du rapport REFION / eau d'extraction.

Sur le site REVATECH – Liège, après ajustement de leur pH, les filtrats sont rejetés dans la Meuse sur base d'une autorisation de rejet accordée par la Région wallonne.

Afin de garantir le respect des normes, en cas d'accident (déchirure d'une toile de filtre par exemple), les filtrats passent par une unité de floculation/décantation lamellaire avant rejet.

3. Avantages du procédé SOLATECH

▪ Simplicité

Par trois opérations relativement simples : mélange, extraction/réaction, déshydratation, il est combiné :

- une solidification/fixation par liants hydrauliques/pouzzolaniques,
- un traitement physico-chimique d'insolubilisation des métaux lourds,
- une extraction de la fraction soluble des REFION,
- une déshydratation partielle des matières permettant d'ajuster les quantités d'eau de gâchage nécessaires à l'hydratation des liants hydrauliques à une valeur proche des valeurs théoriques optimales.

▪ Polyvalence

Par la disposition et la nature des équipements, l'installation permet plusieurs types d'opérations indépendamment les unes des autres :

- une solidification / inertage classique,
- des opérations physico-chimiques sur des déchets liquides ou solides divers,
- un traitement SOLATECH,
- des traitements de lavage ou extractions divers.

▪ Souplesse

L'extraction des sels et autres matières hydrosolubles peut être effectuée partiellement ou complètement.

Dès lors, on peut, par une modification des conditions opératoires de l'exploitation, répondre «à la demande» aux critères de qualité des produits finis fixés par les normes de lixiviation, imposées par les autorités, et en particulier les teneurs maximales en matières solubles (Cl et SO_4^{2-}) des eaux de lixiviation des blocs solidifiés.

▪ Solution aux problèmes rencontrés avec les procédés de solidification hydraulique «classiques».

▪ Suppression des occlusions d'air par le compactage des matières dans le filtre.

Tableau 4.2/1 - Evolution du gisement de REFIOM en 1996-1999-2000 - Prévisions pour 2005

Intercommunales Usines Quantités	IBW Virginal			ICDI Pont-de-Loup			IPALLE Thumaide			INTRADEL Herstal			TOTAL REGION WALLONNE		
	1996	1999	2000	1996	1999	2000	1996	1999	2000	1996	1999	2000	1996	1999	2000
	Tonnage entrant dans l'usine	20 000	56 300	57 130	116 301	85 788	68 476	96 644	91 928	86 354	313 473	279 082	265 998	546 418	513 098
Tonnage incinéré	20 000	52 500	48 230	116 301	85 788	68 476	96 644	91 928	86 354	149 153	140 986	138 905	382 098	371 202	341 965
Tonnage des REFIOM de l'UIOM															
cendres volantes CV	-	-	-	3 057	1 830	1 278	2 200	inclus	inclus	-					
REFIOM B (ou RPC)	630+130	2 000	1 900	-	-	54	inclus	3 151	2 977	8 568	8 125	7 043	14 777	13 492	12 170
REFIOM A (gâteaux)	-	-	-	222	216	250	-	-	-	-					
Rejets liquides de l'UIOM	néant			oui	oui	oui	néant			néant					
Destination	REVATECH - CET Cl. 2 SOBRY (50%)			CV: solidification OVMB - CET autres : REVATECH - SOBRY			REVAYECH - SOBRY			REVATECH CET HALLEMBAYE					
Tonnage de REFIOM stabilisées	-									17 049					

2005

					Total RW 2005	PWD (1)
Tonnage entrant dans l'usine	92 000				703 427	
Tonnage incinéré	92 000				691 427	905 000
Tonnage des REFIOM de l'UIOM	3 680 (2)				28 186	32 000
Destination	REVATECH - SOBRY	REVATECH - SOBRY excepté CV (OVMB Gand)		REVATECH - SOBRY	REVATECH - HALLEMBAYE	

(1) Le PWD 2010 (cf. pg. 228) prévoyait 32.000 tonnes de REFIOM ; l'estimation tenait compte de la production relative à l'UIOM d'Achêne.

(2) Il s'agit d'une production estimée (4% du gisement incinéré)

-
- Suppression du risque de ségrégation en cours de durcissement et donc, élimination des hétérogénéités chimiques et mécaniques.
 - Diminution très importante des temps de prise

Grâce à la réduction des quantités d'eau de gâchage dans les produits par déshydratation partielle.

- Augmentation des résistances mécaniques

La diminution des quantités d'eau de gâchage par la filtration va également permettre d'augmenter la résistance mécanique des produits finis. Ce phénomène est bien connu des professionnels du béton.

- Diminution des risques liés au transport éventuel de produits frais vers les sites d'enfouissement technique

Si le centre d'enfouissement technique est distant du centre d'inertage, le transport de mortier non solidifié comporte certains risques environnementaux. Dans le cas du SOLATECH, le produit fini non pris se présente sous forme de galettes de filtre-presse compactées et pratiquement sèches. Ce matériau ne coule pas et présente très peu de risques en cas de renversement sur la chaussée suite à un accident.

- Compatibilité avec d'autres procédés de déchloruration des fumées d'incinérateur d'ordures ménagères que ceux utilisant la chaux.

La société Solvay a développé un procédé «NEUTREC» d'épuration des fumées d'incinérateur au moyen de bicarbonate de soude à la place de chaux.

Les résidus obtenus par dépoussiérage sont donc chargés en sels de sodium (NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃) plutôt qu'en sels de calcium.

Le traitement par le système SOLATECH de ces REFION particuliers permet donc la mise en solution de ces sels très solubles et l'obtention :

- d'une saumure chargée en ions Na⁺ qui peut être valorisée par une soudière,
- de galettes solidifiées en quantités très faibles compte tenu de l'extraction des sels hors des REFION. Ces galettes exemptes de fraction soluble étant mises en CET.

4. Caractéristiques des produits SOLATECH

L'exploitation industrielle du procédé SOLATECH en cours depuis 1994 a démontré sa fiabilité ainsi que son aptitude à produire des résidus solidifiés de très haute qualité physico-chimique considérés comme non dangereux par la réglementation wallonne.

Tableau A : Caractéristiques physiques des blocs SOLATECH (REFIOM à la chaux)

R compression (à 28 jours) obtenue au moyen d'une formulation « classique »	4 à 12 N/mm ²
Perméabilité à 3 bars	0,76 x 10 ⁻¹¹ à 2,7 x 10 ⁻¹¹ m/s
Densité - en masse - foisonnée	1,24 1
Ratio entrée / sortie	- De 2 à 2,4 en fonction des formulations (à titre de comparaison, avec un procédé classique au liant hydraulique, on a un ratio d'environ 2,9), - 4l/kg de rejets liquides à 20 – 25 g/l de chlorure

Tableau B - Résultats des tests de lixiviation de REFIOM solidifiés / inertés par le procédé SOLATECH

Paramètres	Cumul des 3 lixiviations (INSA) Procédé SOLATECH Moyenne sur 20 000 T	Spécification pour la mise en CET classe 2 Projet de directive CEE	Spécification française cumul 3 lixiviations (norme NFX 31-210 pour la mise en CET de déchets stabilisés)
Plomb	0,304	0,4	<5
Cadmium	0,011	0,1	<2,5
Zinc	0,207	2	<25
Arsenic	0,014	0,2	<1
Mercure	0,012	0,02	<0,5
Chrome tot.	0,063		<5
Cr ⁶⁺		0,1	<0,5
Nickel	0,085	0,4	<5
Etain	0,055	-	-
Cuivre	0,102	2	-
Chlorures	1,396	1.200 2.000 [*]	-
Sulfates	74,6	1.000	-
DCO	68	-	<2.000
PH	11	4 – 13	4 – 13
Conductivité moyenne (µS/cm)	4,070		
Fraction soluble			<10%
Siccité			>35%
Phénol			<10%
CN			<0,5

(*) spécifique RW

4.2.4 CONCLUSIONS ET ASPECTS ÉCONOMIQUES

4.2.1.1 OBSERVATIONS GÉNÉRALES

Le traitement des REFIOM en Région wallonne est effectué en majeure partie par le procédé SOLATECH précédemment présenté. Cette filière apparaît répondre aux problématiques actuelles et semble pouvoir s'adapter aux évolutions pressenties à court et moyen terme notamment la diminution quantitative et du potentiel polluant du résiduel orienté en CET de classe II.

Le premier objectif est la diminution des réactifs hydrauliques et pouzzolaniques. Actuellement, l'utilisation est de 40 à 60% de réactifs par rapport au REFIOM, l'objectif étant de diminuer à environ 10 – 20% par l'optimisation des formulations.

Le deuxième objectif est de réduire à 5 % la fraction soluble des galettes formées afin de répondre à la sévèrisation de la réglementation wallonne.

Une autre orientation étudiée est l'injection de CO₂ dans le réacteur pour former du CaCO₃ et diminuer la fraction soluble. Cette solution permet en plus de diminuer le pH et de contribuer à éviter le relargage des métaux amphotères solubles à pH élevé (tel que le plomb).

Une dernière piste est l'utilisation du rejet liquide. Ceci est envisageable à partir des REFIOM issus de traitement des fumées utilisant du bicarbonate de sodium par utilisation des saumures obtenues en soudières :

Ce procédé nommé RESOLEST a déjà été testé et passe au stade industriel avec la construction dans l'Est de la France à DOMBASLES (54) d'une unité de traitement de 50.000 tonnes par an de REFIOM sodiques avec recyclage des sels solubles.

RESOLEST est le fruit d'une collaboration entre SOLVAY, WATCO et REVATECH (voir annexe).

Avec le procédé RESOLEST, il n'y a aucun rejet liquide en milieu naturel, car les saumures sont complètement utilisées et le ratio entrée/sortie attendu est de :

- 1 à 1,2 avec des REFIOM contenant des cendres volantes,
- 0,4 à 0,6 avec uniquement des REFIOM PSR (produit sodique résiduaire)

Economiquement, la filière REVATECH apparaît fragile du fait notamment de la concurrence de la région flamande et de l'évolution croissante des coûts de mise en décharge de classe II.

Il n'est pas évident que les orientations considérées permettront de diminuer les prix actuels du fait de l'envolée probable des coûts de mise en décharge dans les années à venir.

Afin de maintenir une stabilité des coûts, une action significative consisterait à mettre en CET de classe II les galettes résiduelles du procédé à des conditions économiques définies et stabilisées.

4.2.1.2 COÛTS DE TRAITEMENT

L'audit technico-économique de la gestion des résidus d'UIOM, commandé par l'OWD en 1997, détaillait les étapes de calcul du coût de traitement du procédé SOLATECH (cumul des charges de financement et d'exploitation), sur base des résultats d'un appel d'offres lancé pour les travaux d'extension de l'UIOM de Thumaide en 1997.

Le coût de traitement proposé s'élevait à 4.100 BEF/tonne de REFION, pour une unité de stabilisation utilisant le procédé SOLATECH et traitant 9.120 tonnes par an ; le calcul tenait compte d'un coût nul pour l'évacuation des filtrats et n'intégrait pas le transport et la mise en CET !

Les coûts actuels annoncés par les intercommunales pour la stabilisation de leurs REFION chez REVATECH sont les suivants :

- INTRADEL paie 4.670 BEF/tonne pour le traitement uniquement (hors transport et mise en CET),
- IPALLE débourse 6.150 BEF/tonne pour l'élimination complète de ses REFION (avec transport et mise en CET).

On retiendra en synthèse que, selon les distances de transport et les coûts effectifs de mise en CET, le coût de traitement des REFION devrait être au minimum de 6.000 BEF/tonne.

CHAPITRE 5 : COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS	2
5.1 <u>Avis sur les études effectuées pour la Région</u>	2
5.1.1 <u>Audit technique et économique de la gestion des résidus d'usines d'incinération de déchets ménagers et assimilés – 1997 - IBH</u>	2
5.1.1.1 <u>Pour les MIOM :</u>	2
5.1.1.2 <u>Pour les REFIOM</u>	4
5.1.2 <u>Etudes relatives à la gestion des déchets</u>	6
5.1.2.1 <u>Etude comparative des différentes techniques existantes de traitement des déchets par thermolyse : aspects économiques</u>	6
5.1.2.2 <u>Définition de la meilleure option de gestion pour certains types de déchets</u>	8
5.1.2.3 <u>Etude des technologies de thermolyse des déchets ménagers</u>	10
5.2 <u>Commentaires sur les procédés et mise en évidence des complémentarités</u>	12
5.2.1 <u>Procédés à prendre en compte</u>	12
5.2.1.1 <u>Procédés de thermolyse – pyrolyse :</u>	12
5.2.1.2 <u>Procédés d'incinération :</u>	12
5.2.1.3 <u>Procédés de compostage ou de biométhanisation:</u>	13
5.2.1.4 <u>Procédés émergents :</u>	14
5.2.2 <u>Complémentarités entre ces procédés et vis-à-vis des systèmes opérationnels</u>	15
5.3 <u>Réponses des procédés aux besoins recensés</u>	17
5.3.1 <u>Rappel des résultats de phase 1</u>	17
5.3.2 <u>Définition des besoins à retenir pour la phase 3</u>	17
5.3.3 <u>Réponses des procédés actuels et nouveaux aux besoins recensés</u>	18

CHAPITRE 5 : COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

5.1 AVIS SUR LES ÉTUDES EFFECTUÉES POUR LA RÉGION

5.1.1 **Audit technique et économique de la gestion des résidus d'usines d'incinération de déchets ménagers et assimilés – 1997 - IBH**

Cette étude commandée par l'Office wallon des déchets était destinée, d'une part, à établir l'état actuel de la gestion des mâchefers (MIOM) et des résidus d'épuration des fumées (REFIOM) d'UIOM en Belgique et à l'étranger et, d'autre part, à permettre la rédaction de certains arrêtés d'application du Décret relatif aux déchets du 27 juin 1996, promulgué par le Gouvernement wallon, comme de cerner la nécessité d'implanter un ou plusieurs centres de traitement de MIOM et/ou de REFIOM en région wallonne.

5.1.1.1 Pour les MIOM :

Le Rapport de 1997 se divisait en 2 phases :

- Phase 1 : Analyse de la situation réglementaire en matière de gestion des MIOM en Belgique (hors Région wallonne) et dans certains pays limitrophes (France, Pays-Bas et Allemagne).
- Phase 2 : Identification des modes de gestion à envisager pour les MIOM en région wallonne, mise en place d'un cadre réglementaire pour la valorisation des MIOM, en tant que matières secondaires, et analyse technico-économique de la réalisation d'un ou plusieurs centres de traitement de MIOM en région wallonne

Depuis 1997, la situation réglementaire relative aux MIOM est en cours d'évolution.

Le chapitre 4.1.4 du présent rapport dresse le contexte légal actuel ou prévisionnel pour la valorisation des MIOM dans les pays limitrophes (France, Pays-Bas et Allemagne).

A titre indicatif, un colloque important sur la gestion des MIOM en France aura lieu vers la mi-octobre 2001 avec pour objectif de dresser la synthèse des connaissances et de l'expérience acquise depuis 7 ans, époque de la parution de la circulaire ministérielle sur la gestion des MIOM en France. Les nouvelles dispositions sur les résidus de procédés thermiques devraient être présentées ainsi que de nombreux retours d'expériences (évaluation du comportement environnemental et mécanique de MIOM dans les chaussées sous trafic et sur des chaussées contenant des MIOM bruts et traités).

En région wallonne, l'arrêté de mai 1999 adopté par le Gouvernement wallon autorise la réutilisation des MIOM moyennant un certain nombre d'impositions.

Récemment, celui-ci a été abrogé par l'arrêté du 14 juin 2001 favorisant la valorisation de certains déchets dont les MIOM. Les impositions de ce nouvel arrêté sont identiques à celui de mai 1999, mais il définit à présent le régime d'enregistrement que doit respecter toute personne valorisant à titre professionnel ces déchets.

Le chapitre 4.1.3 ci-avant détaille les impositions et conditions à respecter en vue d'obtenir un certificat d'utilisation des MIOM dans les travaux de génie civil (travaux de sous-fondations ou remblais).

La seconde contrainte légale intervenant dans la gestion des MIOM émane de l'avant-projet d'un Arrêté visant à interdire la mise en CET de certains déchets en région wallonne.

Celui-ci prévoit l'interdiction de la mise en CET de MIOM autres que ceux 'ultimes', endéans les 5 ans à partir de la mise en vigueur de l'Arrêté, soit pour 2006 au plus tôt !

L'état actuel de la gestion des MIOM en région wallonne est détaillé au chapitre 4.1.2 ci-avant et résumée ci-après.

En 2000, les quatre usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) de la région wallonne ont produit 69.083 tonnes de MIOM bruts dont :

- 4% (ferrailles) ont été récupérés et recyclés,
- 75% ont été traités en vue d'être valorisés,
- 21% ont directement été éliminés en CET (Mont St Guibert).

Ces résultats appellent les commentaires suivants :

- L'année 2000 ne reflète pas la production nominale des MIOM en région wallonne (normalement 85.000 tonnes), car les installations de Virginal (IBW) et de Pont-de-Loup (ICDI) ne fonctionnaient pas à pleine capacité (arrêts techniques majeures sur les lignes d'incinération).
- Sur les 75 % de MIOM traités, 52% ont été réellement recyclés. A l'heure actuelle, la fraction restante est stockée provisoirement en vue d'un traitement pour être valorisé.

Dès 2002, les travaux d'extension de l'UIOM d'IPALLE seront terminés et l'usine produira environ 52.000 tonnes de MIOM.

En 2005, le gisement de MIOM bruts passera à 149.775 tonnes. Le PWD 2010 prévoyait 200.000 tonnes de MIOM, en intégrant la production de MIOM de l'installation d'Achêne (UIOM d'IDELUX et du BEPN).

L'étude de 1997 comportait une comparaison technique et économique de 2 scénarios de gestion et de traitement des MIOM en région wallonne, à savoir une solution centralisée ou une solution décentralisée.

A l'époque, les scénarios de basaient sur les MIOM produits par les UIOM de Herstal, de Pont-de-Loup, de Virginal et d'Achêne. IPALLE n'était pas intégrée dans l'analyse, étant donné qu'elle possédait déjà son unité de traitement de MIOM pour les besoins propres de l'UIOM de Thumaide.

Le chapitre 4.1.6 ci-avant rappelle les scénarios et les résultats de l'analyse.

Dans la situation actuelle, les données sont modifiées suite à la non construction de l'UIOM d'Achêne.

En effet, si cette dernière n'est plus construite :

- le tonnage à traiter dans l'installation centralisée de traitement des MIOM ne serait plus que de 97.250 tonnes de MIOM au lieu de 150.000 tonnes ;

- le site retenu pour construire une installation centralisée serait modifié, étant donné que le centre de gravité pour les trois usines restantes sera différent de celui prévu pour quatre usines ;
- la solution décentralisée ne comporterait plus que l'investissement global pour trois installations au lieu de quatre ;

La première conséquence est non négligeable, car une capacité minimum doit être atteinte pour éviter des coûts de traitement trop élevés.

Pour rappel, le coût d'exploitation actuel d'IPALLE s'élève à 540 BEF/t de MIOM (hors charges d'investissement, pour 25.000 tonnes de MIOM, et recettes incluses), alors que les estimations de traitement varient entre 500 et 600 BEF /t (pour des unités de 150.000 à 200.000 tonnes de MIOM, hors coûts des exutoires).

Seule une nouvelle comparaison technico-économique permettrait de définir réellement si la solution centralisée reste la plus intéressante.

5.1.1.2 Pour les REFIOM

Le rapport de 1997 se divisait en 2 phases :

- Phase 1 : Analyse de la situation réglementaire et des modes de gestion des REFIOM en Belgique (hors Région wallonne) et dans certains pays limitrophes (France, Luxembourg, Suisse, Pays-Bas et Allemagne).
- Phase 2 : Caractérisation générale des REFIOM et état de leur gestion en région wallonne – Evaluation de la production en 2000 et identifications des modes de gestion à envisager.

La situation réglementaire n'a pas ou peu évolué dans les pays limitrophes en ce qui concerne les REFIOM.

Toutefois, en France, les nouvelles dispositions sur les résidus de procédés thermiques (dont les REFIOM) devraient être présentées prochainement ainsi qu'un projet de texte réglementaire (d'ici fin 2001- début 2002) ; le corollaire sera une réactualisation des normes d'évaluation (test de lixiviation) et des valeurs limites de concentrations en polluants dans les lixiviats.

Le chapitre 4.2.3 ci-avant dresse l'évolution du gisement de REFIOM entre 1996 et 2000, ainsi que son estimation à l'horizon 2005.

L'étude de 1997 présentait la production des REFIOM à l'horizon 2000, soit 34.970 tonnes (REFIOM de l'UIOM d'Achêne compris).

La différence entre le gisement annoncé et la réalité (12.170 tonnes de REFIOM en 2000) résulte des faits suivants :

- l'UIOM d'Achêne n'est pas construite (6.975 tonnes de REFIOM),
- les usines de Virginal et de Pont-de-Loup n'ont pas fonctionné à pleine capacité,
- l'extension de l'usine de Thumaide n'est pas encore effective.

La nouvelle estimation pour 2005, compte tenu des stratégies annoncées par les intercommunales, est un gisement de 32.000 tonnes (hors Achêne) contre 28.000 tonnes estimées dans l'étude. Cette différence s'explique par la modification de certains taux de production de REFIOM, revue à la hausse (INTRADEL et IBW), et de l'augmentation du tonnage incinéré pour INTRADEL.

La comparaison des procédés opérationnels de solidification et de stabilisation est traitée au chapitre 4.2.2, de même que l'état de leur développement actuel. En particulier, l'évolution du procédé SOLATECH de REVATECH est analysée au chapitre 4.2.3.

Dans l'étude de 1997, il était mentionné que le ratio de REVATECH (tonnage de REFIOM stabilisés par tonne de REFIOM traitée) était de 2,2 et il était annoncé que les améliorations futures du procédé permettraient d'aboutir raisonnablement à un ratio compris entre 1,6 et 2.

Force est de constater que ce ratio n'a pas évolué et oscille actuellement entre 2 et 2,4 ; de même, une tonne de REFIOM produit toujours 4 tonnes de filtrats et non 2 tonnes comme le prévoyait REVATECH.

En ce qui concerne la valorisation éventuelle des REFIOM, les cendres volantes de pré-dépoussiérage sont les seuls REFIOM à l'heure actuelle à être valorisés et recyclés.

La situation n'a pas changé aux Pays-Bas et en Flandre, où les cendres volantes sont utilisées dans la fabrication de fillers pour des mélanges bitumineux (ou hydrocarbonés) destinés aux revêtements asphaltiques.

L'OVAM délivre des autorisations d'utilisation des cendres volantes d'UIOM, comme matériau de remplissage dans la fabrication de mélanges bitumineux, depuis la promulgation du nouveau VLAREA. Celui-ci autorise la réalisation de béton asphaltique préparé avec 5 à 8 % en masse de fillers composites (comprenant 20 % de cendres volantes d'UIOM). Cette autorisation comprend une série de prescriptions à satisfaire rigoureusement.

L'OVAM a également donné son accord quant à l'utilisation de cendres volantes provenant d'incinérateurs de boues. Des analyses et des rapports ont en effet démontré des caractéristiques similaires pour les cendres volantes de centrales thermiques et pour celles d'incinérateurs de boues de Step.

Depuis 4 ans, les producteurs belges de fillers tentent de faire admettre aux responsables de la Région wallonne le potentiel de valorisation des cendres volantes, afin d'obtenir l'autorisation d'utilisation de leurs fillers sur le territoire de la région, mais en vain.

5.1.2 Etudes relatives à la gestion des déchets

5.1.2.1 Etude comparative des différentes techniques existantes de traitement des déchets par thermolyse : aspects économiques

(Convention ULB / Région wallonne /Rapport final 09.98)

Cette étude a été confiée par la Région wallonne à l'équipe du Professeur A. FONTANA ; elle comprend :

- Une définition du gisement des déchets ménagers et assimilés
- Une présentation des procédés de thermolyse,
- Une comparaison économique des procédés,
- Une approche de l'adaptabilité des procédés de thermolyse.
- Des conclusions

a. Gisement des déchets

L'approche des gisements se fonde sur les prévisions du Plan wallon Horizon 2010, pour mettre en évidence un accroissement prévu de la capacité d'incinération, entre 1995 et 2005, à hauteur de 715.000, - 540.687, = 175.000, tonnes par an (255.000, t/an mentionnées dans l'étude page 9 ?).

Il est rapporté que l'intégration de la thermolyse, en complément à l'incinération, n'est pas prévue dans ce plan.

b. Procédés de thermolyse

Les procédés intégrés (PTR Siemens, THERMOSELECT et PKA), pour des capacités de 200.000 tonnes par an, et non intégrés (EDDITH, NOELL et PKA), pour des capacités de 50.000 tonnes par an, sont pris en compte dans la comparaison économique présentée.

Notons que le procédé SERPAC n'est pas repris (« parce qu'il s'apparente à l'incinération.... ») ni le procédé SOFTER (« qui présente des difficultés d'extrapolation de l'échelle pilote à l'échelle commerciale »...en 1998).

- **Note** : Dans la présente étude, le Professeur FONTANA (qui a rédigé les sections 1.1 à 1.7 du Chapitre 1), a maintenant repris SERPAC comme procédé de pyrolyse-gazéification tout comme le procédé NESAs, le procédé SOFTER comme système avec chauffage direct de la charge en thermolyse intégrée et le procédé TRAIDEC en thermolyse intégrée.

c. Comparaison économique

Les coûts de traitement annoncés sont fondés sur des offres budgétaires des constructeurs.

Pour les procédés intégrés (200.000 tonnes/an traitées), les coûts avancés en 1998 (avec des hypothèses très proches de celles prises en compte au Chapitre 1) sont respectivement de 2.576, 3.093 et 4.163 BEF/tonne pour les procédés PTR, THERMOSELECT et PKA (sans préciser le PCI des déchets) ; ces coûts sont comparés à un coût d'incinération classique de 3.195 BEF/tonne.

Pour les procédés non intégrés (50.000 tonnes/an traitées), les coûts avancés en 1998 (avec des hypothèses très proches de celles prises en compte au Chapitre 1) sont respectivement de 2.074, 3.443 et 3.204 BEF/tonne pour les procédés EDDITH, NOELL et PKA (sans préciser le PCI des déchets)..

- **Note** : Dans la présente étude, le Professeur FONTANA annonce (cfr. section 1.6 du Chapitre 1) des coûts de thermolyse en procédés intégrés et non intégrés pour une capacité de 50.000 tonnes/an à 3.200 BEF/tonne en moyenne ; pour le procédé EDDITH, on relève que le prix de 2.074 BEF/tonne donné en 1998 est maintenant passé à près de 2.900 BEF/tonne (71,8 Euros) ! Les coûts annoncés aujourd'hui paraissent donc un peu plus réalistes, nonobstant le fait qu'il s'agit toujours de prix prévisionnels non fondés sur des bilans d'exploitation.

d. Adaptabilité des procédés de thermolyse

L'étude de 1998 ne traite pas explicitement de l'application des procédés de thermolyse à d'autres types de déchets (RBA, boues de Step, pneus, terres contaminées...), mais souligne la potentialité de ces procédés à traiter des déchets de nature et de pouvoir calorifique variables.

e. Conclusions

Les conclusions de l'étude mettent en évidence l'intérêt d'appliquer la thermolyse, plutôt que l'incinération classique, pour des capacités de 25.000 à 100.000 tonnes/an en thermolyse intégrée, et pour des capacités de 10.000 à 50.000 tonnes/an en thermolyse non intégrée.

Au dessus de 100.000 tonnes par an (mais en dessous de 300.000 tonnes par an) incinération et thermolyse seraient concurrentes, pour autant que la fiabilité industrielle de la thermolyse se confirme.

Le développement de la thermolyse non intégrée, qui permettrait un traitement décentralisé des déchets, reste cependant lié à la valorisation du combustible solide de thermolyse.

- **Note** : Dans l'étude 2001, on relève que la situation globale des procédés de thermolyse ne s'est pas notablement améliorée : l'unité PTR de Siemens à Furth est en cours de démantèlement, le procédé THERMOSELECT est en toujours en phase de mise en service, le procédé SOFTER n'est pas poursuivi, le procédé EDDITH (Thide) n'a pas encore donné lieu à un début de réalisation et le procédé PKA est en phase de mise en exploitation à sa capacité optimale à Aalen (D). Quant à la valorisation du résidu carboné de thermolyse, elle reste à l'état de potentialité.

5.1.2.2 Définition de la meilleure option de gestion pour certains types de déchets

(Convention ULB – EXCOSER - SDI / Région wallonne / Rapport final 06.99)

Cette étude confiée par la Région wallonne vise à étudier les modes de traitement applicables aux farines animales, aux pneus usés, au fluff de tri de déchets ménagers, aux organiques fermentescibles et aux résidus de traitement thermique tels les MIOM, les REFIOM et les produits de thermolyse.

Elle passe en revue les valorisateurs potentiels par type de déchet et les techniques alternatives de traitement, avant de procéder à une comparaison économique des modes de traitement et de mettre en évidence les meilleures options de valorisation.

Pour les farines animales, le gisement de déchets à haut risque s'élève en 1995 à 40.000 tonnes/an (sur un gisement global de 88.500 tonnes par an) ; l'étude prend en compte un tonnage de déchets à risque spécifié (?) de 8.500 tonnes par an et propose l'application du procédé de thermolyse TRAIDEC comme solution la plus économique (30 Mios BEF/an au lieu de 38 Mios BEF par incinération à INDAVER).

- **Note** : En 2001, le procédé TRAIDEC n'est pas encore appliqué à une échelle commerciale, seule l'unité pilote de 0,5 t/h de Ste Foy (F) est opérationnelle.

Pour les pneus usagés, une production annuelle stabilisée de 25.000 tonnes par an est prise en compte pour les années 1995 à 2010 (nonobstant un stock résiduel de 53.000 tonnes en 1995).

L'étude fait état de la référence du procédé de thermolyse NOELL pour le traitement de déchets industriels et propose l'application de ce procédé pour la thermolyse des pneus usagés à hauteur de 2 x 30.000 tonnes par an pour la région wallonne.

- **Note** : Le procédé NOELL est appliqué à Salzgitter (D) pour le traitement de déchets dangereux depuis 1996 (unité de 6 tonnes/heure) après déchiquetage.

Pour le fluff provenant du tri de déchets ménagers, l'étude se réfère au projet d'ITRADEC et propose la valorisation énergétique du combustible dérivé (fluff) produit par le tri des déchets ménagers tout venant (après séparation de la fraction organique en vue de sa biométhanisation).

L'option de traitement recommandée est la thermolyse non intégrée (plutôt qu'une valorisation en fours de cimenterie.... ou une incinération classique) en vue d'augmenter la souplesse de traitement au niveau de la composition effective du fluff à produire par ITRADEC (environ 60.000 tonnes par an) ; les unités de Burgau (procédé TECHNIP/Mannessman : 2x3 tonnes/heure depuis 1987) et de Salzgitter (NOELL) sont données comme références.

La valorisation des produits de thermolyse s'effectuerait comme suit :

- solides et huiles combustibles : en cimenterie
- gaz non condensables : utilisateur proche de combustible fossile

- **Note** : Actuellement ITRADEC, dont l'unité de tri est maintenant en phase finale de mise en service, a prévu de répartir la destination du fluff produit à raison de 2/3 vers les cimenteries et 1/3 (ou 20.000 tonnes par an) vers une unité de thermolyse non intégrée à construire en partenariat avec un opérateur privé.

Pour les organiques fermentescibles collectés sélectivement, l'étude retient un traitement de type biologique avec production d'un biogaz et d'un combustible solide et recommande d'adopter un procédé de type HERHOF avec ces objectifs.

- **Note** : *La recommandation faite ne nous paraît pas claire ; en effet, si HERHOF dispose bien de procédés aérobies et anaérobies de traitement biologique appliqués à des déchets fermentescibles, ces procédés produisent seulement du compost (ou digestat) et du biogaz (dans le cas du procédé anaérobie). Par contre, la production d'un combustible solide (un composé déshydraté stable à PCI de 15 à 18 MJ/kg) est proposée par HERHOF pour le traitement de déchets résiduels (après collecte des fermentescibles) ou pour des déchets ménagers bruts.*

Pour les déchets issus de procédés de « pré-traitement (incinération, thermolyse) », l'étude confirme que les solutions actuelles de traitement des MIOM (par maturation, récupération des métaux....) et des REFIOM (par inertage et solidification comme proposé par REVATECH) sont satisfaisantes.

Quant aux produits de thermolyse, le résidu carboné devrait être accepté par les cimentiers (moyennant des conditions de reprise à définir) et le gaz combustible par des chaufourniers.

- **Note** : *la valorisation des produits de thermolyse reste à concrétiser aujourd'hui ; à cet égard, le projet d'ITRADEC devrait apporter dans les prochaines années une réponse effective sur les valorisations prévues en région wallonne après une unité de thermolyse non intégrée.*

5.1.2.3 Etude des technologies de thermolyse des déchets ménagers

(Convention ISSeP / Région wallonne , Rapport final de Juin 98 et Carnet
d'actualisation de Juin 2000)

Dans le cadre de leur application potentielle au traitement de déchets ménagers et assimilés, 9 procédés ont été sélectionnés par l'ISSeP pour une analyse approfondie de leur technologie, des bilans matière et énergie, des rendements énergétiques, de la qualité des rejets (effluents liquides et gazeux) et des résidus (MIOM et vitrifiats, résidu carboné et huiles combustibles).

Ces procédés sont les suivants :

- en thermolyse intégrée avec combustion : SERPAC, SIEMENS, VON ROLL,
- en thermolyse intégrée avec gazéification : THERMOSELECT, NOELL, PKA,
- en thermolyse non intégrée : SOFTER, THIDE, TRAIDEC (*et NOELL 96*)

Sur base des données fournies par les constructeurs et des visites effectuées par l'ISSeP, l'étude confirme que ces procédés peuvent, par leur rendement de recyclage matières élevé, par leur impact environnemental réduit et par leur gestion énergétique éventuellement différée, présenter des voies alternatives ou complémentaires à l'incinération classique.

De ces conclusions, on peut notamment mettre en évidence les éléments suivants :

- en matière de produits de traitement à valoriser :
 - les métaux récupérés après thermolyse non intégrée et après les procédés NOELL et PKA sont de très bonne qualité, contrairement à ceux récupérés après les autres procédés étudiés et après l'incinération classique,
 - seuls les procédés intégrés avec fusion complète des cendres (VON ROLL, THERMOSELECT et PKA) produisent des résidus inertes (vitrifiats),
 - les résidus carbonés produits en thermolyse non intégrée (char) doivent être valorisés comme combustible de substitution, mais leur teneur en cendres reste élevée (40 à 60%) et ces résidus présentent des teneurs en soufre, en chlore, en mercure et en plomb à surveiller ; seule la valorisation du char en cimenterie permettrait d'éviter la production de mâchefers.
- en matière d'impact environnemental :
 - les débits d'effluents gazeux (fumées ou gaz) sont plus réduits que ceux provenant de l'incinération classique,
 - les résidus ultimes de traitement des fumées sont de 10 (en filière non intégrée) à 30 kg (en filière intégrée) par tonne traitée, à déposer en CET de classe I, ce dernier chiffre étant comparable à celui obtenu en incinération classique à moyens d'épuration identiques.

- en matière de bilans énergétiques :
 - sur base d'une approche en « équivalent vapeur » pour toutes les énergies sortantes, l'étude constate que l'incinération classique et le procédé SERPAC présente les meilleurs rendements énergétiques, soit respectivement de 60 et de 64%, alors que les autres procédés de thermolyse ne présentent que des rendements nets de 15 à 45 %,
 - **Note** : Ces observations rejoignent globalement celles du Professeur FONTANA pour les procédés de thermolyse, reprises en section 1.7 du Chapitre 1 de la présente étude.
 - le rendement énergétique net considéré pour chaque procédé de thermolyse reste néanmoins liée à la valorisation énergétique effectivement praticable sur le terrain (chaleur ou électricité)

Dans ses conclusions, l'ISSeP a procédé à une sélection des systèmes les plus intéressants parmi les 9 procédés étudiés et retient :

- THERMOSELECT (en thermolyse intégrée) pour des capacités de 100 à 300.000 tonnes par an,
- NOELL 96 (en thermolyse non intégrée) pour une capacité moyenne de 50.000 tonnes par an,
- EDDITH (Thide) et SOFTER (Nexus) pour des capacités comprises entre 25 et 40.000 tonnes par an, en thermolyse non intégrée,
- TRAIDEC (thermolyse non intégrée) pour des capacités inférieures à 25.000 tonnes par an.

Néanmoins, constatant en Juin 2000 la non validation commerciale à échelle industrielle des procédés étudiés, l'ISSeP continue à considérer l'incinération classique, conjuguée aux meilleures techniques d'épuration des fumées disponibles, comme la technologie la plus fiable.

- **Note** : ces conclusions de l'ISSeP nous paraissent rester bien pertinentes à mi-2001, vu l'état d'avancement des réalisations industrielles des procédés analysés pour le traitement de déchets ménagers et assimilés ; par contre pour le traitement de déchets industriels spécifiques et/ou dangereux, le procédé NOELL(96) peut être considéré comme validé, tout comme le procédé TECHNIP/Mannessman.

5.2 COMMENTAIRES SUR LES PROCÉDÉS ET MISE EN ÉVIDENCE DES COMPLEMENTARITÉS

5.2.1 Procédés à prendre en compte

Des analyses reprises dans les chapitres 1 à 4 ci-avant, on peut dégager les observations suivantes pour valider ou invalider les procédés passés en revue :

5.2.1.1 Procédés de thermolyse – pyrolyse :

La section 1.8 du chapitre 1 met en évidence que ce type de procédé est principalement à envisager pour des capacités de traitement comprises entre 20 et 50.000 tonnes par an ; relevons que l'application du procédé (thermolyse en four rotatif) pour des déchets industriels et dangereux, par NOELL (Salzgitter) et TECHNIP (Burgau) en Allemagne, est effective.

Néanmoins il est prématuré de considérer que la thermolyse-pyrolyse appliquée au traitement de déchets ménagers, ou de déchets combustibles dérivés du tri des déchets ménagers (fluff ou RDF), soit validée commercialement aujourd'hui en Europe ; notons en particulier que, pour les procédés non intégrés, les produits de thermolyse (gaz combustible et « char » ou résidus carbonés) doivent trouver leur place sur le marché pour confirmer leurs perspectives de valorisation.

Dès lors, pour la région wallonne, il nous paraît utile de tester l'application d'une thermolyse non intégrée (voire une thermolyse intégrée) sur un déchet préparé et homogène à valeur calorifique significative (tels que le fluff, des DIB triés....) et à une échelle industrielle raisonnable, afin de vérifier les marchés pour les produits de thermolyse et les coûts de traitement réels du procédé.

Le projet ITRADEC/SOTRADIA comme le projet SIVERMA s'inscrivent parfaitement dans cette logique.

5.2.1.2 Procédés d'incinération :

Il faut distinguer les technologies d'incinération reposant sur des fours à grille de celles basées sur des fours à lit fluidisé.

- Fours à grille

Le chapitre 2.3 a confirmé que ce type de procédés reste une technologie de référence pour le traitement de déchets ménagers et assimilés tout venant, notamment pour des capacités de 50 à 500.000 tonnes/an ; on notera que les capacités unitaires par ligne four-chaudière d'incinération sont généralement comprises entre 6 et 30 tonnes/heure (soit de 50 à 250.000 tonnes/an) à PCI 10.500 kJ/kg.

Les déchets ne demandent pas de préparation préalable et leur PCI peut être compris entre 6.500 et 12.500 kJ/kg.

Les technologies de traitement des fumées sont bien maîtrisées et permettent d'atteindre des performances supérieures à celles exigées par les réglementations européenne et wallonne (*ces technologies sont aussi celles appliquées lors de la combustion des produits de thermolyse ou pour les fours à lit fluidisé*).

En matière d'évolutions techniques, signalons notamment l'intérêt de l'emploi de grilles refroidies à l'eau lorsqu'il s'agit de traiter des déchets à haut PCI (de 10.500 à 18.500 kJ/kg).

- Fours à lit fluidisé

Du chapitre 2.4, on peut retenir que ce type de procédés est plus adapté à la combustion de DIB préparés qu'à celle de déchets ménagers, comme en témoignent les expériences françaises de Mantes, Doullens, Gien et Mulhouse.

Il est nécessaire d'assurer une préparation par broyage et séparation poussée des ferreux pour éviter des problèmes au niveau de l'injection des produits et de l'extraction des cendres sous le lit fluidisé.

Selon les types de lit fluidisé, le PCI autorisé pour les déchets est compris généralement entre 5.000 et 20.000 kJ/kg, voire 30.000 kJ/kg pour les procédés avec lit fluidisé circulant (KVAERNER, ALSTHROM).

Le procédé à lit fluidisé rotatif (ROWITEC/EBARA) est largement validé au Japon avec des DIB (déchets de plastiques, RDF, résidus de broyage automobile, boues de Step, ...), pour des capacités allant jusqu'à 200.000 tonnes par an, mais sa bonne application commerciale en Europe reste à démontrer (références de Madrid, Berlin, Moscou, Gien, Mulhouse....avec des résultats variables)

Les rendements énergétiques nets de ces procédés ne sont toutefois pas plus intéressants que ceux obtenus en fours à grille, vu la consommation électrique importante liée à la préparation des déchets.

5.2.1.3 Procédés de compostage ou de biométhanisation:

Il faut distinguer les technologies de traitement reposant sur une conversion de la fraction biodégradable en aérobie (compostage) de celles reposant sur une conversion en anaérobie (biométhanisation).

L'application de ces deux types de procédé doit être réservée à des déchets collectés sélectivement : la fraction fermentescible des ordures ménagères ou FFOM (à l'exclusion de déchets ménagers tout venant), les déchets verts, des déchets biodégradables, tels les boues de Step et des déchets industriels spécifiques (provenant par exemple d'industries alimentaires, papetières....).

L'obtention de produits entrants de qualité reste néanmoins une contrainte significative, pour aboutir à un produit fertilisant répondant aux normes régissant les amendements de sol, comme la mise en œuvre de collectes sélectives (... les expériences pilotes en région wallonne qui connaissent des fortunes diverses, notamment au niveau des taux de collecte, en sont le témoignage).

La production d'odeurs (lors de la réception des déchets, de la fermentation ou du post-traitement des effluents liquides...) restent une source potentielle de nuisances olfactives pour le voisinage.

- Compostage

Le chapitre 3 a confirmé que ce type de procédés reste une technologie de référence pour le traitement de la fraction fermentescible des déchets ménagers et des déchets verts.

La fiabilité du compostage en halls (VAM, BUHLER...) ou en tunnels (GICOM, LINDE, HERHOF...) n'est plus à démontrer, pour des capacités de traitement de 10.000 à 100.000 tonnes par an, et la qualité des composts produits est compatible avec les normes en vigueur.

- Biométhanisation

Comme exposé au chapitre 3, ce type de technologie, plus récente que le compostage, se positionne bien sur le marché du traitement biologique de la FFOM, combiné ou non au traitement de déchets verts.

Les procédés de biométhanisation (DRANCO, VALORGA, LINDE, BTA...) sont actuellement largement validés au départ de plus de cent références en Europe, pour des capacités comprises entre 5.000 et 100.000 tonnes par an.

Par rapport au compostage, les avantages de la biométhanisation consistent dans la production de biogaz, valorisable sous la forme d'électricité notamment, et dans une plus grande souplesse de traitement au niveau de l'humidité des matériaux à traiter ; ses inconvénients résident dans la production de lixiviats (jus de pressage) nécessitant un traitement d'épuration à défaut d'une réintroduction dans le digesteur.

5.2.1.4 Procédés émergents :

- Bioséchage

Le chapitre 3.7 a présenté une solution alternative à l'incinération, par pré-traitement biologique et mécanique des déchets ménagers (principalement les déchets ménagers résiduels après collecte sélective de la FFOM) en vue de la production d'un composé déshydraté à valeur calorifique élevée (de l'ordre de 15 à 18.000 kJ/kg), à valoriser en centrale thermique, et de résidus inertes ou valorisables (métaux, verre).

L'air vicié est épuré par voie thermique et non par biofiltre (solution généralement retenue en compostage ou en biométhanisation).

Cette solution, développée principalement par HERHOF (mais aussi par LINDE), est validée commercialement avec quatre unités en exploitation, de capacités comprises entre 80.000 et 150.000 tonnes/an traitant des déchets ménagers résiduels.

- Torche à plasma

Quoique non repris dans la méthodologie de l'étude, il nous paraît utile de mentionner ce procédé thermique reposant sur l'utilisation d'une torche à plasma fonctionnant à des températures supérieures à 2.000 °C, dissociant les composants organiques des déchets en gaz de synthèse valorisable et produisant un vitrifiat inerte et non lixiviable.

Ce procédé, développé par GLOBAL PLASMA (USA) pour le traitement de déchets ménagers tout venant et notamment de boues de dragage de catégorie B, a été analysé par l'ISSeP cette année.

Trois unités de capacité comprise entre 30 et 120.000 tonnes par an de déchets ménagers sont en cours de réalisation en Italie et en Espagne ; la validation du procédé est donc liée à la mise en exploitation commerciale de ces unités.

Notons que ce type de procédé est appliqué par EUROPLASMA en France pour la vitrification de cendres volantes d'une UIOM et par RESORPTION Canada qui propose une installation-type de 300 tonnes/heure (considérée par le Consultant JUNIPER (UK) comme une alternative valable pour le traitement de déchets ménagers et assimilés, à valider néanmoins après mise en œuvre de projets à échelle commerciale).

5.2.2 Complémentarités entre ces procédés et vis-à-vis des systèmes opérationnels

Il faut distinguer les procédés qui s'adressent aux déchets ménagers tout venant de ceux qui sont appropriés au traitement de déchets spécifiques, provenant soit d'une collecte sélective soit d'un pré-traitement.

Notons que, parmi les procédés passés en revue au 5.2.1 ci-avant, l'incinération classique, le compostage et la biométhanisation sont des filières de traitement déjà utilisées en région wallonne ; seuls les procédés de thermolyse, d'incinération en four à lit fluidisé, de bioséchage et de gazéification par torche à plasma ne sont pas encore appliqués et seront considérés comme des procédés nouveaux.

Le Tableau A ci-dessous montre les **champs d'application des systèmes de traitement** actuellement utilisés en région wallonne et des procédés « nouveaux » pour les types de déchets repris dans la présente étude.

<i>Déchets</i>	<i>DM tout venant</i>	<i>DM résid. après coll. FFOM</i>	<i>Fluff DM après tri</i>	<i>FFOM</i>	<i>DIB</i>	<i>Boues brutes de Step</i>
Procédés appliqués						
<i>Incinération en four grille</i>	oui	oui	oui	non	oui	oui, max 10% env.
<i>Compostage</i>	non*	non	non	oui	non	oui, max 20%
<i>Biométhanisation</i>	non*	non	non	oui	non	oui, max 20% env.
Procédés nouveaux						
<i>Incinération en four lit fluidisé</i>	oui, après préparation	oui, après préparation	oui	non	oui, après préparation	oui, max 50%
<i>Thermolyse</i>	oui, après validation	oui, après validation	oui, après validation	non	après préparation	oui, après validation
<i>Bioséchage</i>	oui, après validation	oui	non	non	non	non
<i>Gazéification en torche plasma</i>	oui, après validation	oui, après validation	oui, après validation	?	oui, après validation	?

* pour ces procédés, le traitement est possible mais n'est pas recommandable, vu la mauvaise qualité du produit obtenu

Quant aux **complémentarités entre les procédés actuels et les procédés nouveaux**, complémentarités qui concernent soit les déchets non traités par chaque procédé soit les résidus ou produits de chaque procédé, **le Tableau B** met en évidence les liaisons suivantes :

<i>Procédés</i>	<i>UIOM grille</i>	<i>UIOM lit fluidisé</i>	<i>UCOM compost.</i>	<i>UBOM biométh.</i>	<i>UTOM thermol.</i>	<i>USOM bioséch.</i>	<i>UPOM plasma</i>
Procédés appliqués							
<i>Incinération four grille</i>			Combust. Refus Incinérat. DM résiduels	Combust. Refus Incinérat. DM résiduels			
<i>Compostage</i>	Traitement FFOM	Traitement FFOM		Maturat. digestat	Traitement FFOM	Traitement FFOM	Traitement FFOM
<i>Biométhanis.</i>	Traitement FFOM	Traitement FFOM			Traitement FFOM	Traitement FFOM	Traitement FFOM
Procédés nouveaux							
<i>Incinération en four lit fluidisé</i>					Valorisation Char	Valorisation Produit	
<i>Thermolyse</i>			Traitement DM résiduels	Traitement DM résiduels			
<i>Bioséchage</i>			Traitement DM résiduels	Traitement DM résiduels			
<i>Gazéification en torche plasma</i>	Vitrification Refiom	Vitrification Refiom	Traitement DM résiduels	Traitement DM résiduels	Valorisation Char Vitrification Refiom	Valorisation Produit	

5.3 RÉPONSES DES PROCÉDÉS AUX BESOINS RECENSÉS

5.3.1 Rappel des résultats de phase 1

Le chapitre 3.2 de la 2^{ème} Partie du rapport de phase 1 a identifié les besoins résultant d'une gestion globale des déchets ménagers, des DIB et des boues de Step, à l'horizon 2005.

Pour rappel ces besoins, qui ont trait aux déchets ménagers tout venant, aux déchets encombrants, aux DIB et aux boues de Step, ont été évalués comme suit :

- Déchets ménagers et assimilés des intercommunales : 226.000 tonnes/an
- Déchets assimilés et DIB des opérateurs privés : 375.000 tonnes/an
- Boues de Step des intercommunales : 130.000 tonnes/an

Soit globalement environ 730.000, tonnes/an.

5.3.2 Définition des besoins à retenir pour la phase 3

Afin d'affiner cette première approche, nous avons considéré que les déchets encombrants reçus dans les PAC pouvaient, après séparation par nature, être valorisés et produire des refus de tri admis en CET II comme déchets ultimes.

Quant aux boues de Step, nous avons admis que 50.000 tonnes par an pouvaient être co-incinérées dans les unités d'incinération existantes, sans affecter leur capacité pondérale, et que le solde, soit 80.000 tonnes par an, devaient faire l'objet de nouvelles unités d'oxydation thermique à implanter en région wallonne.

Avec ces hypothèses, les besoins à considérer pour la définition de scénarios de traitement, à évaluer en 3^{ème} phase de l'étude, ont été rajustés en prenant en compte deux cas de figure :

- Le traitement de la FFOM est opéré comme prévu par les intercommunales en 2005,
- Le traitement de la FFOM est intensifié en prévoyant un taux de collecte moyen de 50 kg/habitant et par an (de 70 à 90 kg/hab.an en zones rurales et semi-rurales et de 0 kg/hab.an en zones urbaines)

Les **Tableaux 5.1 et 5.2** ci-après donnent le détail des tonnages de déchets à traiter par les intercommunales et par les opérateurs privés, les capacités de traitement installées en région wallonne (hors celles de traitement en FFOM) et les besoins nets à satisfaire, compte tenu des réserves de capacité des unités opérationnelles.

Tableau 5.1 Définitions des besoins avec les collectes FFOM prévues par les intercommunales										
Intercommunales		Notes : ° les DE résiduels des PAC (après tri par matière) sont admis en CET II ° les DV sont traités sur dalle de compostage ou en cotraitement avec FFOM ° les FFOM sont traités dans les installations prévues par les intercommunales								
Tonnages DM à traiter		BEPN	IBW	ICDI	IDELUX	INTERSUD	INTRADEL	IPALLE	ITRADEC	REGION
Population 2000		448 098	368 968	413 512	308 166	49 408	954 044	325 143	472 700	3 340 039
Ordures Ménagères	OM									
Porte-à-porte		68 406	72 000	90 000	42 042	11 000	148 840	72 000	98 200	602 488
Autres		3 254	0	21 000	0	2 327	3 200	0	6 749	36 530
Fraction Fermentescible	FFOM									
Porte-à-porte		12 052	1 000	0	28 000	0	30 000	0	3 500	74 552
Déchets Verts	DV									
Parcs Conteneurs		37 322	27 250	15 000	30 000	2 500	40 000	27 000	18 248	197 320
Autres		2 680	0	7 000	0	675	10 000	10 000	0	30 355
Déchets Encombrants	DE									
Porte-à-porte		16 986	10 000	1 000	9 000	1 750	24 000	5 000	7 500	75 236
Parcs Conteneurs		21 119	12 370	14 000	34 620	1 650	21 990	12 000	25 000	142 749
Total (t/an) :		161 819	122 620	148 000	143 662	19 902	278 030	126 000	159 197	1 159 230
Total Gisement :		271 574	195 635	237 630	240 857	28 982	449 433	203 150	251 710	1 878 971
Taux des DM considérés		59,6%	62,7%	62,3%	59,6%	68,7%	61,9%	62,0%	63,2%	61,7%
Besoins										
Ordures ménagères		71 660	72 000	111 000	42 042	13 327	152 040	72 000	104 949	639 018
Résidus tri DE p-à-p (80%)		13 589	8 000	800	7 200	1 400	19 200	13 600	6 000	60 189
Résidus trait. DV (15%)		6 000	4 088	3 300	4 500	476	7 500	5 550	2 737	34 151
Total (t/an) :		91 249	84 088	115 100	53 742	15 203	178 740	91 150	113 686	733 358
(*) DE totaux										
Capacités de traitement actuelles										
Capacité UIOM ou UTOM (*)		0	105 000	128 000	0	0	220 000	222 500	150 000	825 500
PCI kcal/kg			2 500	2 000			2 200	2 000		
Capacité à PCI 2200 kcal/kg		0	119 318	116 364	0	0	220 000	202 273	150 000	807 955
(*) hors DIB										
Besoins nets à satisfaire										
Besoins nets (*) à PCI 2200		91 249	-35 231	-1 264	53 742	15 203	-41 260	-111 123	-36 314	-74 596
Besoins retenus		93 000	0	0	55 000	17 000	0	0	0	165 000
Réserves retenues			35 000	0			40 000	110 000	35 000	220 000
bis										
Synthèse avec opérateurs privés		Besoins retenus		Réserves retenues		Besoins nets à satisfaire				
Déchets intercommunales										
DM : PCI retenu : 2200		165 000		220 000		-55 000				
FFOM		0		0		0				
Déchets opérateurs privés		(*) 375 000		70 000		305 000				
(DIB à PCI 2750 à 3700)				(IPALLE)						
PCI retenu : 3200										
Totaux DM + DIB		540 000		290 000		250 000				
(*) 1.000.000 t/an dont : 190.000, t/an recyclés, 60.000, t/an en CET III et 375.000, t/an en CET II										

Tableau 5.2 Définitions des besoins avec collectes FFOM supplémentaires (pour atteindre 50 kg/hab.an en moyenne en région wallonne)										
Intercommunales		Notes :								
		<ul style="list-style-type: none"> * les DE résiduels des PAC (après tri par matière) sont admis en CET II * les DV sont traités sur dalle de compostage ou en cotraitement avec FFOM * les FFOM sont traités dans les installations prévues par les intercommunales 								
Tonnages DM à traiter		BEPN	IBW	ICDI	IDELUX	INTERSUD	INTRADEL	IPALLE	ITRADEC	REGION
Population 2000		448 098	368 968	413 512	308 166	49 408	954 044	325 143	472 700	3 340 039
Ordures Ménagères	OM	61 307	54 552	90 324	54 634	10 857	134 338	55 743	84 814	546 568
Porte-à-porte sans FFOM		68 406	72 000	90 000	42 042	11 000	148 840	72 000	98 200	602 488
Autres		3 254	0	21 000	0	2 327	3 200	0	6 749	36 530
Suppl. FFOM à déduire		-10 353	-17 448	-20 676	12 592	-2 470	-17 702	-16 257	-20 135	-92 450
Fraction Fermentescible	FFOM									
Porte-à-porte actuelles		12 052	1 000	0	28 000	0	30 000	0	3 500	74 552
Porte-à-porte révisées		22 405	18 448	20 676	15 408	2 470	47 702	16 257	23 635	167 002
Suppléments FFOM		10 353	17 448	20 676	-12 592	2 470	17 702	16 257	20 135	92 450
Déchets Verts	DV									
Parcs Conteneurs		37 322	27 250	15 000	30 000	2 500	40 000	27 000	18 248	197 320
Autres		2 680	0	7 000	0	675	10 000	10 000	0	30 355
Déchets Encombrants	DE									
Porte-à-porte		16 986	10 000	1 000	9 000	1 750	24 000	5 000	7 500	75 236
Parcs Conteneurs		21 119	12 370	14 000	34 620	1 650	21 990	12 000	25 000	142 749
Total (t/an) :		161 819	122 620	148 000	143 662	19 902	278 030	126 000	159 197	1 159 230
Total Gisement :		271 574	195 635	237 630	240 857	28 982	449 433	203 150	251 710	1 878 971
Taux des DM considérés		59,6%	62,7%	62,3%	59,6%	68,7%	61,9%	62,0%	63,2%	61,7%
Besoins hors FFOM										
Ordures ménagères		61 307	54 552	90 324	54 634	10 857	134 338	55 743	84 814	546 568
Résidus tri DE p-à-p (80%)		13 589	8 000	800	7 200	1 400	19 200	13 600	6 000	60 189
Résidus trait. DV (15%)		6 000	4 088	3 300	4 500	476	7 500	5 550	2 737	34 151
Total (t/an) :		80 896	66 639	94 424	66 334	12 733	161 038	74 893	93 551	640 908
Capacités de traitement actuelles										
Capacité UIOM ou UTOM (*)		0	105 000	128 000	0	0	220 000	222 500	150 000	825 500
PCI kcal/kg		2 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 200	2 000	2 000	2 000
Capacité à PCI 2200 kcal/kg		0	119 318	116 364	0	0	220 000	202 273	150 000	807 955
Besoins nets à satisfaire										
Besoins nets hors FFOM(*) à PCI 2200		80 896	-52 679	-21 939	66 334	12 733	-58 962	-127 380	-56 449	-167 046
Besoins FFOM		10 353	17 448	20 676	-12 592	2 470	17 702	16 257	20 135	92 450
Besoins retenus										
hors FFOM		82 000	0	0	68 000	14 000	0	0	0	164 000
pour FFOM		12 000	20 000	22 000	-10 000	4 000	20 000	18 000	22 000	108 000
Réserves retenues		0	50 000	20 000	0	0	57 000	125 000	55 000	307 000
Synthèse avec opérateurs privés										
		Besoins retenus			Réserves retenues			Besoins nets à satisfaire		
Déchets intercommunales										
DM : PCI retenu : 2200		164 000			307 000			-143 000		
FFOM :		108 000			0			108 000		
Déchets opérateurs privés		(*)			70 000			305 000		
(DIB à PCI 2750 à 3700)		375 000			(IPALLE)					
PCI retenu : 3200										
Totaux DM + DIB		647 000			377 000			270 000		
(*) 1.000.000 t/an dont : 190.000, t/an recyclés, 60.000, t/an en CET III et 375.000, t/an en CET II										

On notera que :

- les besoins retenus s'élèvent, dans le 1^{er} cas, à environ 540.000 t/an et, dans le 2^{ème} cas, à environ 650.000 t/an
- et que les besoins nets à satisfaire (après saturation des unités opérationnelles) se situent :
 - à 250.000 t/an pour DM et DIB dans le 1^{er} cas,
 - à 162.000 t/an pour DM et DIB et à 108.000 t/an pour FFOM dans le 2^{ème} cas.

5.3.3 Réponses des procédés actuels et nouveaux aux besoins recensés

Les réponses des procédés actuels et nouveaux aux besoins retenus (compte tenu des appréciations sur ces procédés énoncées en 5.2.1 et de leurs champs d'application respectifs rappelés en 5.2.2) sont présentées dans **le Tableau C** ci-dessous :

Types déchets	DM tout venant et résiduels, DE porte-à-porte	DM résiduels et DE porte-à-porte	FFOM en collecte porte-à-porte	DIB
1^{er} Cas : FFOM comme prévu				
Tonnages t/an	165.000	0	p.m.	375.000
Procédés	Incinération en fours à grille, Bioséchage Tri et thermolyse (ITRADEC)			Incinération en fours à grille, Incinération en fours lit fluidisé,
2^{ème} Cas : FFOM à 50 kg/hab.an				
Tonnages t/an		164.000	108.000	375.000
Procédés		Incinération en fours à grille, Bioséchage Tri et thermolyse (ITRADEC)	Compostage, Biométhanisation	Incinération en fours à grille, Incinération en fours lit fluidisé,



MINISTERE DE LA REGION WALLONNE

Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement

Office Wallon des Déchets

Avenue Prince de Liège, 15
5100 JAMBES

**Analyse des Plans Stratégiques des Intercommunales
et de la Gestion des Déchets Ménagers et Assimilés
et des DIB en Région Wallonne**

Annexes au Rapport de Phase 2

Groupement IBH – Cadet International

**592, Chaussée de Louvain à 1380 LASNE
Tel. 02/3570757 – Fax. 02/3570750 – E-Mail ibh@ibh.be**

LISTE DES ANNEXES

Chapitre 2 : *Procédés de traitement par incinération :*

Annexe 1 : Les Procédés d'épuration des fumées

**Annexe 2 : Comparatif des technologies de four à grille
et de four à lit fluidisé**

Chapitre 3 : *Procédés de compostage et de biométhanisation*

Annexe : Procédés de compostage et de biométhanisation

Chapitre 4 : *Traitement des résidus solides de l'incinération*

Annexe 1 : Les MIOM

Annexe 2 : Les REFIOM

**ANALYSE DES PLANS STRATEGIQUES DES INTERCOMMUNALES
ET DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES
ET DES DIB DE LA REGION WALLONNE**

ANNEXE 1 AU CHAPITRE 2

LES PROCEDES D'EPURATION DES FUMEEES

SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....	3
2. LES PROCÉDÉS DE DÉPOUSSIÉRAGE	3
2.1. Le dépolluissage par centrifugation.....	4
2.2. Le dépolluissage par électrofiltre	4
2.3. Le dépolluissage par filtre à manches.....	4
3. LA NEUTRALISATION DES FUMÉES	5
3.1. Les procédés secs ou semi-secs	5
3.2. Les procédés semi-humides.....	7
3.3. Les procédés humides	8
3.4. Les procédés combinés	9
4. LES TRAITEMENTS COMPLÉMENTAIRES.....	10
4.1. Les procédés de traitement des NOx	10
4.1.1. La recirculation des fumées.....	10
4.1.2. Les procédés non catalytiques (Réduction Sélective Non Catalytique SNCR)	10
4.1.3. Les procédés catalytiques (Réduction Sélective catalytique SCR)	11
4.2. Traitement des dioxines et des furanes.....	12
4.2.1. Les procédés d'adsorption	12
4.2.2. Les procédés combinés de Réduction Sélective Catalytique (SCR).....	13

1. Présentation générale

Les polluants contenus dans les fumées issues de la destruction thermique se présentent à l'état solide (poussières, métaux lourds) ou à l'état gazeux (HCl, HF, SO_x, métaux lourds, dioxines, furanes, NO_x, ...).

D'une manière générale, les procédés d'épuration des fumées sont composés :

- des procédés de dépoussiérage;
- des procédés de neutralisation des fumées;
- des procédés de traitement complémentaires.

Pour les procédés de neutralisation des fumées, les principaux sont :

- les procédés secs ou semi-secs;
- les procédés semi-humides;
- les procédés humides;
- les procédés combinés.

Les traitements complémentaires comprennent les traitement des NO_x et des dioxines/furanes.

2. Les procédés de dépoussiérage

Le dépoussiérage peut être effectué selon 3 modes :

- par centrifugation;
- par un électrofiltre;
- par un filtre à manches.

2.1. Le dépoussiérage par centrifugation

Dans ce procédé, les fumées sont mises en rotation dans un cyclone. Sous l'effet de la force centrifuge, les particules en suspension sont séparées des flux gazeux.

Ce procédé ne permet cependant pas d'atteindre un niveau de performance suffisant (rendement de dépoussiérage de l'ordre de 70%). La seule application envisageable désormais est un "prédépoussiérage" au regard des normes actuelles, avant dépoussiérage final par électrofiltre ou filtre à manches.

2.2. Le dépoussiérage par électrofiltre

Ce procédé consiste à faire passer les fumées entre deux électrodes soumises à une différence de potentiel de plusieurs dizaines de milliers de volts (jusqu'à 90 kV). Ces électrodes sont constituées de séries alternées de plaques et de fils métalliques. Sous l'effet du champ électrique, les particules sont attirées sur les plaques et tombent au cours du nettoyage dans la trémie.

Très répandus actuellement, les électrofiltres permettent difficilement d'atteindre les prescriptions de la Directive Européenne du 04/12/2000 (10 mg/Nm³).

La température d'utilisation doit être inférieure à 400°C et leurs performances diminuent significativement lorsque le débit des fumées dépasse le fonctionnement nominal.

2.3. Le dépoussiérage par filtre à manches

Ce procédé consiste à faire passer les fumées d'incinération au travers de manches (verticales ou horizontales) en textile filtrant. Ce type de filtres nécessite de travailler à des températures de l'ordre de 200 - 250°C maximum. Le nettoyage des manches se fait par agitation ou vibration des différentes cellules ou par inversion de flux.

Les performances de ce type d'équipement sont très bonnes et, convenablement utilisés, les filtres à manches atteignent un niveau de filtration supérieur aux électrofiltres, notamment pour la captation, par condensation sur les poussières, des métaux lourds contenus dans les fumées.

Un intérêt complémentaire du filtre à manches est de servir de support de réactions pour la neutralisation des polluants acides.

3. La neutralisation des fumées

Elle a pour but de capter les gaz acides présents dans les fumées (essentiellement HCl, SO₂ mais aussi HF).

On distingue quatre catégories de technologies :

- les procédés secs ou semi-secs;
- les procédés semi-humides;
- les procédés humides;
- les procédés combinés.

3.1. Les procédés secs ou semi-secs

Ces procédés sont représentés schématiquement sur la Figure 1.

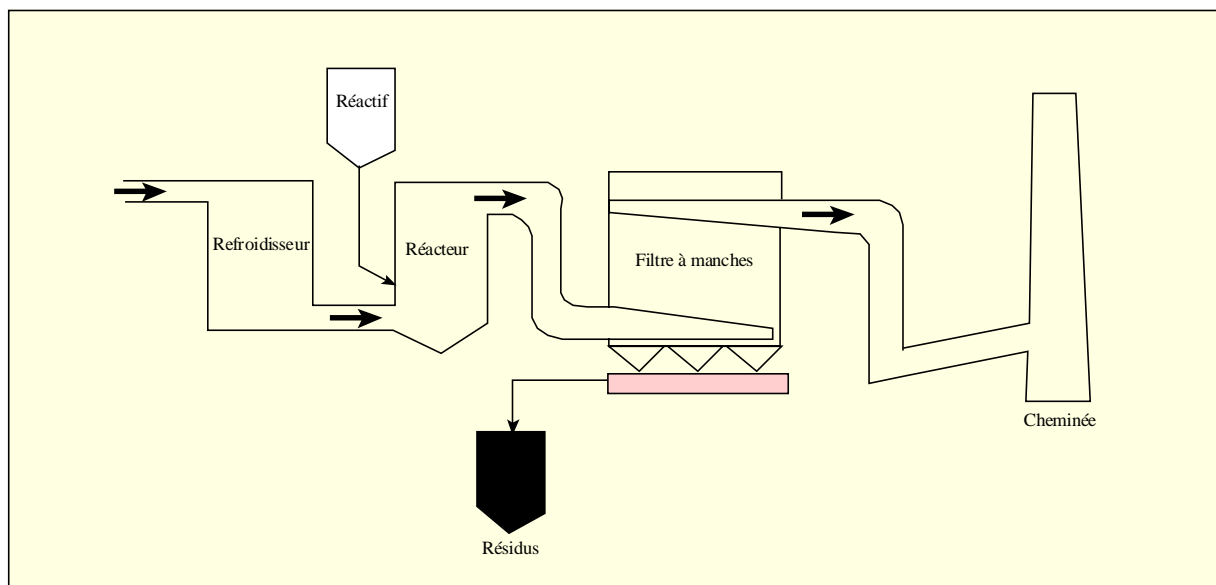


Figure 1 : Procédés secs ou semi-secs

Ils consistent en une injection de réactif, généralement de la chaux sous forme pulvérulente, dans le flux gazeux. L'utilisation d'un réactif basique permet le traitement de la fraction acide contenue dans les fumées.

Dans le cas de l'utilisation de la chaux, on assiste aux réactions suivantes :

- $\text{Ca(OH)}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ca(OH)}_2 + 2 \text{HF} \rightarrow \text{CaF}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

Pour obtenir des performances élevées, il est nécessaire que :

- Les fumées soient préalablement refroidies vers 130-140°C, par injection d'eau (on parle alors de procédé semi-sec) ou par échangeur ce qui permet en outre de capter le mercure gazeux. En effet, à cette température, les métaux lourds sont condensés à la surface des particules solides, ce qui permet de les capter en phase solide lors de l'étape du dépolluage.
- D'utiliser des réactifs à grande réactivité tels que le bicarbonate de sodium ou la chaux à grande surface spécifique.
- La filtration en aval du réacteur soit réalisée par un filtre à manches car la réaction de neutralisation se termine à la surface du média filtrant.

Les avantages et les inconvénients de ce type de procédés sont présentés dans le Tableau 1.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement réduit; • Absence d'effluent liquide; • Pas de consommation d'eau ; • Mise en œuvre et exploitation des installations simples ; • Sécurité d'utilisation dans le cas d'utilisation de bicarbonate de sodium ; • Pour le bicarbonate de sodium, consommation de réactifs et de résidus inférieure par rapport à l'installation de chaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation élevée de réactif (nécessité d'être en excès par rapport à la stœchiométrie), ce qui entraîne une recirculation des résidus (dans le cas de réactif calcique), • Production importante de résidus solides, • Coût du réactif élevé dans le cas d'utilisation du bicarbonate de sodium ou de chaux GSS, • Pour l'utilisation du bicarbonate de sodium, résidus solides plus solubles et plus difficiles à stabiliser s'il y a absence de valorisation.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des procédés secs ou semi-secs

3.2. Les procédés semi-humides

Ces procédés sont représentés schématiquement sur la Figure 2.

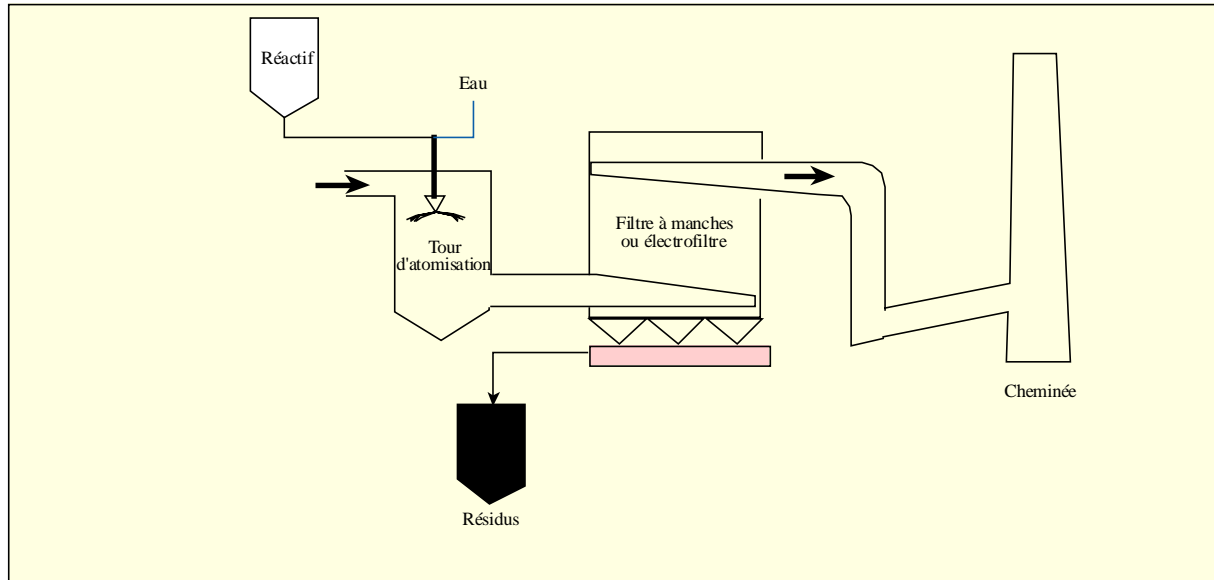


Figure 2 : Procédés semi-humides

Ces procédés consistent en une atomisation de réactif introduit sous forme liquide (lait de chaux en général) dans le flux gazeux. Un mélange intime gaz-liquide est ainsi réalisé favorisant les réactions de neutralisation. Les réactions mises en jeu sont les mêmes que dans les procédés secs, mais le contact gaz-liquide permet une réaction plus efficace que le contact gaz-solide.

L'eau s'évapore ensuite en refroidissant les fumées. Les particules solides (poussières et sels de réaction) sont ensuite récupérées en aval de la tour d'atomisation par un électrofiltre ou filtre à manches.

Les avantages et les inconvénients de ce type de procédés sont présentés dans le Tableau 2.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement limité (intermédiaire entre les procédés secs et les procédés humides); • Absence d'effluent liquide. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'eau • Consommation de réactif (inférieure aux procédés secs à la chaux) • Production importante de résidus mais inférieure aux procédés secs à la chaux. • Mise en œuvre plus délicate liée à la préparation du lait de chaux.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des procédés semi-humides

3.3. Les procédés humides

Ces procédés sont représentés schématiquement sur la Figure 3.

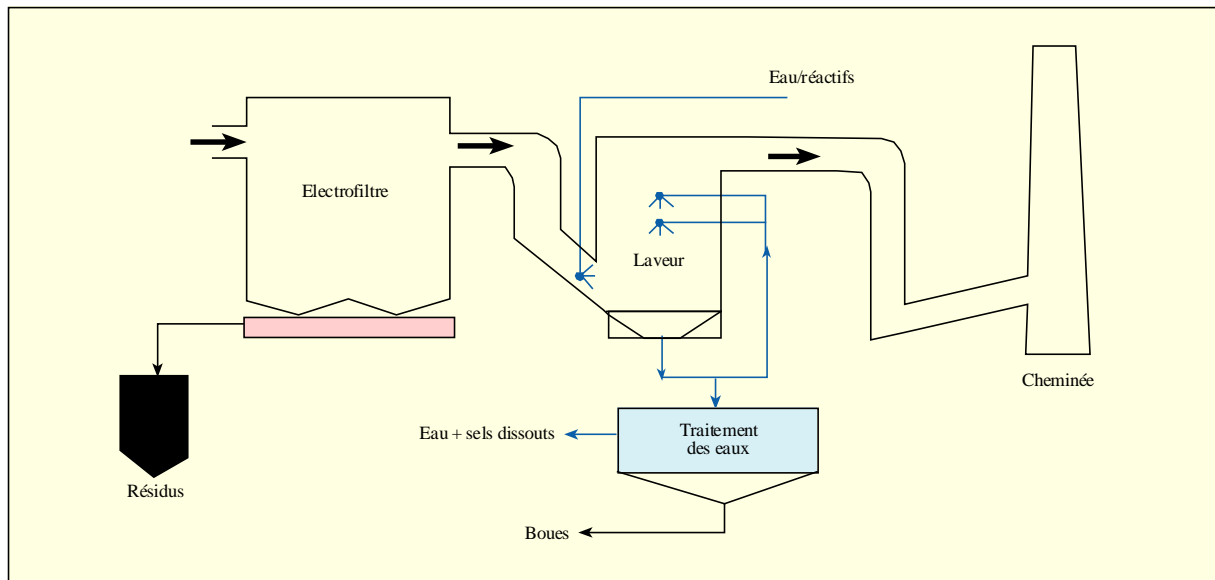


Figure 3 : Procédés humides avec rejets liquides

Ils consistent en un lavage des gaz conduisant à la saturation et à l'absorption des polluants. L'eau de lavage est ensuite traitée et neutralisée. Les poussières, métaux lourds et autres polluants sont récupérés dans les boues ou dans les filtrats (cas des chlorures).

Ce type de procédé nécessite un dépoussiérage en amont du laveur par électrofiltre ou filtres à manches.

Les solutions utilisées de réactifs (généralement l'eau, du lait de chaux ou de la soude) varient selon les constructeurs et en fonction de l'efficacité de captation souhaitée pour chaque polluant.

De plus en plus fréquemment, il est proposé des laveurs à étages ou des laveurs en série, un étage où chaque laveur étant plus spécifiquement étudié pour la captation de tel ou tel polluant.

Le premier étage consiste en un lavage acide par de l'eau ou du lait de chaux qui permet de capter HCl, HF et des métaux lourds. Le deuxième étage du laveur, le lavage basique, permet d'éliminer le SO₂ en le faisant réagir avec une base forte (NaOH).

Il est nécessaire, pour ce type de procédé humide, de concevoir une station de traitement des effluents liquides qui permet de neutraliser les acides dissous, insolubiliser puis précipiter les sels et les métaux lourds.

Les avantages et les inconvénients des procédés humides sont présentés dans le Tableau 3.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Performances élevées; • Faible consommation de réactif; • Faible production de résidus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'un traitement des eaux ; • Forte production d'effluent liquide contenant des sels ; • Coût d'investissement plus élevé; • Consommation d'eau et d'électricité importante ; • Main d'œuvre supplémentaire nécessaire (maintenance, surveillance et analyses).

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des procédés humides

Les rejets liquides peuvent être éliminés dans le milieu naturel sous autorisation ou traités par évaporation et cristallisation ou dans le système de traitement des fumées (procédés combinés).

3.4. Les procédés combinés

Ces procédés sont représentés schématiquement sur la Figure 4.

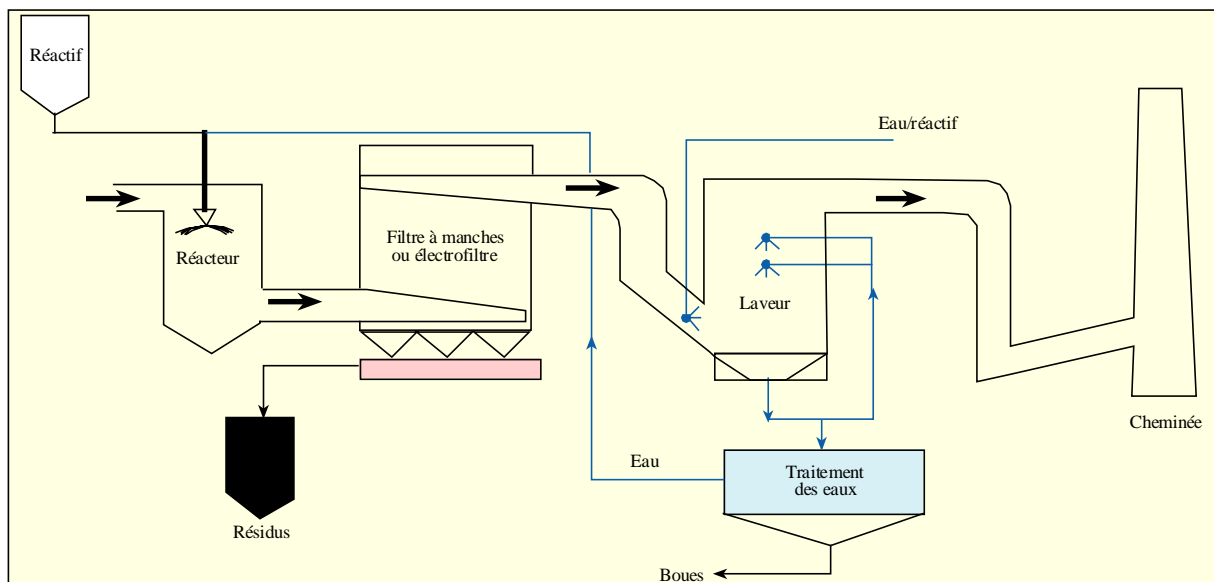


Figure 4 : Procédés combinés

Ce type de procédés est dénommé aussi "zéro rejet liquide".

Il s'agit en général d'une combinaison du procédé semi-humide et d'un procédé humide par ajout d'une tour de lavage en aval ou d'un procédé humide dont le dépoussiéreur amont est précédé d'un réacteur-sécheur. Les eaux de lavage sont alors, après traitement, évaporées dans les fumées, ce qui permet donc d'éviter tout rejet liquide en milieu naturel.

Les avantages et les inconvénients de ce type de procédés sont ceux d'un procédé humide présentés dans le tableau 4, hormis l'avantage d'une faible production de résidus et de l'inconvénient de la production de rejets liquides.

4. Les traitements complémentaires

En plus des traitements présentés précédemment, des dispositifs complémentaires peuvent être installés afin de traiter d'autres polluants telles que les dioxines et furannes ou les oxydes d'azote.

4.1. Les procédés de traitement des NOx

4.1.1. La recirculation des fumées

Elle consiste à remplacer une partie de l'air primaire par des fumées épurées. Il en résulte un abaissement de la pression partielle de l'oxygène et de la température de combustion qui provoque la diminution de la formation des NO_x.

Cet effet est cependant limité et ne permet pas d'envisager des taux d'élimination supérieurs à 30%.

4.1.2. Les procédés non catalytiques (Réduction Sélective Non Catalytique SNCR)

Durant la réduction sélective des oxydes d'azote (NO, NO₂), de l'eau et de l'azote sont formées par addition d'ammoniac (NH₃) ou d'urée (CO(NH₂)₂). L'injection de réactif s'effectue dans la chambre de combustion entre 850 et 1 000°C.

De nombreuses réactions se produisent pendant la réduction sélective. Avec l'oxyde nitrique (NO) les réactions sont :

- $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (injection d'ammoniac)
- $2\text{NO} + \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (injection d'urée)

Le ratio réactif sur oxydes d'azote (NH₃ ou urée/NO_x) nécessaire est presque stœchiométrique.

Ces procédés permettent d'atteindre des taux de captation de 50 à 80%. Cependant, des taux de captation élevée (supérieur à 80%) nécessitent de travailler au-dessus de la stœchiométrie et

l'ammoniac en excès se retrouve dans l'eau de lavage et doit être récupéré (fuite d'ammoniac), dans les fumées et éventuellement dans les cendres volantes.

Dans le cas d'une épuration des fumées par voie humide, on trouve de l'ammoniac dans le laveur ce qui limite la captation des métaux lourds, notamment le mercure, ainsi que dans les eaux de rejet, ce qui implique un traitement spécifique.

4.1.3. Les procédés catalytique (Réduction Sélective catalytique SCR)

Le procédé SCR permet une transformation des oxydes d'azote en vapeur d'eau et en azote.

Cette transformation est obtenue par une injection d'ammoniac qui agit comme agent réducteur en présence d'un catalyseur.

Les réactions chimiques qui se produisent peuvent se résumer de la façon suivante :

- $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Catalyseur}} 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{NO}_2 + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Catalyseur}} 3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

Le catalyseur doit être installé sur le parcours des fumées où la température est comprise typiquement entre 250 et 380°C (les gaz doivent donc être suffisamment chauds ou être réchauffés avant leur passage dans le catalyseur).

La limite de température inférieure est influencée par la teneur en SO_3 dans les fumées. A basse température, il y a formation de bisulfate d'ammonium par combinaison de SO_3 avec l'ammoniac qui s'accumule sur le catalyseur avec perte d'activité et obstruction du passage des fumées.

A température élevée, il y a conversion du SO_2 en SO_3 par le catalyseur avec des risques de corrosion sulfurique à basse température pour le matériel installé en aval sur le parcours des fumées.

Il existe essentiellement deux familles de catalyseurs, ceux à plaques parallèles et ceux qui présentent une structure en nids d'abeille. Les catalyseurs sont composés d'oxydes métalliques tels que TiO_2 (support) , WO_3 et V_2O_4 qui sont extrudés dans le cas des nids d'abeilles ou bien déposés sur une armature métallique pour le type à plaques parallèles.

L'implantation de l'étape De NO_x est effectuée généralement en aval de l'épuration des fumées ou par incorporation du catalyseur plus en amont : en sortie de chaudière et après dépoussiérage.

Tous les procédés SCR se caractérisent par leur taux de conversion élevé (supérieur à 90%) pour un dosage d'ammoniac proche de la stoechiométrie.

4.2. Traitement des dioxines et des furannes

4.2.1. Les procédés d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de captation physique des polluants. Deux produits possédant des capacités particulières d'adsorption sont utilisés: le charbon actif et le coke de lignite.

Notons que ces deux adsorbants ont aussi des capacités d'adsorption pour d'autres polluants tels que le SO₂, le HCl, le HF et les métaux lourds.

D'autres adsorbants sont proposés pour capter les dioxines et les furannes, un mélange de chaux hydratée et de charbon actif (ou coke de lignite) dénommé SORBALIT qui permettrait d'obtenir des résultats similaires en diminuant sensiblement le risque d'autocombustion du charbon actif.

Le processus d'adsorption des dioxines et des furannes s'effectuent dans une plage de température de 100 à 180°C. Trois types de procédés peuvent être utilisés :

- un réacteur à lit fixe;
- une injection dans les effluents gazeux;
- un réacteur en lit fluidisé circulant.

• Le réacteur à lit fixe (ou à contre courant)

Le gaz à épurer passe dans un fond de répartition à double entonnoir pour ensuite traverser le lit de charbon actif ou de coke de lignite de bas en haut tandis que l'adsorbant traverse le réacteur de haut en bas.

• Système d'injection dans les fumées (réacteur de transport)

L'adsorbant est injecté dans le sens du flux gazeux et à un endroit déterminé de manière à bénéficier d'un temps de séjour suffisant. On récupère alors les poussières en aval dans un filtre à manches. En plus de sa fonction de captation, le filtre à manches sert également d'étape d'adsorption secondaire.

• La captation en lit fluidisé circulant

Le procédé de captation des polluants dans un lit fluidisé circulant est un compromis entre la technologie du lit fixe et le procédé de réacteur de transport.

Les fumées pré-épurées pénètrent dans un réacteur placé en aval du système d'épuration conventionnel. Les fumées sont brassées de manière intense avec l'adsorbant, puis, de par la vitesse des gaz, évacuées en tête du réacteur en lit fluidisé.

Après captation des poussières dans le filtre à manches placé en aval, la matière solide est renvoyée dans l'adsorbeur à lit fluidisé. Ce processus se répète plusieurs fois de manière à obtenir des temps de séjour des matières solides très importants.

4.2.2. Les procédés combinés de Réduction Sélective Catalytique (SCR)

Certains procédés SCR utilisés pour la dénitrification permettent aussi de traiter les dioxines et les furannes. Il s'agit d'une élimination contrairement aux procédés d'adsorption qui correspondent à une captation. Les catalyseurs utilisés ont un effet de captation et de destruction sur des gaz fortement épurés des autres polluants dans une plage de fonctionnement de 240 à 320°C.

Les réacteurs SCR ayant une fonction de DeNO_x et de DeDio_x sont analogues à ceux de DeNO_x seule, la différence étant que dans ce cas les dernières couches de catalyseurs ne sont pas des catalyseurs de DeNO_x mais des catalyseurs d'oxydation spécifiquement développés pour l'oxydation de composés organiques et plus particulièrement pour les dioxines et furannes.

ANALYSE DES PLANS STRATEGIQUES DES INTERCOMMUNALES
ET DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES
ET DES DIB DE LA REGION WALLONNE

ANNEXE 2 AU CHAPITRE 2

**COMPARATIF DES TECHNOLOGIES DE FOUR A GRILLE
ET DE FOUR A LIT FLUIDISE**

SOMMAIRE

1. CONTEXTE	3
2. QUALITÉ ET DEVENIR DES RESIDUS SOLIDES.....	4
2.1. Four a grille	4
2.2. Four a lit fluidise	5
3. RENDEMENT ENERGETIQUE.....	6
3.1. rendement thermique du groupe four-chaudiere.....	6
3.1.1. Imbrûlés dans les résidus solides.....	7
3.1.2. Chaleur sensible dans les résidus solides	8
3.1.3. Pertes par chaleur sensible dans les gaz de combustion	8
3.1.4. Perte par rayonnement.....	9
3.1.5. Conclusion sur le rendement thermique.....	10
3.2. production d'énergie.....	10
4. EMISSIONS GAZEUSES	11
4.1. quantité de gaz a traiter.....	11
4.2. nature des polluants	12
4.2.1. Poussières et métaux lourds	12
4.2.2. HCl.....	12
4.2.3. SO ₂	13
4.2.4. NO _x	13
4.2.5. Dioxines et furanes.....	14
4.2.6. Conclusion sur les émissions gazeuses	14
5. FLEXIBILITÉ DU COMBUSTIBLE.....	14
6. CONCLUSION	15

1. CONTEXTE

Il y a encore quelques années, on choisissait une filière pour traiter, de la même façon, l'ensemble des déchets (décharge, incinération, compostage).

Aujourd'hui, on a pris conscience du fait que le déchet ménager est un produit hétérogène dont les divers composants sont susceptibles de faire l'objet d'un traitement spécifique : récupération des matières premières, utilisation de la matière organique, production d'énergie.

Selon les matériaux et selon les conditions locales, ces objectifs peuvent être atteints par un dosage plus ou moins important :

- de valorisation matière par recyclage des matériaux,
- de valorisation organique par compostage ou méthanisation des matières organiques,
- de production de chaleur, de gaz ou d'électricité par l'incinération, la thermolyse, la méthanisation ou la récupération du biogaz de décharge.

L'incinération avec récupération d'énergie s'inscrit parfaitement dans cet objectif. Elle doit cependant faire face à deux arguments qui lui sont opposés :

- 1) L'incinération est accusée (à tort pour les installations récentes) d'être une activité polluante du fait de ses émissions gazeuses et de ses sous-produits solides.
Il est donc parfois difficile d'implanter des incinérateurs qui sont fortement rejetés par les populations avoisinantes.
- 2) L'incinération est un mode de traitement coûteux en raison des dépenses occasionnées pour le traitement des gaz de combustion et des résidus solides.

Pour pallier ces inconvénients, certains constructeurs proposent la technologie de la combustion en lit fluidisé qui, selon eux, permet de réduire largement les désavantages cités précédemment qui concernent principalement la technologie de combustion sur grille.

La technologie du lit fluidisé améliorerait :

- la valorisation énergétique,
- la qualité des résidus solides.

Elle contribuerait également à réduire les émissions gazeuses, tout en offrant une grande flexibilité au niveau des combustibles (en nature et en PCI).

Les avantages par rapport à la combustion sur grille sont-ils réels et compensent-ils l'inconvénient majeur de la combustion en lit fluidisé qui, pour certains, nécessite un prétraitement des déchets (broyage, séparation des métaux) ?

La comparaison lit fluidisé – four à grille est tentante. Elle n'est pas simple, ce document en est une modeste ébauche.

Cette comparaison porte sur les points suivants :

- **Qualité et devenir des résidus solides.**
- **Rendement énergétique.**
- **Emissions gazeuses.**
- **Flexibilité du combustible.**

Elle concerne :

- les fours à grilles modernes équipant les installations récentes,
- les fours à lits fluidisés denses, les lits fluidisés circulants n'étant pas encore proposés sur le marché.

2. QUALITE ET DEVENIR DES RESIDUS SOLIDES

2.1. FOUR A GRILLE

La situation est claire et connue, les résidus solides sont de trois types :

- les mâchefers recueillis en sortie de grille,
- les cendres sous chaudières,
- les REFIOM recueillis sous les équipements d'épuration de fumées en sortie du groupe four-chaudière.

Les mâchefers peuvent faire l'objet d'une valorisation en technique routière, ce qui est le cas de tous les mâchefers après une maturation de trois mois.

Cette maturation s'accompagne généralement d'un affinage comprenant :

- un déferraillage complémentaire,
- un enlèvement des non ferreux,
- une séparation des gros éléments,
- un séchage naturel permettant l'obtention d'un taux d'humidité inférieur à l'optimum PROCTOR.

Les cendres sous chaudières et les REFIOM, sans autre forme de procès, doivent faire l'objet d'un stockage en décharge dite de classe 1 (en France, après stabilisation pour satisfaire des seuils réglementaires de lixiviation).

Cette contrainte très lourde financièrement pour les collectivités locales est cependant tempérée par le fait que, sur la totalité des résidus solides, la part de mâchefers représente environ 90%, et les REFIOM 10%.

2.2. FOUR A LIT FLUIDISE

La situation est complexe et peu connue.

Sous la pression des constructeurs, le Ministère de l'Environnement en France, a admis de distinguer quatre types de résidus :

- les cendres sous foyers, considérées comme des mâchefers,
- les cendres sous chaudières et les cendres sous cyclones,
- les cendres captées par un électrofiltre ou un filtre à manche, avant traitement des gaz par lavage ou injection de réactifs,
- les résidus issus du traitement des gaz par lavage ou injection de réactifs .

Cette distinction est rendue nécessaire du fait de la grande quantité de cendres volantes générées par le lit fluidisé. Considérer ces cendres comme des REFIOM, comme dans le cas du four à grille, conduirait à arrêter à ce point la comparaison. La technologie du lit fluidisé deviendrait en effet trop coûteuse par rapport aux grilles.

L'initiative réglementaire du Ministère de l'Environnement en France est fort louable : elle permet d'étudier et de développer une application nouvelle du lit fluidisé qui, jusqu'à ce jour, ne s'appliquait pas aux déchets. Elle eût été encore plus louable si les cendres sous chaudières produites par les fours à grille avaient fait l'objet d'une mesure dérogatoire comme celle qui concerne les résidus solides intermédiaires produits par les lits fluidisés.

Pour ces derniers :

- les cendres sous foyers sont en effet considérés comme les mâchefers produits par les grilles,
- les résidus issus du traitement des gaz par lavage ou injection de réactifs sont traités comme des REFIOM,
- en revanche, les cendres intermédiaires générées en grande quantité peuvent faire l'objet, après test de lixiviation et dans certains cas après comparaison des teneurs en métaux lourds avec les mâchefers de grille, :
 - soit d'une valorisation,
 - soit d'un stockage en classe II,et éviter éventuellement le stockage en classe I.

Hormis cette mesure discriminatoire favorable aux lits fluidisés et fondée sur le principe de dilution, les métaux lourds se répartissant dans différents résidus solides, la comparaison entre four à grille et four à lit fluidisé est délicate.

Cette comparaison doit en effet dépasser le simple cadre des contraintes réglementaires en matière d'environnement. Si celles-ci constituent un préalable incontournable, la valorisation en technique routière d'un résidu de combustion nécessite, de plus, que certaines conditions soient remplies :

- le résidu doit être connu,
- il doit avoir fait l'objet d'essai de mise en œuvre,
- il doit avoir l'agrément des professionnels de travaux publics,
- il doit être caractérisé sous l'aspect géotechnique.

A ce jour, les résidus en provenance des lits fluidisés ne remplissent aucune de ces conditions.

Il est donc vraisemblable que l'appartenance à la catégorie V (en France) ne soit pas suffisante pour permettre leur valorisation et que leur exutoire devienne, pour un laps de temps incertain, la décharge de classe II.

De ce fait, l'annonce d'un coût nul par certains constructeurs n'est pas sérieuse, d'autant plus que, pour assurer l'emploi en travaux publics, des stocks sont nécessaires et que, par conséquent, même en cas de valorisation, des stations de transit intermédiaires seront inévitables comme pour les mâchefers produits par les grilles.

La comparaison des différentes technologies dépend, de plus, du traitement préalable des déchets qui peut conduire, dans le cas du lit fluidisé, à la réduction de la quantité d'incombustibles et donc des résidus de combustion, et contribuer ainsi à la réduction de leur coût de traitement.

Le traitement préalable des déchets ne présente en fait qu'un intérêt économique apparent :

- Il faut être certain que les déchets écartés en amont ne fassent pas l'objet d'un stockage en CET classe II.
- Les métaux contenus dans les mâchefers produits par les grilles sont séparés et font l'objet d'une valorisation en métallurgie.

En conclusion, il n'est pas certain que la technologie des lits fluidisés conduise à une réduction des coûts par rapport à la technologie des fours à grille, en matière de gestion des résidus solides.

3. RENDEMENT ENERGETIQUE

En matière de rendement énergétique, il importe en premier lieu de définir le système.

Pour rendre objective la comparaison entre lit fluidisé et grille, le système doit intégrer l'ensemble de l'installation :

- le groupe four-chaudière, que le four soit à grille ou à lit fluidisé,
- la production d'énergie en sortie d'installation,
- les auxiliaires.

On observe en général que les constructeurs de fours à lit fluidisé se bornent à la comparaison des rendements thermiques des groupes fours-chaudières, et que cette comparaison manque quelquefois d'objectivité.

3.1. RENDEMENT THERMIQUE DU GROUPE FOUR-CHAUDIÈRE

Le rendement thermique (exprimé en pourcentages) est le complément à 100 des quantités de chaleur perdue dans le groupe four-chaudière.

Ces pertes se décomposent en :

- perte par imbrûlés dans les résidus solides,
- perte par chaleur sensible dans les mâchefers,
- perte par chaleur sensible dans les gaz de combustion,
- perte par rayonnement.

La perte par imbrûlés dans les gaz de combustion est supposée négligeable.

3.1.1. Imbrûlés dans les résidus solides

a) Four à grille

La perte comprend les pertes dues aux mâchefers et aux REFIOM. Elle est proportionnelle aux teneurs en imbrûlés respectives des résidus solides.

Ces valeurs peuvent être résumées dans le tableau suivant :

Mâchefers	250 kg/t d'ordures ménagères
Cendres volantes	20 kg/t d'ordures ménagères
Imbrûlés mâchefers	2%
Imbrûlés cendres volantes	3%
Perte par imbrûlés	1,5%

La teneur en imbrûlés de 2% est une valeur couramment obtenue sur des grilles modernes, brûlant des déchets à PCI 2 000 kcal/kg.

b) Four à lit fluidisé

La technologie du lit fluidisé permet d'obtenir une combustion plus complète et des teneurs en imbrûlés plus faibles. Celles-ci figurent dans le tableau suivant :

Cendres sous foyer	130 kg/t d'ordures ménagères
Cendres volantes	130 kg/t d'ordures ménagères
Imbrûlés cendres sous foyer	0,5%
Imbrûlés cendres volantes	1%
Perte par imbrûlés	0,6%

Le lit fluidisé ne permet donc qu'un gain d'un point environ sur le rendement, par rapport au four à grille.

3.1.2. Chaleur sensible dans les résidus solides

La perte par chaleur sensible dépend de la quantité de résidus solides extraits du four et de leur température.

Cette température est sensiblement la même sur les différents procédés. La différence provient essentiellement des quantités à extraire.

Pour les fours à grille, on observe généralement des pertes voisines de 1,2%.

Pour les fours à lits fluidisés, il y a lieu de distinguer les lits denses et les lits rotatifs.

Les lits denses traitent généralement des déchets prétraités dont le taux d'incombustibilité est réduit de 30%.

Les lits rotatifs traitent des déchets moins traités et, de ce fait, nécessitent une extraction de la masse de déchets entrant pour épurer de façon satisfaisant le lit.

On obtient les performances suivantes :

	TAUX D'INERTES (%)	PERTE PAR CHALEUR SENSIBLE DANS LES RESIDUS SOLIDES (%)
Grille	100	1,2
Lit dense	70	0,8
Lit rotatif	100	1,6

Comme dans le calcul précédent, on observe que les performances de la grille sont très voisines de celles des lits denses les plus performants.

3.1.3. Pertes par chaleur sensible dans les gaz de combustion

Cette quantité de chaleur est la perte la plus importante du groupe four-chaudière.

La majeure partie de la chaleur dégagée par la combustion se retrouve dans les gaz de combustion qui sont refroidis par échange dans une chaudière.

La perte de chaleur sensible dépend essentiellement :

- du débit de gaz,
- de la température sortie chaudière.

La température sortie chaudière dépend de différents critères :

- le traitement de fumées,
- le degré de récupération énergétique souhaité par l'exploitant.

Ces critères sont indépendants du procédé (lit fluidisé, grille).

La comparaison qui suit est fondée sur une température gaz sortie chaudière de 200°C.

Cet excès d'air a une nécessité double :

- une nécessité réglementaire qui impose une teneur en oxygène de 6% dans la chambre de combustion,
- une nécessité technique qui impose :
 - de limiter la température des gaz dans la chaudière pour éviter la fusion des cendres,
 - de maintenir une atmosphère oxydante dans la chaudière.

On observe les excès d'air suivants :

- 1,75 pour les groupes fours-chaudières à grille,
- 1,5 pour les groupes fours-chaudières sur lit dense,
- 1,8 à 2 pour les groupes fours chaudières sur lit rotatif dense.

Pour ces derniers, la chaudière étant déportée, un excès d'air plus important est nécessaire pour le refroidissement des gaz.

Pour la température de 200°C précédemment indiquée en sortie chaudière, on obtient des pertes par chaleur sensible dans les gaz voisines des valeurs suivantes :

	EXCES D'AIR (%)	PERTE PAR CHALEUR SENSIBLE DANS LES GAZ DE COMBUSTION (%)
Four à grille	1,75	15,4
Four à lit dense	1,5	14,3
Four à lit rotatif	2	17,3

3.1.4. Perte par rayonnement

Ces pertes sont sensiblement identiques pour les différents procédés. Elle peuvent être estimées à 1%.

3.1.5. Conclusion sur le rendement thermique

Le tableau suivant récapitule les résultats qui précèdent :

	FOUR A GRILLE	LIT FLUIDISE DENSE	LIT FLUIDISE ROTATIF
Pertes par imbrûlés solides	1,5	0,6	0,6
Pertes par chaleur sensible dans les résidus solides	1,2	0,8	1,6
Pertes par rayonnement	1	1	1
Pertes par chaleur sensible dans les gaz de combustion	15,4	14,3	17,3
TOTAL DES PERTES	19,1	16,7	20,5
Rendement	80,9	83,3	79,5

On observe donc que le lit fluidisé le plus performant permet un gain de rendement d'environ 2,4 points.

3.2. PRODUCTION D'ENERGIE

Au delà du rendement thermique du système four-chaudière, il faut compléter la comparaison par l'examen de la production nette d'énergie.

Les caractéristiques vapeur des unités traitant des déchets par un procédé de combustion (donc produisant des gaz chargés en HCl et SO₂) sont limitées par les risques de corrosion des tubes de la chaudière. Cette limitation conduit à des choix de cycles thermodynamiques quasi identiques quels que soient les procédés (pression 40 à 45 bar, température de surchauffe 360 à 380°C).

Le rendement thermodynamique des groupes turboalternateurs est, de ce fait, le même pour tous les procédés, la technologie du groupe turboalternateur étant indépendante de celle des fours-chaudières.

Par contre, la consommation électrique spécifique des auxiliaires d'une unité à lit fluidisé est supérieure d'environ 50 à 60 kWh/t à celle des unités à grille (consommation des broyeurs et équipements de la ligne de préparation, puissance supérieure des ventilateurs due à la perte de charge des lits fluidisés, auxiliaires supplémentaires liés aux procédés).

De ce fait, la comparaison des rendements nets est la suivante (exemple pour des ordures ménagères au PCI 2 000 kcal/kg, température des fumées 200°C en sortie chaudière) :

CARACTERISTIQUES (par tonne d'ordures ménagères)	GRILLE	LIT FLUIDISE DENSE	LIT FLUIDISE ROTATIF
Puissance thermique disponible du combustible	2,32 MW	2,32 MW	2,32 MW
Rendement thermique	80,9%	83,3%	79.5%
Rendement turbine	30%	30%	30%
Production électrique brute	563 kWe	580 kWe	553 kWe
Consommations auxiliaires	90 kWe	140 kWe	150 kWe
Production électrique nette	473 kWe	440 kWe	403 kWe
Rendement net	20,3%	19%	17.3%

On observe que l'incinération sur grille présente des performances égales ou légèrement supérieures à celles de l'incinération en lit fluidisé.

Les avantages apportés par certaines technologies de lits fluidisés ne compensent pas en totalité les consommations des auxiliaires.

4. EMISSIONS GAZEUSES

La comparaison entre les différentes technologies d'incinération doit porter sur :

- la quantité de gaz,
- la nature des polluants.

Ces paramètres ont une incidence sur :

- le dimensionnement des équipements,
- la nature des équipements

4.1. QUANTITE DE GAZ A TRAITER

Cette quantité dépend essentiellement de l'excès d'air, le pouvoir comburant étant très voisin dans les différents cas.

Il a été vu précédemment, dans les considérations concernant la perte par chaleur sensible dans les gaz de combustion, que les excès d'air étaient voisins pour les différentes technologies, voire supérieurs pour certains lits fluidisés.

Le critère relatif à la quantité de gaz à traiter n'est donc pas déterminant.

4.2. NATURE DES POLLUANTS

Les principaux polluants émis par l'incinération sont les suivants :

- poussières et métaux lourds,
- HCl,
- SO₂,
- NO_x,
- Dioxines et furanes.

4.2.1. Poussières et métaux lourds

Les équipements de dépoussiérage présentent des performances très élevées. Le problème posé par ce polluant est essentiellement celui posé par le devenir et la quantité des résidus solides produits par le dépoussiérage, ces résidus solides étant notablement chargés en métaux lourds.

Cette question a été évoquée précédemment dans le paragraphe concernant les résidus solides.

L'incertitude pesant sur le devenir de ces résidus ne permet pas d'affirmer que les lits fluidisés sont avantagés par rapport aux grilles, à ce sujet.

En revanche, la forte production de cendres volantes par les lits fluidisés est une contrainte économique à l'investissement, qui ne doit pas être négligée.

4.2.2. HCl

Les procédés sont équivalents, le mode de combustion ne pouvant intervenir sur ce polluant.

Seules des différences de concentration de HCl pourraient éventuellement entraîner des contraintes différentes pour la chaudière.

Ces différences de concentration sont trop faibles pour avoir une influence déterminante sur la corrosion, par rapport à l'ensemble des paramètres à prendre en compte pour expliquer ce phénomène.

4.2.3. SO₂

Réglementairement, à ce jour, les émissions en SO₂ ne sont pas une contrainte pour l'incinération, car les procédés classiques utilisés pour le traitement de HCl permettent d'être en dessous du seuil maximal autorisé.

En cas de durcissement de la réglementation, il est certain que les fours à lit fluidisé nécessiteront des installations de désulfuration moins poussées que les fours à grille du fait de l'autodésulfuration qui se produit au niveau de la combustion par le contact intime entre gaz et chaux contenus dans le combustible.

L'avantage déterminant, qu'aurait pu être pour les lits fluidisés l'injection directe de chaux dans le foyer, disparaît du fait de la réglementation qui imposerait alors de traiter toutes les cendres volantes comme des REFIOM, avec un exutoire en classe I.

4.2.4. NO_x

Les conditions de combustion :

- inertie thermique,
- température,

sont un avantage indiscutable pour la technologie en lit fluidisé qui, a priori, devrait moins générer d'oxyde d'azote.

Les émissions des fours à grille se situent entre 300 et 400 mg/Nm³, les performances attendues des fours à lit fluidisé se situant autour de 200 mg/Nm³.

Suivant l'objectif de rejets, deux cas se présentent :

- le seuil maximal imposé est de l'ordre de 200 mg/Nm³ :
 - les fours à lit fluidisé ne nécessiteraient pas d'installation de NO_x,
 - un système SNCR devra être mis en place pour la combustion dans les fours à grille.
- le seuil maximal autorisé est largement inférieur à 200 mg/Nm³ :
 - pour les deux technologies, un traitement SCR sera nécessaire.

4.2.5. Dioxines et furanes

Les teneurs à l'émission des fours à grille moderne sont de l'ordre de 2 à 5 ng/Nm³.

Les constructeurs de fours à lit fluidisé annoncent des teneurs de l'ordre de 1 à 2 ng/Nm³.

Ces dernières teneurs demanderaient à être vérifiées car le problème essentiel des émissions de PCDD et PCDF est celui de la reformation de ces polluants dans les zones froides de la chaudière et, à ce niveau, rien ne distingue les deux technologies, d'autant plus que ce phénomène pourrait être favorisé par la présence importante de cendres volantes dans les gaz produits par la combustion en lit fluidisé.

Quoi qu'il en soit, aucune technologie n'est en mesure de satisfaire le seuil de 0,1 ng/Nm³ qui est le seuil fixé par la réglementation.

Les deux technologies sont donc sur ce plan équivalentes.

4.2.6. Conclusion sur les émissions gazeuses

Les lits fluidisés présentent par rapport aux fours à grille un avantage en ce qui concerne SO₂ et NO_x, cet avantage restant cependant dépendant de l'évolution de la réglementation.

5. FLEXIBILITE DU COMBUSTIBLE

Les grilles de combustion moderne peuvent accepter, si leur dimensionnement est prévu à cet effet, des déchets à PCI très variables dans une plage allant de 1 400 à 3 000 kcal/kg, voire à 4 000 kcal/kg en cas de grille refroidie à l'eau.

Les grilles sont cependant sensibles aux variations brutales de combustible et il importe que ces variations soient tempérées par le travail du pontier qui, avant de charger le four, devra homogénéiser par mélange les déchets dans la fosse de réception.

Moyennant ces précautions, une installation bien conçue peut accepter des déchets à PCI variables et les grilles sont adaptées pour traiter en mélange avec les déchets ménagers :

- des déchets hospitaliers,
- des DIB,
- des boues de station d'épuration (en fonction de leur siccité).

L'incinération peut, de plus être réalisés sans traitement préalable.

La combustion en lit fluidisé est moins sensible aux variations de PCI du combustible, du fait que ce dernier ne représente qu'un faible pourcentage des solides impliqués dans le transfert de chaleur de la combustion.

La plage de PCI permise par les lits fluidisés est donc plus large et peut varier de 1 200 à 5 000 kcal/kg. Ceci suppose cependant que le dimensionnement ait pris en compte cette plage de variations et que celles-ci puissent être détectées pour que les réglages de la combustion soient adaptés, de façon à éviter les phénomènes de collage et d'agglomération quelquefois constatés dans les lits fluidisés.

Cet avantage des lits fluidisés est très net en ce qui concerne le traitement des boues de station d'épuration, qui peuvent être introduites sous forme brut dans le lit, en principe sans limitation de quantité ni de teneur en humidité.

Cet avantage est moins marqué en ce qui concerne les DIB et les déchets hospitaliers car les lits fluidisés sont alors pénalisés par les traitements préalables qui peuvent s'avérer coûteux pour les DIB et délicats pour les déchets hospitaliers.

6. CONCLUSION

Ce qui précède tend à montrer que les avantages de la combustion en lit fluidisé par rapport à la combustion sur grille ne sont pas aussi nets que ce que certains constructeurs prétendent.

En d'autres termes, la technologie de combustion en lit fluidisé ne doit pas être présentée comme un procédé « miracle » effaçant, à un coût attractif, les inconvénients de l'incinération sur grille.

Inversement, ce qui précède ne doit pas être considéré comme une argumentation contre la technologie en lit fluidisé.

Cette technologie peut potentiellement présenter, en effet, une alternative intéressante à l'incinération sur grille. Elle doit cependant « faire ses preuves » industriellement et ceci pendant une période de fonctionnement significative afin d'obtenir des retours d'expériences solides.

Il ne faut en effet pas oublier que le traitement de déchets est en mutation permanente du fait :

- des actions menées par les industriels qui fabriquent les produits destinés à devenir déchets,
- des actions menées en amont du traitement (notamment les collectes sélectives),
- de la réglementation.

ANALYSE DES PLANS STRATEGIQUES DES INTERCOMMUNALES
ET DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES
ET DES DIB DE LA REGION WALLONNE

ANNEXE 3 AU CHAPITRE 2

**FICHES DESCRIPTIVES DE PROCEDES D'INCINERATION
EN FOURS A LIT FLUIDISE**

Fiche descriptive n°1 : Usine du SIVOM à Mulhouse

Introduction

Le SIVOM de Mulhouse regroupe 36 communes du Haut-Rhin et représente une population de l'ordre de 200.000 habitants ; ses compétences sont notamment le traitement des eaux et la gestion des réseaux d'assainissement, le traitement et la collecte sélective des déchets.

Après adoption en 1990 d'un plan de maîtrise globale des déchets visant la valorisation matière par le tri et la valorisation énergétique par l'incinération, le SIVOM a lancé une consultation mettant en concurrence divers procédés d'incinération et de traitement des fumées.

A l'issue de cette consultation, un projet centré sur deux fours à lit fluidisé rotatif (LFR), avec injection directe des boues de STEP et traitement des fumées par voie humide a été attribué en 1996 au groupement des sociétés SERETE, ABT France (licencié du procédé EBARA) et SOGEA ; les arguments principaux en faveur de ce projet étaient les suivants :

- ratio boues STEP/résidus urbains supérieur à 10%
- possibilité d'incinérer toutes les boues dans un seul four
- obtention de mâchefers et de scories directement valorisables (classe V)
- large gamme de déchets acceptables
- qualité des rejets gazeux anticipant la norme européenne (2000)

Ce projet a donné lieu à un ordre de début des travaux en février 1997 et devait aboutir à sa réception provisoire début 2000.

En fait, suite à divers aléas contractuels (notamment la disparition d'ABT France...) et techniques (exposés ci-après), l'usine est seulement en phase de mise en service à l'heure actuelle et devrait passer en marche industrielle continue en mai 2001.

L'usine est conçue et dimensionnée pour traiter annuellement 135.000 tonnes de résidus urbains (70% déchets ménagers, 30% déchets encombrants ménagers non valorisables et déchets industriels banals non valorisables, 600 t/an déchets hospitaliers) et 13.000 tonnes de MS de boues de STEP à 30% de siccité.

Conception générale de l'usine

La préparation des déchets consistait initialement dans un broyage par cisailles rotatives (réduction à 300 mm) avant alimentation des fours par vis de transport, sauf pour les déchets hospitaliers et les boues de STEP qui sont alimentés de façon directe par pompes à pistons sans préparation préalable.

Fours

Chacun des deux fours (de capacité nominale 10,5 t/h à PCI 2300 kcal/kg) est constitué par une chambre de section rectangulaire (7m*3,3 m) de 15 m de haut équipé d'une sole à double pente munie de buses d'injection (1000) d'air primaire mettant en fluidisation 50 tonnes de sable.

Les vitesses d'injection d'air primaire sont faibles en zone centrale et plus élevées en zones périphériques de façon à créer deux mouvements rotatifs opposés convergeant vers la zone centrale (brassage intensif et température homogène dans le lit de 650 à 750°C).

Quatre brûleurs de démarrage / maintien en température sont installés.

La chambre de combustion comporte une zone étranglée à environ 1,50 m au-dessus de la sole pour éviter l'expansion du lit et limiter l'entraînement de particules, elle comprend ensuite une zone de post-combustion à 900°C avec injection d'air secondaire.

L'injection des résidus est effectuée au-dessus du lit de sable de façon à entrer instantanément en contact avec le sable.

Les combustibles lourds sont extraits par goulottes latérales de part et d'autre de la sole, refroidis par échange indirect dans des vis refroidies à l'eau et déferrailés.

Les combustibles légers emportés avec les fumées sont captés dans la chaudière et dans un cyclone précédent le traitement des fumées.

Le sable contenu dans les combustibles lourds est séparé par tamis vibrants inclinés avant réinjection dans le four.

Chaudière et valorisation énergétique

Chaque four est suivi d'une chaudière verticale ALSTOM à trois parcours délivrant de la vapeur surchauffée à 38 bars et 360°C alimentant un groupe turbo-alternateur à condensation de 11 MW.

Traitement des fumées (LAB)

Le traitement comprend par ligne deux cyclones de prédépoussiérage, un électrofiltre à deux champs, deux tours de lavage (addition de chaux pour la tour acide, de soude pour la tour basique) une injection de charbon actif et un groupe de modules électrofiltrants.

Performances garanties

Les performances garanties par le groupement constructeur sont principalement les suivantes :

- Capacité nominale : 2 * 10,5 t/h de résidus à PCI 2300 kcal/kg, soit 135.000 t/an de résidus urbains et environ 44.000 t/an de boues de STEP à 30% de MS
- Diagramme de capacité avec 28,08 MW de puissance thermique, PCI des résidus compris entre 1300 et 3000 kcal/kg et tonnage (résidus + boues) compris entre 4 et 14 t/h
- Rendements : Four-chaudière 73% et Groupe turbo 26%, soit un rendement global d'environ 20% brut
- Production électrique : 74.000 MWh/an bruts et 52.000 MWh/an nets
- Rejets gazeux : respectant la nouvelle directive européenne sur l'incinération des déchets (2000)
- Consommations : v. feuille jointe
- Bilan masse : v. feuille jointe

Il faut noter que l'usine n'étant pas encore réceptionnée la validation de ces performances reste à faire.

Observations

A l'occasion de la visite effectuée le 10 avril 2001, il a été fait mention des difficultés de mise au point suivantes pour l'ensemble de l'installation.

Préparation des déchets

L'alimentation des 2 cisailles (chargée chacune par un grappin de 9 m³ !) a du être revue :

- mise en place d'un pré-tri dans une installation distincte recevant les DIB et les encombrants ménagers : séparation des ferrailles et premier broyage à 500 mm,
- modification des cisailles par l'interposition de tabliers d'alimentation

Le chargement par trémie des vis d'alimentation (diam. 400 mm) des fours a également été modifié (problème de voûtage) : des tabliers d'alimentation et des contrôles de niveau ont été interposés.

Nonobstant ces améliorations, des bourrages des vis d'alimentation se produisent encore suite à la présence de ferreux résiduels (fils métalliques notamment) et induisent des interruptions préventives régulières.

Fours

Il est à noter que l'inertie thermique de la masse de sable n'est pas suffisante pour interrompre l'alimentation du four pendant plus de deux heures sans intervention des brûleurs d'appoint.

L'enveloppe du four est constituée par une paroi métallique externe, une isolation et des panneaux intérieurs en béton réfractaire : il a été décidé de vérifier les joints des panneaux chaque fois que la température est ramenée en-dessous de 200°C (suite à de premières dégradations intervenues en partie basse du four).

La présence de ferreux résiduels dans les combustibles constitue un risque de blocage des vis d'extraction (une intervention de débouillage impliquant le vidage des 50 tonnes de sable !).

Il est également à noter que le sable se charge en Chrome VI (fixé sur les éléments les plus fins) : un dispositif de lavage du sable est actuellement étudié pour éviter que les combustibles emportés dans les fumées et captés dans les cyclones de produisent des scories non valorisables.

Chaudières

Une perforation des surchauffeurs a été observée après quelques mois (érosion).

Aspects économiques

L'investissement initial est de 380 MFF (HT), lequel devrait être majoré d'environ 150 MFF pris en charge par les constructeurs pour les adaptations apportées et la période de mise au point et d'essais (1,5 an).

Il est donc raisonnable de tabler sur un investissement réel de 530 MFF ou de 25 MFF par tonne/heure installée (environ 150 MBEF).

Les coûts d'exploitation sont inconnus et devront être validés par l'exploitant (SIDEM : filiale de Bouygues) après réception de l'usine., compte tenu des performances contrôlées de l'usine (bilans thermique et massique, consommations...) et des besoins réels en personnel d'exploitation.

Fiche descriptive n°2 : Comparaison procédés FLF

Voir Pages Suivantes

ANALYSE DES PLANS STRATEGIQUES DES INTERCOMMUNALES
ET DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES
ET DES DIB DE LA REGION WALLONNE

ANNEXE 4 AU CHAPITRE 2

**LES SOUS PRODUITS DE L'INCINERATION EN LITS
FLUIDISES : SITUATION EN FRANCE**

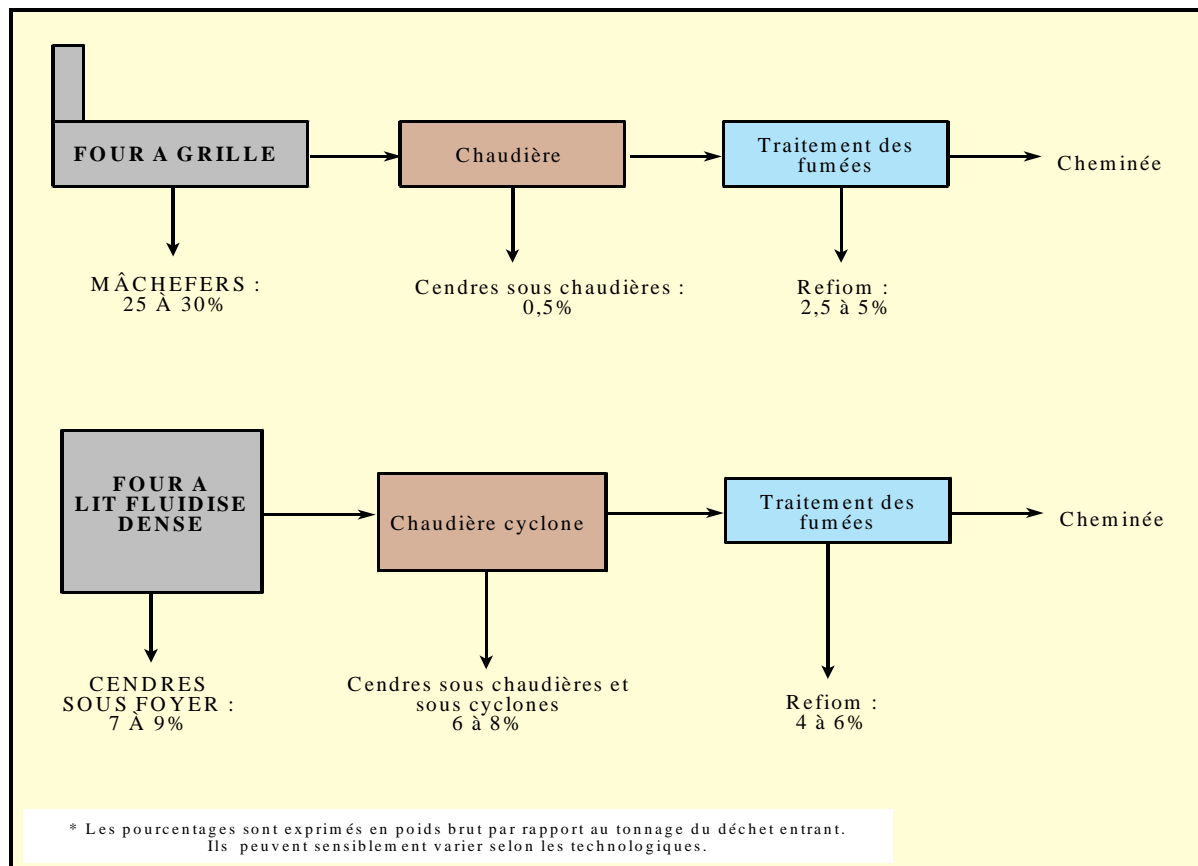
LES SOUS PRODUITS DES FOURS A LITS FLUIDISES

Lors de l'incinération en four à lit fluidisé, les sous produits sont obtenus à divers niveaux, dans des proportions variables selon les techniques employées.

Ces sous produits sont :

- Les cendres sous foyer, obtenues en base de four,
- Les cendres sous chaudière,
- Les cendres de pré-dépoussiérage obtenues à la base d'un cyclone,
- Les cendres de dépoussiérage, issues d'un électrofiltre ou d'un filtre à manches,
- Les résidus d'épuration des fumées, issus du traitement des gaz par lavage ou neutralisation.

Alors que lors de l'incinération en four à grille, ce sont les mâchefers (produits obtenus en base de four) qui constituent la majeure partie des résidus, il n'en est pas de même pour l'incinération en four à lit fluidisé où le taux d'envol est très supérieur. La figure 4 présente à titre indicatif la quantité de chaque catégorie de résidus récupérés en four à grille et en lit fluidisé dense.

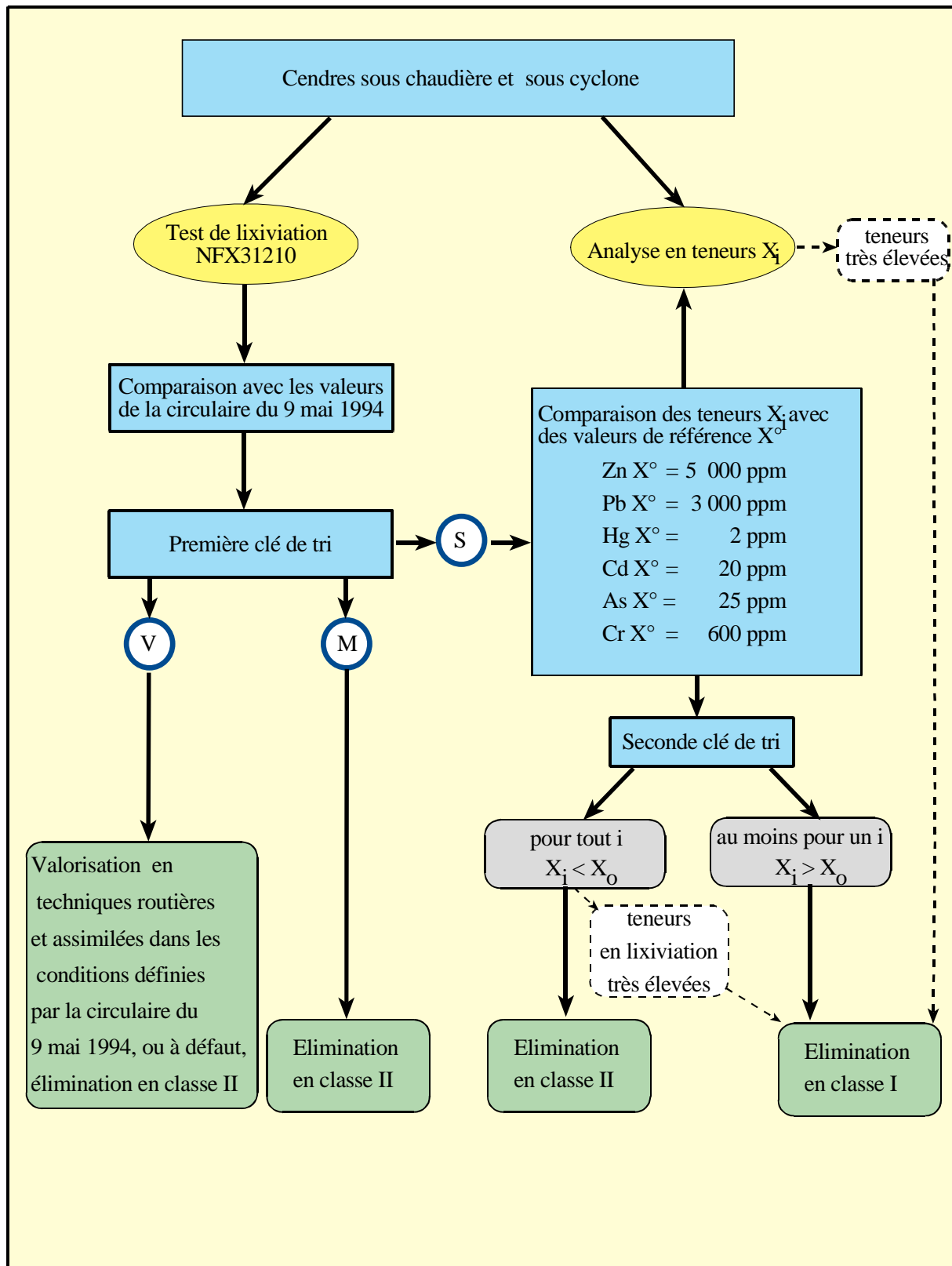


Présentation des quantités de résidus récupérés en four à grilles et en lit fluidisé dense

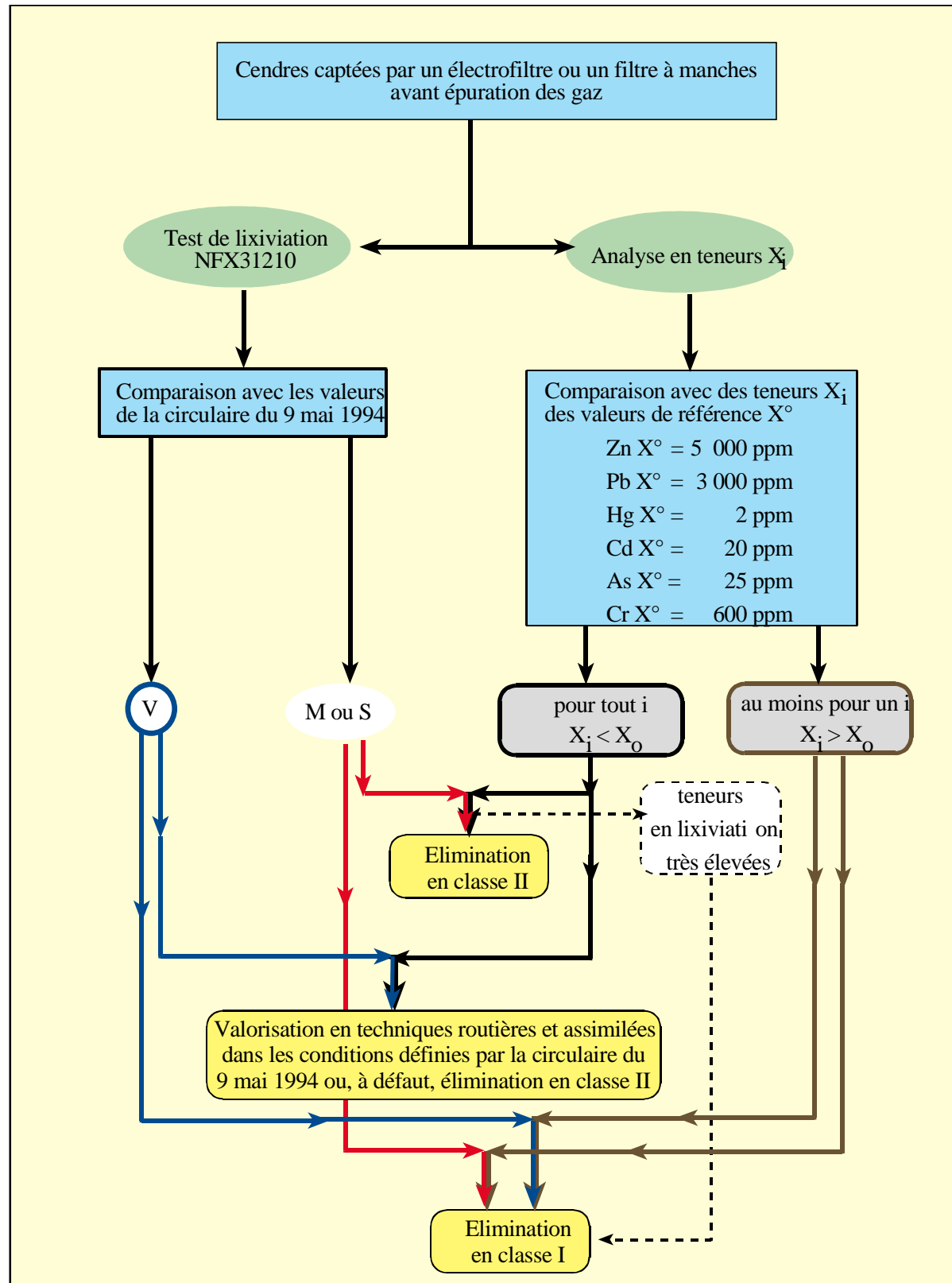
Afin de ne pas bloquer le développement des fours à lit fluidisé pour l'incinération des déchets ménagers, le Ministère de l'Environnement français avait rédigé une circulaire daté du 10 janvier 1996, précisant, à titre provisoire, les règles de classification et d'élimination des résidus de déchets ménagers et assimilés en four à lit fluidisé. Cette circulaire reste aujourd'hui uniquement indicative et non réglementaire suite à un recours formulé par certains professionnels.

Le schéma défini par cette circulaire était le suivant :

- Les cendres sous foyer sont considérées comme des mâchefers. A ce titre, leur élimination est réglementée par les prescriptions définies dans la circulaire du 9 mai 1994 relative à l'élimination des mâchefers d'incinération de résidus urbains.
- Les résidus issus de traitement des gaz par lavage, injection de réactif ou tout autre moyen équivalent, sont considérés comme des résidus d'épuration des fumées d'incinération ménagères. Ils doivent donc être stockés dans les conditions définies par les arrêtés du 18 décembre 1992 modifiés.
- Les cendres sous chaudière et les cendres sous cyclone sont analysées séparément et sur résidus bruts n'ayant pas subi de prétraitement. Leur classification et élimination doivent être étudiées selon la procédure présentée sur la **Erreur! Source du renvoi introuvable.**
- Les cendres captées par un électrofiltre ou un filtre à manches, avant traitement des gaz par lavage, injection de réactif ou tout autre moyen équivalent sont analysées, sur résidus bruts n'ayant pas subi de prétraitement. Leur classification et élimination doivent être étudiées selon la procédure présentée sur la **Erreur! Source du renvoi introuvable.**



Procédure de classification et d'élimination des cendres sous chaudière et sous cyclones



Procédure de classification et d'élimination des cendres captées par dépoussiérage avant épuration des gaz

Ce texte n'étant aujourd'hui plus opérationnel, il en résulte que la gestion des résidus de lit fluidisé (valorisation, traitement ...) doit être appréhendée avec attention notamment pour les fractions : cendres sous chaudière et cendres de pré-dépoussièrage. Selon leur devenir, les répercussions économiques sur un projet peuvent être particulièrement pénalisantes.

A ce titre, le suivi des premières installations devra à ce sujet permettre d'avoir des données plus précises concernant la répartition entre les sous produits et leur composition afin de déterminer avec certitude leur mode de valorisation ou d'élimination et ainsi définir un contexte réglementaire applicable.

Cependant selon certains tests et analyses effectués sur différents résidus issus de fours à lit fluidisé dense, on peut obtenir certaines informations provisoires permettant d'entrevoir une valorisation poussée des différentes fractions.

- **Concernant les cendres sous foyer**

Elles sont récupérées à l'état sec avec une teneur en imbrûlés de l'ordre de 0,5% à 1%. Leur granulométrie ainsi que leur composition chimique les assimilent à des sables exempts de particules fines solubles riches en métaux lourds.

Leurs caractéristiques physico-chimiques permettent, selon la réglementation en cours, leur valorisation en technique routière ou assimilée.

Leur granulométrie généralement bimodale (autour de 300 µm correspondant aux cendres produites par la combustion et autour de 800 µm-1 mm correspondant à la granulométrie du sable utilisé) permet de les utiliser en remplacement des graves routières avec des possibilités de meilleures caractéristiques de compaction et de portance du fait de l'absence d'eau. La préparation du combustible en amont de la combustion s'avère particulièrement intéressante vis à vis de la qualité de ces résidus et peut permettre de limiter le traitement avant valorisation (criblage, maturation).

- **Concernant les cendres sous chaudières et sous cyclones**

Elles répondent généralement aux critères de valorisation en technique routière ou assimilées selon la circulaire du 10 janvier 1996.

Les cendres sous chaudières et sous cyclones ont une granulométrie fine dans la gamme de 100 à 400 µm. Leur teneur en métaux lourds ne présente pas de problème particulier, contrairement à certaines mâchefers de four à grille (par leur teneur en plomb). Leur composition élémentaire ne semble pas présenter de composés à des concentrations suffisamment élevées pour prétendre à des recommandations spécifiques, de même que pour les teneurs lixiviées, si ce n'est une fraction soluble qui peut être élevée.

Les perspectives de valorisation en technique routière ou assimilée en remplacement des granulats apparaissent techniquement intéressantes. Des premiers tests montrent que l'utilisation des cendres sous cyclones comme remblai est techniquement possible, éventuellement en mélange avec un correcteur granulométrique afin d'augmenter la stabilité mécanique.

Des utilisations plus nobles, en couche de fondation ou de base pourraient s'avérer envisageables. Dans ce cas, l'utilisation d'un liant pourrait être nécessaire afin de pallier leur déficience en présence d'eau.

Cependant, une démarche complète doit être effectuée afin d'arriver à la maîtrise de la filière de valorisation. Cette démarche doit être basée sur :

- une caractérisation précise du produit;
- une pré étude menée sur un échantillon;
- la mise au point d'une technique basée sur les aspects géotechniques et environnementaux du produit;
- la mise en place d'une démarche qualité afin d'assurer la conformité du produit livré;
- des phases d'expérimentation à l'échelle de chantier regroupant les producteurs de résidus, le Ministère de l'environnement et ses services, les maîtres d'œuvre, le réseau technique de l'équipement et des scientifiques;
- une prise en compte du surcoût correspondant aux charges liées à l'utilisation des résidus d'incinération face aux prix des matériaux naturels (granulats) qui ne tient pas compte des effets néfastes sur l'environnement lors de leur extraction;
- une évolution des mentalités de la part des pouvoirs publics afin d'inciter l'utilisation de ces matériaux autrement qu'à l'échelle pilote de chantiers expérimentaux.

Aujourd'hui comme pour les mâchefers d'incinération en four à grille, ce nécessaire volontarisme se heurte à une méconnaissance du potentiel de ces résidus. Les seuls chantiers pilotes ne peuvent impulser le développement d'une technique. Une action de plus grande envergure est souhaitable, basée notamment sur des chantiers qui ne soient pas simplement expérimentaux, mais aussi de démonstration et de support à l'information. Cet aspect pédagogique pourrait évincer les réactions de défiance chez des prescripteurs ou des riverains.

- **Concernant les cendres de dépoussiérage issues d'un électrofiltre ou d'un filtre à manches**

L'étape de préparation du combustible permet le tri en amont des fractions potentiellement polluantes ce qui confère à ces résidus une diminution de certains éléments métalliques polluants. Cependant, selon le contexte réglementaire actuel, leur valorisation s'avère délicate du fait de la teneur en certains métaux (Pb, Cd et Zn).

L'enjeu se situe plutôt entre élimination en centre d'enfouissement de classe II ou I.

Des informations complémentaires s'avèrent donc nécessaires afin de juger de l'enjeu de récupérer et séparer cette fraction avant le traitement des fumées d'incinération (production de REFIOM).

Tableau 1 :

NORMES du Ministère de l'agriculture

Eléments	Unités	Valeurs
Matières sèches	% de M.B.	55
Matières organiques	% de M.B.	16
pH	-	6,3 - 8,5
NO ₃ /NH ₄	-	1
NH ₄	mg / l	-
NO ₃	mg / l	-
Ntotal	% de M.B.	-
P ₂ O ₅	% de M.B.	-
K ₂ O	% de M.B.	-
CaO	% de M.B.	-
MgO	% de M.B.	-
graine germinative	graine / l	absence
Pierre > 5 mm	% de M.B.	< 2 %
Impureté > 2 mm	% de M.B.	< 0,5 %
Phytoxocité (1)	graines sans développ. / graines tot.	< 10 %
Finesse maille 40 mm	% de M.B.	100%
Cadmium	mg / kg de M.S.	< 1,5
Chrome	mg / kg de M.S.	< 70
Cuivre	mg / kg de M.S.	< 90
Mercure	mg / kg de M.S.	< 1
Nickel	mg / kg de M.S.	< 20
Plomb	mg / kg de M.S.	< 120
Zinc	mg / kg de M.S.	< 300

Tout compost commercialisé en Belgique dans le secteur agricole au sens large (grande culture, horticulture, maraîcher, espace vert) doit respecter cette réglementation.

Tableau 1bis :

Synthèse pour les compost GFT, Humotex (digestat DRANCO) et compost de verdure
Compositions moyennes sur base des résultats de 580 analyses de VLACO

Eléments	Unités	GFT compost	Humotex	compost de verdure
Matières sèches	% de M.B.	67,2	57,2	59,6
Matières organiques	% de M.B.	24	22,3	20
pH	-	8,5	8,1	8,1
Ntotal	% de M.B.	1,2	0,76	0,75
P ₂ O ₅	% de M.B.	0,59	0,49	0,3
K ₂ O total	% de M.B.	0,86	0,37	0,55
CaO total	% de M.B.	2,14	1,99	1,43
MgO total	% de M.B.	0,35	0,27	0,25
rapport C/N		11	15,3	15
graine germinative	graine / l	absence		absence
Cadmium	mg / kg de M.S.	0,74	0,96	0,8
Chrome	mg / kg de M.S.	20	19	15
Cuivre	mg / kg de M.S.	46	31	33
Mercuré	mg / kg de M.S.	0,16	0,15	0,14
Nickel	mg / kg de M.S.	12	11	8
Plomb	mg / kg de M.S.	70	97	54
Zinc	mg / kg de M.S.	238	194	178

FICHE PROCÉDE N° 1 : COMPOSTAGE EN HALL FERME - ANDAINS TABULAIRES AVEC RETOURNEMENT ET AÉRATION FORCÉE
--

1. TYPE DE PROCÉDE : SEMI-DYNAMIQUE

Il existe sur le marché de nombreuses sociétés proposant des équipements pour ce même procédé. La présente fiche présente en détail le procédé VAM et explique les différences principales des autres constructeurs similaires présents sur le marché : BÜHLER, KOCH, LINDE.

2. PRINCIPE :

La fermentation s'opère dans un hall fermé entièrement étanche (maintenu en légère dépression), séparé des installations de pré-traitement et d'affinage. La matière y est retournée et aérée de manière entièrement automatisée (à cause de l'atmosphère agressive du hall).

De même, la mise en andains est réalisée automatiquement à l'aide de bandes transporteuses dans une première section du hall sur toute la longueur. Celui-ci comporte au total 5 sections.

Le retournement s'opère à l'aide d'un pont roulant se déplaçant sur des rails transversaux et supportant une grande roue à godets qui retourne (sur toute la longueur), allège et homogénéise le tas de matières en décomposition. L'opération a lieu chaque semaine et progresse de la dernière section (c'est l'opération de vidage automatique) jusqu'à la première.

3. DUREES DE LA FERMENTATION ET DE LA MATURATION :

Après un séjour de 5 à 6 semaines en fermentation intensive sous hall fermé, les micro-organismes sont en mesure de transformer le déchets fermentescibles en compost frais.

La phase de maturation (sur la fraction 0-20 mm uniquement) varie entre 4 à 6 mois et s'opère en plein air.

4. MODE D'AÉRATION :

L'aération consiste en un soufflage via un sol en béton perforé. Le passage de l'air à travers la matière est amélioré par une épaisseur de graviers disposée au dessus du sol ; la matière repose par conséquent sur des graviers.

Sous le plancher béton, une cave permet le passage de l'air pulsé par des ventilateurs aspirant l'air frais depuis le hall de pré-traitement ; celle-ci recueille également les percolats et communique avec une citerne de stockage.

L'air vicié du hall est aspiré. Une partie est mélangée à de l'air frais extérieur pour être recyclée dans le hall tandis que l'autre partie est traitée dans un biofiltre.

5. PARAMETRE DE CONTROLES ET DE REGULATION

Le système de suivi et de contrôle veille à ce qu'il y ait suffisamment d'oxygène et d'humidité et à ce que règne une température optimale dans la matière $\pm 55^{\circ}\text{C}$.

Les mesures de taux d'humidité et de la température de la biomasse sont faites en permanence lors du retournement des meules et sont envoyées dans un logiciel qui commande l'adduction d'eau automatique. Ce dispositif est couplé au système de ventilation des meules.

6. OPERATIONS DE PRE-TRAITEMENT ET POST-TRAITEMENT

Avant d'être introduite dans le hall, la matière est tamisée dans un trommel à mailles rondes de 150 mm et épurée en métaux à l'aide d'un séparateur ferreux.

Au terme du séjour dans le hall de fermentation, la matière compostée est tamisée dans un trommel à mailles doubles (20 et 40 mm) pour éliminer les petites particules résiduelles non décomposées et les autres éléments étrangers.

La fraction intermédiaire 20-40 mm est épurée en pierres et plastiques puis renvoyée en début de chaîne tandis que la fraction résiduelle (> 40 mm) est :

- soit envoyée en décharge,
- soit broyée, épurée en pierres et plastiques et renvoyée en début de chaîne comme structurant.

7. REJETS

7.1.....Odeurs :

Le contrôle des nuisances olfactives est satisfaisant de part la légère mise en dépression du hall, un captage de l'air nauséabond et une désodorisation dans un biofiltre. Les substances odorantes contenues dans l'air vicié peuvent être dégradée de manière biologique par des organismes colonisant un support solide. Par un phénomène d'adsorption, les molécules malodorantes se fixent sur le film d'eau entourant les supports du biofiltre.

Etant donné la grande quantité de matière traitée et le volume du hall, la superficie du biofiltre atteint les 1.080 m^2 (1,2 mètres de hauteur) et est constitué d'écorces et de broyats de souches. L'air soufflé est distribué de manière uniforme à travers un plancher d'aération (dalle en béton perforée) et traverse la couche de substrats du biofiltre de bas en haut.

Pour assurer les conditions d'humidité requises, le biofiltre est régulièrement arrosé. Un entretien régulier est également nécessaire : nettoyer les conduits d'aération exposés à des vapeurs très

corrosives, renouveler le substrat en partie décomposé, décolmater les conduits, parer au tassement du substrat.

7.2 Jus :

L'évacuation de l'eau de percolation de la biomasse et des condensats le long des murs du hall s'effectue par le plancher en béton recouvert de graviers. Le jus et les condensats sont réutilisés pour humidifier les meules en fermentation.

8. HYGIENE ET SECURITE

Le produit final respecte les normes VLACO.

Le personnel n'est jamais en contact avec la matière, de même avec l'atmosphère agressive du hall durant le processus de fermentation. Des consignes strictes doivent être respectées. Le hall doit être nettoyé toutes les 6 à 8 semaines.

9. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

(+)

- Optimisation de la fermentation en combinant l'aération forcée et les retournement réguliers tout en minimisant les problèmes d'odeurs ,
- Traitement indépendant des conditions météorologiques,
- Automatisation : conditions de travail optimales et économie de main d'œuvre,
- Contrôle automatisé : surveillance en continu,
- Adapté pour des capacités de l'ordre de 50.000 tonnes.

(-)

- Absence de modularité par rapport aux quantités entrantes : difficultés durant les périodes de forte production car le procédé de retournement oblige à un retournement simultané de toutes les sections, d'où une réduction de la période de fermentation si la quantité de matière à traiter est élevée.
- Technicité sophistiquée nécessitant une maintenance élevée,
- Paralysie de toute l'installation en cas de panne du retourneur,
- Utilisation de matériaux et équipements résistant à l'atmosphère agressive du hall de fermentation,
- Investissement élevé,
- Volume d'air à traiter élevé car lié au volume du hall conditionné par la hauteur du retourneur.

10. PROCÉDES SIMILAIRES SUR LE MARCHÉ

10.1 BÜHLER

Dans le concept BÜHLER, on retrouve un hall fermé dont le sol, constitué d'un ensemble d'éléments préfabriqués en béton, est pourvu d'ouvertures permettant le passage de l'air d'aération de bas en haut. Un pont roulant se déplaçant sur toute la longueur du hall supporte l'élément principal (machine assurant le retournement automatique de la matière) appelé ici « Wendelin ».

Après une semaine de fermentation, on procède au retournement à la roue Wendelin : la matière prélevée dans des godets est déposée sur une bande transporteuse qui place le produit à l'endroit spécifique pour la semaine 2 ; un arrosage de la matière est éventuellement réalisée. La matière séjourne au total 8 semaines dans le hall avant d'être conduite à l'affinage.

La méthode se distingue également dans le pré et post-traitement des déchets . A leur arrivée, ceux-ci sont en général fragmentés puis passés au tamis de 100 mm avant d'être mélangés à du matériel de structure. La durée de compostage oscille entre 6 et 10 semaines.

A l'affinage, le compost est passé dans un trommel à double maille : 10 et 40 mm. La fraction < 10 mm, qui sera stockée pour une période de maximum 3 mois, passe sur une table densimétrique, où les parties lourdes (pierres et verres) sont séparées.

La fraction comprise entre 10 et 40 mm, principalement constituée de morceaux ligneux est réutilisée en tant que matériel de structure pour le pré-traitement. La fraction > 40 mm constitue le refus, qui sera mis en décharge.

L'usine de l'Intercommunale ILVA à Gramont mise en service en 1995 pratique le compostage en hall fermé selon la conception BULHER. En 1998, l'installation a traité près de 44.000 tonnes de LFJ pour une capacité nominale de 40.000 tonnes . Le bilan masse suivant a été obtenu :

Fraction	Quantité (t/an)	% du produit entrant
GFT	40.800	100%
refus d'affinage	1.300	3,19%
Vente compost	12.000	29,41%
Pierres, verre	180	0,44%

10.2 KOCH et autres similaires

Dans des procédés similaires, on retrouve, KOCH, une compagnie allemande ayant développé un système de compostage en coopération avec la compagnie autrichienne Austrian Energy and Environment (A.E.E.) précédemment dénommée SGP-Voest Alpine.

Ce procédé est utilisée à Grimbergen chez VLAR - INDAVER et à Bilzen chez INTERKOMPOST.

(1) En 1998, INTERKOMPOST a traité 38.360 tonnes de déchets FLJ. Le compostage s'opère en 2 étapes :

- une phase de pré-compostage ou fermentation intensive (3 semaines) durant laquelle les andains sont simplement aérés par une aspiration discontinue d'air via le sol perforé, sans être retournés,
- une phase de post-compostage (2 mois) où la matière est disposée en andains tabulaires, aérée et retournée chaque semaine à l'aide d'un convoyeur à godets pendant 1 mois puis une fois par mois.

Suite à de nombreux problèmes d'odeurs durant la phase de pré-compostage, INTERKOMPOST a opté pour une transformation de l'installation existante. Fin 2001, la fermentation intensive prendra place dans 10 tunnels de compostage (type HORSTMANN) et ce durant 2 semaines. Elle sera suivie d'une post-maturation et d'une maturation dans le hall existant avec une aération par aspiration pendant environ 4 mois.

L'épuration de l'air vicié des tunnels de compostage sera séparée de l'air vicié de la post-maturation. L'air vicié sera lavé à l'eau avant de passer dans un biofiltre. L'air épuré provenant de la fermentation en tunnel sera évacué par une cheminée de 25 mètres.

(2) VLAR INDAVER exploite également le procédé de compostage KOCH. En 1999, près de 52.000 tonnes de GFT ont été compostées. La fiche technique 1bis détaille l'installation de compostage.

Le mode d'exploitation est différent de celui appliqué chez Interkompost. En effet, les andains subissent une aération par aspiration couplée à un retournement hebdomadaire. La durée de compostage est de 11 semaines (fermentation et maturation comprise) puis un affinage est effectué avant stockage du compost mûré sous hall couvert .

En matière d'odeurs, de nombreux aménagement ont été réalisés : épuration de l'air vicié avec 4 laveurs à eau pour réduire la teneur en ammoniacque et protéger le biofiltre en aval. Une cheminée

de 14 mètres permet une émission de pointe ; un biofiltre ne permet qu'une émission diffuse de l'air purifié.

VLAR ne recircule pas, sur le compost en fin de fermentation, les percolats récupérés au pied des andains pour des raisons d'hygiène ; en début de fermentation par contre les percolats sont utilisés.

L'air du hall de compostage aspiré n'est pas recirculé et part directement vers le lavage et le biofiltre pour éviter toute contamination du compost avec des germes.

Un avantage de l'aspiration est la mise en dépression constante du hall et l'absence de fuite d'air vicié en cas d'ouverture du hall. Un inconvénient résulte de la condition favorable pour la prolifération de mouches.

Les débouchés pour le produit obtenu (VLAR Compost) sont les suivants :

- Horticulture : floriculture et culture légumière,
- Agriculture : culture de betteraves, de pommes de terre ou de maïs,
- Aménagement de jardin : recouvrement et entretien des jardins, gazons, bois et parcs,
- Biotechnologie : remédiation biologique de sols pollués, terreau préparé à base de compost pour former une couche de finition idéale pour un CET.

(3) La société LINDE propose également le système de compostage en meule suite à l'acquisition de la technologie et de l'expérience de A.E.E.

Les dernières installations appliquant le compostage en meule dans un hall fermé ont été construites en 1997 et représentent un gisement global de 115.000 tonnes de déchets organiques à traiter. Les capacités varient entre 60.000 tonnes à 6.000 tonnes de déchets.

Fiche technico-économique n° 1		Compostage en hall fermé, retournement et aération forcée
Site : Beerse / Intercommunale: I.O.K.		Système : VAM
1 /	Données quantitatives - bilan matière	
	Capacité nominale de l'unité	50.000 tonnes de GFT
	chaîne de compostage	35 à 40 t/h
	chaîne d'affinage	25 t/h
	Quantités traitées en 1999	64.000 tonnes de GFT
	matériaux structurant :	27,50 %, retour du tamisage (= 17.600 tonnes)
	Collectes:	
	population concernée	+/- 450.000 hab.
	ratio de collecte	120 kg FLJ / hab/ an
	type de collecte	porte à porte (conteneur 120 litres et sac)
	Bilan matière (en poids brut sur entrants)	
	perte de matière (gaz, eau)	62%
	compost	37,5%
	refus	
	- recirculés en début de chaîne	4% (refus du criblage "préparation" : fraction > 150 mm)
	- mis en décharge	0,5%
	Qualité du compost (norme)	VLACO
2 /	Caractéristiques techniques	
	Stockage des déchets IN :	en fosse
	mode d'alimentation	reprise au grappin + trémie à fond mouvant (type walking floor)
	Préparation (équipements)	criblage (trommel mailles rondes 150 mm) déferrailage (overband)
	Compostage (type d'andains)	tabulaire
	durée de compostage	4 à 5 semaines
	retournement (équipement)	roue à godets sur rails
	- fréquence	hebdomadaire
	superficie	81 m x 47,5 m x 3 m (maximum)
	ventilation	soufflage via un plancher béton perforé recouvert de graviers
	apport d'eau	durant le retournement
	Affinage (équipement)	criblage (trommel 2 mailles : 40 mm / 20 mm) séparation balistique (épierreur)
	Mode de maturation	air libre+ retournement au retourneur TIM
	fraction maturée	0/20 mm
	type d'andains	trapézoïdaux
	durée	4 à 6 mois
	Traitement des eaux	stockage eaux lixiviation extérieure: 2 bassins d'orage
	bilan hydrique	nul
	Traitement de l'air	biofiltre
	constituants	écorces + broyats souches
	dimensions	hauteur : 1,2 m / superficie : 1080 m ²
	capacité	max. 174.000 m ³ /h - moyenne : 100.000 m ³ /h
	fréquence renouvellement	tous les 2 ans
	Génie civil	
	1 hall fermentation clos	81 m x 47,5 m + 15 x 47,5 + 12 x 47,5 = 5108 m ²
	1 hall de préparation clos	75 m x 25 m = 1875 m ²
	1 hall d'affinage clos	75 m x 25 m
	1 aire de maturation	? m ²
	1 hangar de stockage compost	? m ²
	2 bassins d'orage	extérieur 2.000 m ³ intérieur ± 800 m ³
3 /	Caractéristiques d'exploitation	

	Puissance consommée	84,93 KW / t GFT IN
	Régime d'exploitation	1 pause : 5 j/ semaine
	Personnel	8 à 9
	Entretien	hebdomadaire + nettoyage complet hall chaque 6 à 8 semaines
4/	Données économiques, commerciales	
	Investissement	
	génie civil	240 million BEF
	équipements	120 million BEF (engins compris)
		travaux en 2000 :47 millions BEF : nouveau biofiltre + béton perforé
	Subsidiation	60%
	Dépenses	
	amortissement	? Inconnu
	charges d'exploitation	? Inconnu
	mise en décharge	? Coût inconnu
	Coût de traitement global	? BEF / t GFT inconnu
	Recettes	
	vente compost	0,5 FB / kg (particulier) - gratuit (grand utilisateurs)
	Remarques :	
	Certaines communes vont passer au conteneur à puces pour appliquer le principe "producteur/payeur" (3 FB / kg FLJ) à la place du sac payant (Prix actuel : ? / Prix futur: 35 à 40 BEF)	
	Pour ne plus limiter la capacité de fermentation, VAM envisage de séparer la chaîne d'affinage de la chaîne de fermentation. L'écoulement du compost pose un sérieux problème à VAM/Compobel.	
	Contact :	
	Installation et exploitant :	Intercommunale Ontwikkelingsmaatschappij voor de Kempen (I.O.K) de heer Danny Van Looy Antwerpseweg 1 - B-2440 Geel 32 (0)14 / 58 09 91 L'exploitation est partagée entre VAM (1 personne) et I.OK.
	Fournisseur	VAM de heer Ph. Robinet De regenboog 11 - B-2800 Mechelen 32 (0)15 / 40 01 81

Fiche technico-économique 1bis		Compostage en hall fermé, retournement et aération forcée par aspiration
Site : Grimbergen / INDAVER - VLAR		Procédé : KOCH
1 /	Données quantitatives - bilan matière	
	Capacité nominale de l'unité	50.000 tonnes (dimensionnement : 60.000 tonnes)
	Déchets traités :	déchets fermentescibles GFT
		déchets organiques biologiques (similaires)
	Quantités traitées en 1999	52.000 tonnes de GFT
	matériaux structurant :	8000 tonnes
	Collectes:	
	population concernée	environ 1.000.000 d'habitants
	type de collecte	en sac (80%) et en benne (20%)
	Bilan matière (en poids brut sur entrants)	
	perte de matière (gaz, eau)	57%
	compost	35%
	refus	8%
	- mode d'élimination	CET ou incinération
	Qualité du compost (norme)	VLACO
2 /	Caractéristiques techniques	
	Stockage des déchets IN :	hall fermé en dépression - stockage sur le sol (capacité : 3 jours)
	mode d'alimentation	au chargeur dans trémie en fosse à fond mouvant
	Préparation (équipements)	tamis 80 mm
		déferailage (overband) + broyeur mobile (pour DV)
	Compostage (type d'andains)	en hall fermé en dépression / andains tables
	durée de compostage	11 semaines (maturation compris)
	retournement (équipement)	roue pelleuse conception KOCH
	- fréquence	hebdomadaire
	superficie	andain de 200 m x 35 m
	ventilation	aspiration 120.000 m ³ / h
	apport d'eau	fonction du degré d'humidité / opération durant le retournement
	Affinage (équipement)	trommel de maille 10 mm
	Maturation	conjointe à la fermentation
	type de fraction	sur fraction grossière
	type d'andains	andain table
	durée	incluse avec la phase de fermentation
	Traitement des eaux	dégrillage, déssablage, dénitrification; en cours : ultra-filtration,
	étapes	osmose inverse + essai avec charbon actif
	Traitement de l'air	laveur à eau + biofiltre couvert + cheminée 14 mètre
	constituants	souches broyées+ écorces pin des landes + compost verdure
	dimensions	biofiltre de 60 m x 30 m couvert
		6 compartiments
	fréquence renouvellement	annuel
	Génie civil	superficie globale : 4 ha
	1 hall fermentation/maturation clos	220 m x 42 m
	1 hall de préparation clos	60 m x 50 m
	1 hall d'affinage clos	70 m x 30 m
	1 hall couvert de stockage compost	60 m x 50 m
	divers	atelier + laboratoire de mesures et analyse + bâtiment administratif

Fiche technico-économique 1bis		Compostage en hall fermé, retournement et aération forcée par aspiration
Site : Grimbergen / INDAVER - VLAR		Procédé : KOCH
3 /	Caractéristiques d'exploitation	
	Puissance installée	2 x 1000 KVA
	consommée	environ 50 Kwh/ t
	Régime d'exploitation	5 jours ; 1 poste
	Personnel	2 admin.+ 1 commercial+ 3 opérateurs+ 3 mécaniciens+ 1 directeur
	Entretien	3 personnes
4/	Données économiques, commerciales	
	Investissement	
	génie civil	300 millions BEF
	équipements (engins compris)	350 millions BEF
	épuration eau	30 millions BEF
	Subsidiation	néant
	Dépenses	
	amortissement	20 ans GC / 15 ans (EM) / 5 ans (engins)
	charges d'exploitation	1200 BEF / t
	élimination résidus	CET ou incinération (INDAVER)
	Coût de traitement global	1000 BEF/t (fixe) + 1200 BEF/t (variable) = 2.200 BEF / t
	Recettes	
	vente compost	100 BEF / t
Remarques :		
Contact :		
	Installation et exploitant :	Contact :
	VLAR KOMPOST	Directeur M. A Baetens
	111 Westvardijk - 1850 Grimbergen	02 / 253 11 01
	Fournisseur	KOCH

1. TYPE DE PROCEDE : CONTINU

Il existe sur le marché de nombreuses sociétés proposant la technologie de compostage en tunnels. La présente fiche présente en détail le procédé HERHOF et explique les différences principales avec d'autres procédés similaires présents sur le marché : GICOM, LINDE et HORSTMANN.

2. PRINCIPE :

La fermentation s'opère dans un réacteur en béton fermé hermétiquement, dont les dimensions varient (entre 7, 15 et 30 mètres de long pour une section de 25 m²). Une aération forcée et une régulation entièrement automatisées du process de fermentation sont assurées. Les réacteurs sont isolés et possèdent une porte frontale à commande pneumatique.

Le remplissage des tunnels est, soit semi automatique (alimentation au chargeur), soit entièrement automatisé : des bandes transporteuse télescopiques longitudinales assurent une répartition homogène de la matière dans le tunnel.

La vidange du tunnel peut également s'opérer de manière semi-automatique (au chargeur) ou automatique : un convoyeur racleur pénètre dans la cellule par déplacement télescopique et décharge le matériau dans le sens vertical sur une bande transporteuse transversale qui évacue le produit.

Le captage de l'air et des jus permet un traitement efficace des émissions et minimise les nuisances olfactives. Le tunnel présente un double fond dont la paroi supérieure est percée d'orifices. L'air pulsé par un ventilateur circule entre ces 2 parois et remonte à travers les orifices dans la masse de déchets.

Les percolats sont recueillis dans la conduite de ventilation, sous la paroi supérieure et sont recirculés dans le process par des buses fixées au plafond du tunnel en vue d'être évaporés. Les condensats sont par contre récupérés et traités pour être utilisés dans le circuit de refroidissement de l'air.

3. DUREES DE LA FERMENTATION ET DE LA MATURATION :

Après un séjour de 7 à 10 jours en fermentation intensive, la perte de masse est d'environ 35 % et le compost « primaire » sort avec un degré de maturité équivalent au Rottegrade II.

Pour atteindre un compost possédant une maturité de grade IV et V, le compost primaire doit être mis en andains pendant une période de 8 à 10 semaines pour subir une maturation, au cours de laquelle il est retourné et humidifié tous les 15 jours. Il est ensuite transporté au hall d'affinage.

L'option de repasser par un nouveau compostage intensif est envisageable avec le tunnel HERHOF. Ceci évite les problèmes d'odeur lors de la maturation à l'air libre. Il s'agit alors d'un système à 3 cycles (26 jours) au terme duquel un compost de haute qualité est obtenu .

Après le premier cycle, le compost est broyé et amené à une humidité optimale avant de subir un second cycle en box pour atteindre un degré de maturité de III à IV.

Une troisième étape de compostage permet d'augmenter la qualité du compost et d'aboutir à un compost de Rottegrade IV et V qui se caractérise par une stabilisation de la température (20 à 30°C). La perte de masse est alors de 55%, alors que la fraction de M.O. a diminué de 50%.

4. MODE D'AERATION :

Un soufflage est opéré via des orifices aménagés dans le plancher et l'air est aspiré par le plafond. L'air injecté peut être de l'air recyclé ou mélangé à de l'air frais fortement enrichi en oxygène.

L'apport d'air est régulé sur six compartiments de manière à maintenir des conditions de fermentation aérobie dans chacune des sections du tunnel et se donner la possibilité de programmer la température optimale pour la décomposition. En effet, en sortie de réacteur l'air peut suivre 2 chemins différents grâce à un système de vannes. Il peut être refroidi dans un échangeur de chaleur pour être réintroduit à une température propice au métabolisme des bactéries et optimale pour la décomposition.

5. PARAMETRE DE CONTROLE ET DE REGULATION

Le process automatisé assure une mesure en continu de la température et la teneur en CO₂ de l'air vicié en sortie de réacteur.

Le système développé par HERHOF mesure également la différence de pression entre la sortie du réacteur et les points d'injection de l'air sous plancher. Ceci permet de déterminer si la circulation de l'air s'effectue normalement (une densité plus élevée indique une résistance à la circulation de l'air et donc des risques d'aération insuffisante). La régulation est donc assez large et optimale.

6. OPERATIONS DE PRE-TRAITEMENT ET POST-TRAITEMENT

Avant d'être introduite dans le hall, la matière est contrôlée visuellement, réduite (broyage grossier) et homogénéisée jusqu'à une granulométrie de 150 mm. Les déchets organiques sont mélangés à des déchets verts ou des surplus du crible pour la structuration de la matière.

En post-traitement, après maturation en hall couvert, le compost mûré est criblé à la mailles 10-20 ou 60 mm selon son usage et sa destination finale : agriculture, viticulture, horticulture. Pour ce dernier cas, il peut être mélangé à des terreaux standards ou des adjuvants optionnels (fertilisants, terre, tourbe, roche) dans le but d'obtenir différentes gammes pour l'horticulture.

7. REJETS

7.1 Odeurs :

L'air du hall de réception et de préparation est aspiré et utilisé dans le circuit de ventilation des tunnels. L'air extrait des tunnels est, soit recirculé, soit refroidi dans des échangeurs de chaleur, soit évacué. Le dernier stade du traitement de l'air est constitué par un biofiltre confiné dans un tunnel. Ce dernier présente la même conception qu'un tunnel de compostage, la différence se situant au niveau du sens de la ventilation : l'air vicié entre par le haut du réacteur et est aspiré par le plancher. La température doit être régulée et maintenue à 35°C ; la densité du matériau constituant doit également être contrôlée.

L'air vicié, en sortie du tunnel contient du gaz carbonique et différents acides nauséabonds qui sont condensés lors du refroidissement de l'air et évacués avec l'humidité de l'air pour être épurés au moyen d'un procédé biologique de traitement des eaux usées et d'un procédé de filtration 'crossflow'. Lors de la condensation, les agents malodorants sont adsorbés et dissous dans l'eau.

Une partie de l'air sera mélangée à de l'air frais extérieur pour être recirculée dans le tunnel tandis que l'autre partie est filtré dans un filtre biologique implanté dans un caisson du même type que le réacteur de compostage.

Le système de circulation de l'air permet des émissions vers le milieu extérieur en quantité très faible (+/- 3000 m³ / tonne).

7.2 Jus :

La vapeur d'eau est condensée et traitée dans un réacteur biologique en vue d'être réutilisée dans le circuit de refroidissement de l'échangeur de chaleur. Les lixiviats sont renvoyés dans le tunnel pour être évaporés.

Le bilan hydrique du process est donc nul.

8. HYGIENE ET SECURITE

Le produit final présente un grade IV à V. La fermentation confinée en réacteur empêche toute émission de germes.

Le personnel n'est jamais en contact avec la matière excepté pour les installations semi-automatiques où le remplissage et la vidange sont réalisés au chargeur.

9. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

(+)

- Temps de traitement réduit si fermentation à 3 cycles,
- Bonne réduction des odeurs sans de gros investissements,
- Maîtrise optimale de l'air de ventilation (température et quantité),
- Système modulable et évolutif,
- En cas de panne d'un tunnel les autres tunnels restent actifs,
- Traitement indépendant des conditions météo,
- Volume d'air à traiter relativement faible grâce à une recirculation optimale,

(-)

- La matière doit posséder une bonne structure au départ car pas de retournement durant la fermentation,
- Le coût d'achat des box est élevé,
- Risque de paralysie de toute l'installation si l'alimentation automatisée est en dysfonctionnement,
- Le produit sortant est desséché et doit être humidifié pour la maturation ce qui peut générer les mêmes problèmes d'odeurs que les systèmes opérant en air libre,
- Coût énergétique assez élevé.

10. PROCEDES SIMILAIRES SUR LE MARCHE

10.1 GICOM

La principale différence se situe au niveau de la régulation de la ventilation et de la température ainsi qu'au niveau de la recirculation des jus et des condensats. Le compostage s'effectue quant à lui dans des tunnels métalliques ou en béton.

Chez GICOM, l'air circulant dans les tunnels provient d'un mélange d'air frais de l'extérieur, d'air des halls de réception et de préparation (chargé d'odeurs) et d'air recirculé des tunnels (air chaud, chargé de gaz propre à activer le processus de compostage en aérobie). La régulation

est basée sur des mesures effectués sur ces différents flux. L'air frais apporte à la fois de l'oxygène mais permet également un refroidissement du substrat.

Le débit d'aération est important malgré la recirculation ; le débit d'air au travers du biofiltre est de l'ordre de 150.000 m³/h pour une unité de 45.000 tonnes.

S'il n'est pas réinjecté dans un autre tunnel (si celui-ci ne contient plus suffisamment d'oxygène), l'air est dirigé vers une tour de lavage où l'ammoniaque est transformée en sel au contact de l'eau. Il passe dans un biofiltre dans lequel l'ammoniaque et le dioxyde de carbone sont totalement éliminés.

Plus de 30 paramètres sont contrôlés régulièrement : les débits d'air entrant, recirculant et sortant, la pression, la teneur en oxygène, la température du compost, la température de l'air, le coefficient d'humidité, le teneur en dioxyde de carbone...

Les eaux de percolation du tunnel sont récupérées, filtrées, débarrassées des particules solides avant d'être réintroduites dans le même tunnel pour un autre cycle.

Pour le post-traitement GICOM effectue 2 opérations de tamisage : un premier tamisage (à 50 mm par ex.) avant le post-compostage et un tamisage final (à 10 mm pour le respect de la norme VLACO) après maturation.

En 1998, l'Intercommunale DDS à Dendermonde a traité 23.000 tonnes de déchets FLJ avec des tunnels de compostage HERHOF et GICOM.

10.2...LINDE

Propose un procédé statique (le tunnel de compostage) et un procédé dynamique avec retournement (les box de compostage) où les conditions de ventilation et d'humidification varient également (cf. fiche 3).

Fiche technico-économique n° 2		Compostage en box fermé et aération forcée
Site :		Système : HERHOF
1 /	Données quantitatives - bilan matière	
	Capacité nominale de l'unité	35.000 tonnes de déchets organiques (déchets cuisines et de jardin)
	Collectes:	
	population concernée	
	ratio de collecte	90 kg /hab. an
	type de collecte	sélective en conteneurs de 120 l et 240 litres
	Bilan matière (en poids brut sur entrants)	
	perte de matière (gaz, eau)	30%
	production de compost	50%
	refus	
	- recirculés en début de chaîne	18%
	- mis en décharge	2%
	Qualité du compost (norme)	Compost Rottegrade II, IV et V- label de qualité RAL
2 /	Caractéristiques techniques	
	Stockage des déchets IN :	En hall fermé maintenu en dépression
	mode d'alimentation	Chargeur alimentant une trémie doseuse hors sol
	Préparation (équipements)	Broyeur à vis pour dilacérer la matière
		Déferraillage
	Compostage	fermentation intensive en tunnels - alimentation et vidage au chargeur
	durée	7 jours
	dimensions box	largeur : 5 m/ hauteur : 5 m / longueur : 30 mètres
	nombre de box	5
	ventilation	soufflage forcé via un plancher béton perforé
	apport d'eau	renvoi des jus de fermentation dans les tunnels pour évaporation
	Affinage (équipement)	après maturation
	équipement	crible rotatif mobile / mailles 20 mm
	Mode de maturation	sous hall couvert en andains
	fraction mûrée	compost frais non tamisé
	durée	4 à 6 semaines
	Traitement des eaux	traitement des condensats pour le circuit de refroidissement de l'air de ventilation
	bilan hydrique	nul
	Traitement de l'air	biofiltre en tunnel
	nombre	2 (utilisation de chacun à 50% de leur capacité)
	dimensions	identique au tunnel de compostage
	capacité	
	fréquence renouvellement	tous les 2 ans mais contrôle régulier
	Génie civil	
	Hall de réception et de préparation clos	m ²
	Hall de fermentation clos	m ²
	Hall d'affinage et de maturation couvert	m ²
	Local de contrôle commande	
3 /	Caractéristiques d'exploitation	
	Puissance installée	? KW
	Puissance consommée	? KW / t GFT IN
	Régime d'exploitation	5 j par semaine
	Personnel	2
	Entretien	

4/	Données économiques, commerciales	
	Investissement	pour une installation type traitant 30,000 tonnes de biodéchets
	génie civil	9,7 millions de DM (200.191 milliers de BEF)
	équipements	6,463 millions de DM (133.303 milliers de BEF)
A	Coût d'amortissement de l'investissement / an	
	taux de 7 % - 15 ans	
B	Charges d'exploitation / fonctionnement	
	personnel de production	
	maintenance (GC: % inv. -EM :- % inv.)	
	consommables	
	traitement eau de process	
	frais de mise en décharge	
	frais admin., assur. : % inv.	
	Recettes	
	vente compost	0
	Total cout de traitement (A+B-C)	133 DM / t input (2.745 BEF / t)
	? mise en décharge	
	Remarques :	
	L'installation de Beselich est exploitée par HERHOF en partenariat avec une coopérative d'agriculteurs.	
	Contact :	
	Installation et exploitant :	
	Kompostierbetrieb Beselich	
	Beselich Hesse (D)	
	Fournisseur	

FICHE PROCEDE N° 3 : COMPOSTAGE EN BOXES

1. TYPE DE PROCEDE : CONTINU ET SEMI-DYNAMIQUE

Seule la partie compostage proprement dit sera présentée, les périphériques restant comparables au tunnel (pré-traitement, affinage, biofiltre).

Les boxes de compostage intensif ont été développés par la société BRV (intégrée depuis 1999 par LINDE sous le nom de LINDE BRV) et ont été mis en service depuis 1992. La capacité globale de traitement mise en service est de 140.000 tonnes et se répartit en 9 unités de 3.000 tonnes à 24.000 tonnes de FFOM.

Outre son utilisation en fermentation intensive et en maturation, ce procédé est également mis en œuvre pour le précompostage (hydrolyse aérobie) de la matière avant biométhanisation.

2. PRINCIPE :

Les boxes, composés de parois latérales (éléments de parois en bois ou en béton) sont construits en modules et disposés en rangées. Le haut de tous les boxes est commun et est séparé du reste du hall par une bâche perméable afin de maintenir les conditions optimales de dégradation de la matière (humidité et température).

Le remplissage est réalisé à l'aide de transporteurs en spirale (vis sans âme) se succédant : un transporteur incliné achemine la matière au sommet des boxes et déverse celle-ci dans un second transporteur (la spirale de distribution principale) qui alimente un dernier transporteur (spirale de répartition) se déplaçant transversalement au dessus de tous les boxes et étale la matière sur la longueur de chaque box. Les boxes sont remplis jusqu'au niveau souhaité.

Le vidage s'effectue par l'intermédiaire d'un plancher gratteur ou plancher-poussoir à entraînement hydraulique dosant l'apport régulier de la couche inférieure de matériaux vers un transporteur à spirales (transporteur de mélange). La matière est ensuite reprise par le système de transport à spirales général pour être soit réintroduit dans un autre box soit évacué vers le hall de maturation sur bandes transporteuses couvertes.

Le retournement de la matière s'opère durant la phase de vidage du box et le remplissage du contenu de plusieurs boxes dans un box. La fréquence de retournement est hebdomadaire.

3. DUREES DE LA FERMENTATION

La fermentation intensive dure entre 3 et 6 semaines à l'issue de laquelle un compost frais présentant une maturité de Rottegrade III est obtenu.

Une maturation en hall couvert sans aération permet d'aboutir à un compost de Rottegrade de IV et V.

4. MODE D'AERATION :

Il s'agit d'une aération forcée : une pulsion d'air au travers du plancher est opérée. Le box possède une double dont dans la paroi supérieure est équipée du plancher-poussoir.

L'air pulsé par le ventilateur circule entre les 2 parois et remonte à travers des orifices intégrés dans le cadre même du plancher-poussoir. Cette manière de procédé assure la destruction de canaux d'air qui se seraient formés dans la matière étant donné le mouvement du plancher.

L'air vicié généré par l'ensemble des boxes est aspiré via une conduite du hall et est dirigé vers un laveur et un biofiltre surfacique.

5. PARAMETRE DE CONTROLE ET DE REGULATION

Pour chaque module, des courbes de fonctionnement sont établies en mesurant le temps de compostage, l'intensité de l'aération, la température et l'humidité. Elles constituent un outil de contrôle et permettent d'optimiser le traitement.

La conduite du compostage, entièrement pilotée par ordinateur s'opère au moyen d'une aération forcée discontinue, d'un retournement hebdomadaire et d'un arrosage si nécessaire.

6. JUS

Les lixiviats sont récupérés au travers du conduit d'aération et sont renvoyés dans le transporteur de distribution pour humidifier la matière pendant le retournement. Le bilan hydrique du process est nul.

7. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

(+)

- Temps de fermentation réduit,
- Le compost peut-être évacué de chaque box à n'importe quel moment (choix d'un compost frais ou mature) grâce au processus automatisé du retournement dans un même box ou vers un autre box ou pour son extraction,

- Bonne réduction des odeurs sans gros investissement,
- Le système de transport par spirales assure une homogénéisation efficace et un défibrage de la matière durant son transport,
- Aération optimale grâce au système d'aération intégré dans le cadre du plancher-poussoir,
- Transport propre pour tout type de matériaux,
- Occupation de l'espace réduite,
- Peu de personnel,
- Accès libre et travaux d'entretien aisés,
- Système modulable et évolutif,
- En cas de panne d'un box les autres boxes restent actifs,
- Traitement indépendant des conditions météo,

(-)

- Coût énergétique assez élevé,
- Contact du personnel avec la matière en cours d'hygiénisation en cas d'intervention sur les équipements.

8. SYNERGIE DE TRAITEMENT AVEC D'AUTRES DECHETS

L'installation de compostage à Dunkerke (24.000 tonnes) pour le traitement de la FFOM (8.000 tonnes), de déchets verts (6000 t) et de boues de step (10.000 tonnes) représente la dernière unité en cours de construction pour LINDE BRV.

L'installation devrait permettre d'élaborer 2 types de compost distincts avec une ligne de compostage de la FFOM et une ligne de compostage des boues. Les déchets verts seront utilisés en mélange dans les 2 lignes selon un dosage défini.

Les mélanges seront introduits dans les boxes de compostage intensif : 7 boxes pour la FFOM et 6 pour les boues. Les boxes (225 m³) sont confinés dans un hall fermé et ventilé occupant une superficie de 1700 m². La durée de compostage varie entre 3 et 4 semaines respectivement pour la FFOM et les boues.

La solution retenue après compostage intensif est une maturation en andains durant 3 semaines sous hall fermé et ventilé (5.800 m²) avec un retournement régulier.

Les compost de boues serviront à l'aménagement d'espaces verts et à la revégétalisation pour viabiliser une zones industrielle.

1. TYPE DE PROCÉDÉ : CONTINU

2. PRINCIPE ET TECHNOLOGIE DU DIGESTEUR :

Le digesteur est conçu en béton et présente une géométrie cylindrique à fond plat ou conique. Le cheminement de la matière est gravitaire. Des pompes à piston transportent le substrat (pulpe inoculée et réchauffée) jusqu'au sommet du digesteur en 3 point d'injection. La matière (le digestat) est extraite par gravité en fond de réacteur par l'intermédiaire de 2 clapets hydrauliques.

La matière n'est pas brassée mais l'homogénéisation résulte du mouvement gravitaire de la matière.

Le digesteur est isolée thermiquement mais n'est pas chauffé. La température de régime à l'intérieur est atteinte en chauffant la matière jusqu'à 50 °- 55 °C avant d'entrer dans le réacteur.

Le facteur limitant en matière de capacité pour le digesteur est la quantité de biogaz produit. La charge biologique par m³ de réacteur par jour est le facteur dimensionnel pour le digesteur. Si par exemple, la quantité de déchets de cuisine est plus élevée (déchets humides), leur demande en bactéries étant plus importante, le volume du réacteur sera dimensionné en conséquence.

En automne (septembre, octobre), il y a plus de déchets verts donc plus de lignine dans le digesteur et donc une production de biogaz plus faible que la moyenne car le taux de matières biologiques facilement biodégradables est plus faible.

3. DURÉE DE LA DIGESTION / TEMPÉRATURE DANS LE DIGESTEUR

Le temps de séjour moyen est de 20 jours, la durée variant entre 15 et 30 jours. La digestion a lieu sous des conditions thermophyles, c'est à dire sous une température interne oscillant entre 50 °C et 55° C.

4. PARAMÈTRE DE CONTRÔLE / COMPOSITION DE LA MATIERE ENTRANTE DANS LE DIGESTEUR

Les paramètres controlés sont : le pH du digestat, la température à l'intérieur du réacteur et la production de biogaz. La régulation du digesteur s'opère par la quantité de matières entrantes.

La matière entrante présente une teneur en matière sèche (MS) oscillant 15 et 40 %.

Dans le cas de déchets plus humides, DRANCO a développé le procédé DRANCO-SEP conçu pour traiter des déchets très humides présentant une teneur oscillant entre 5 et 20 % de MS. En travaillant avec un digesteur DRANCO de conception traditionnelle pour des déchets présentant une teneur en MS de 5%, on observerait une sédimentation et séparation des phases.

5. OPÉRATIONS DE PRÉ-TRAITEMENT

Lorsque les déchets à traiter sont issus d'une collecte sélective, ils sont réduits dans un tambour rotatif ou un broyeur et tamisés à 40 mm afin d'obtenir les dimensions favorables à la digestion.

Le tambour à homogénéisation est un cylindre en acier tournant à plus de 6 tour / minute dans lequel s'opère une friction et une réduction de la matière par la rotation ; la durée de séjour dans le premier tambour est d'environ 1 heure 30.

A la sortie, la matière est criblée et le refus passe dans un second tambour où le temps de séjour est de 2 heures.

Enfin, la matière passe dans un second trommel de tamisage à 40 mm et le refus est évacué de la chaîne de pré-traitement.

La fraction < 40 mm passe sous un séparateur magnétique avant d'être dirigée vers une unité de dosage ou mélangeur, constitué d'une cuve équipée de 2 vis et de points d'injection de vapeur à 110 °C.

La matière est malaxée, mélangée avec une fraction du digestat extrait du réacteur et réchauffée à 50 °C avant d'être pompée dans le réacteur de biométhanisation.

6. OPERATIONS DE POST-TRAITEMENT ET MATURATION DU DIGESTAT

Le résidu digéré est floconné puis déshydraté dans une presse à vis de manière à atteindre une siccité de 50 % MS. L'eau de presse est centrifugée avant d'être renvoyée vers une station d'épuration locale pour être traitée. Dans certains cas, lorsque l'installation ne peut évacuer des eaux usées, l'énergie thermique incidente des moteurs à gaz utilisés pour la conversion du biogaz en électricité sert à évaporer les eaux de presse.

Le gâteau récupéré à la sortie de la presse à vis est passé sur un tamis vibrant à 10 – 12 mm avant d'être mis andains pour un post-compostage aérobie pendant 2 semaines. Durant la première semaine, la température monte jusqu'à 65°C puis diminue. L'opération est réalisée sous hall couvert sans retournement.

Le produit final est un compost stabilisé, nommé Humotex, possédant le label VLACO et présentant un degré de maturation entre IV et V ; il est vendu comme amendement de sol de haute qualité.

7. REJETS

- Odeurs :

L'air vicié des différents halls (hall de réception et de préparation, hall de post-traitement) est capté et épuré dans un laveur à eau avant de passer par un biofiltre.

- Jus :

Les jus de pressat récupérés en sortie de la presseuse à vis sont traités dans un réacteur biologique et subissent une dénitrification avant d'être rejetés dans une step existante. La quantité d'effluents à évacuer par an représente 18.500 tonnes ! contrairement au compostage on s'aperçoit que le bilan hydrique n'est donc pas nul.

8. HYGIÈNE ET SÉCURITÉ

Le personnel n'est jamais en contact avec la matière excepté en cas d'intervention pour un dysfonctionnement sur un équipement (unité de réception et préparation).

9. RÉFÉRENCES INDUSTRIELLES

- Brecht I (B) : 12.000 t de FFOM et papiers non recyclables démarrage en 1992
- Salzburg (A) : 20.000 tonnes FFOM coll. sélective (cs) démarrage : 12/93
- Bassum (D) : 135000 tonnes d'OM démarrage : 06/97
- Aarberg (CH) : 11.000 tonnes FFOM cs démarrage : 01/98
- Kaiserslautern (D) : 20.000 tonnes d'OM
démarrage : 01/99
- Villeneuve (CH) : 10.000 tonnes de FFOM cs démarrage : 02/99
- Brecht II (B) : 50.000 tonnes de FFOM démarrage : 01/00

Fiche technico-économique n° 4		Installation de biométhanisation
Site : BRECHT (B)		Procédé : DRANCO
1 / Données quantitatives et bilan de matières		
Quantité annuelle traitée		650 T / S x 50 = 32. 500 tonnes
type de déchets entrants		FFOM + papier non recyclables
- fraction organique		97 à 98 % tonnage IN - GFT + papier non recyclables
- autre(s) fraction(s)		2 à 3 % tonnage IN
refus du pré-traitement		10% du tonnage IN
Capacité nominale de l'usine (maximale)		35.000 tonnes (50,000 tonnes)
Collectes:		
population concernée		224.443 habitants
ratio de collecte / type de collecte		127 kg / hab. /an - collecte sélective en conteneurs
Bilan matière		
déchet IN		49.000 tonnes
refus pré-traitement		4.900 tonnes
IN digesteur (vapeur à 110 °C)		1.765 tonnes (40 litres vapeur / t IN dig.)
Out digesteur (biogaz)		6.470 tonnes
floculant IN		2.955 tonnes
Effluents vers step		18.450 tonnes
Refus compostage		2.100 tonnes
Compost		19.300 tonnes
Bilan énergie		
production biogaz		103 NM³ / tonne IN
mode de valorisation		chaleur (production de vapeur) et électricité
énergie autoconsommée / fraction autoconsommée		20%
nergie exportée sur réseau		6 MWh / an (pour une capacité de 50,000 tonnes)
2 / Caractéristiques des équipements et ouvrages		
Stockage déchets entrants :		dans un hall clos en dépression sur le sol
superficie ou capacité		360 m² soit +/- 1000 m³
Unité de préparation des déchets avant digesteur		
mode d'alimentation		trémie en fosse avec fond mouvant (walking floor)
tri / conditionnement		1 tambour à homogénéisation + 1 trommel 40 mm
		> 40 mm : 2è tambour à homogénéisation + trommel 40 mm
autre		> 40 mm : séparateur magnétique
mélangeur		unité de dosage à 2 vis
Digestion (type)		
produit entrant		inoculum + fraction < 40 mm
composition des déchets IN digesteur (MS / MSV)		40 MS / 60 MSV
capacité du digesteur		1 réacteur de 3.150 m³
charge biologique		
caractéristiques du digesteur		cylindre en béton vertical à fond plat ou conique
temps de séjour des déchets		21 jours
température digesteur		50 °C - régime thermophile
mode d'agitation du digestat		aucun - mouvement par gravitation
Mode de séchage du digestat		presse à vis
siccité IN / OUT		30% IN / 50 % OUT
Unité de maturation		
caractéristiques		compostage en andains aération forcée sans retournement
durée de la maturation		2 semaines
Affinage		avant la maturation
équipements		trommel à mailles 10 mm pour respecter les normes VLACO
Degré de maturation du compost		Humotex certifié VLACO
Traitement des jus de pressat		rejet en step après remise aux normes en vigueur
type		traitement biologique + dénitrification

Traitement de l'air (type)		scrubber + biofiltre
caractéristiques		injection d'eau + biofiltre à base de compost
superficie / capacité		m ² / 3.500 m ³ / h
Biogaz		
capacité de stockage		m ³
composition du biogaz (CH ₄ , H ₂ S, CO ₂ , ..)		
équipements de valorisation		2 moteurs à gaz (Pi : 2 x 650 KW) + 1 chaudière
Génie civil - Surfaces occupées		global :
Hall de réception et préparation		m ²
Hall de méthanisation et traitement des effluents		m ²
Hall couvert de maturation		m ²
hall couvert d'affinage		m ²
1 hall de stockage compost + garage engins		m ²
3 / Caractéristiques d'exploitation		
Régime d'exploitation		2 postes
Fonctionnement du digesteur		continu mais pas alimenté la nuit et le week-end
Personnel		5 / poste
Entretien		heures / S
4/ Données économiques, commerciales		
Investissement		Total : 500.215.000 BEF
génie civil		100,85 millions de BEF
équipements		401,365 millions de BEF (dont 28,2 M BEF pour valoris. biogaz)
A. Coût d'amortissement de l'investissement / an		
taux de 7 % - 20 ans GC/10 ans EM		66.380.098 BEF
B. Charges d'exploitation / fonctionnement		
personnel de production (12 personnes)		19.766.551 BEF
maintenance (0,5% inv. GC +3 % inv. EM, 7% biogaz)		13.614.716 BEF
consommables (eau, huiles, fuel, polymer)		7.955.756 BEF
traitement eau de process		0
frais de mise en décharge		19.508.376 BEF (2.622 BEF / t)
frais admin., assur. (2% inv.)		10.004.295 BEF
C. Recettes		
vente compost		-1.956.485 BEF (100 BEF / t)
vente électricité		- 24.20.940 BEF (vente à 4,03 BEF / Kwh)
Total cout de traitement (A+B-C)		2.226 BEF / t
Remarques :		
		L'installation Brecht II a été mise en service en 01/00
Contact :		
Installation et exploitant :		
IGEAN		M. Mon Maes
Doornaardstraat 60		32 (0)3 350 08 11 - Brecht (03/ 313 67 07)
2160 Wommelgem		
Fournisseur		Contact :
OWS		M. W. Six
Dok Noord 4		Sales Manager
9000 Gent		Tél. 32 9 233 02 04

1. TYPE DE PROCÉDÉ : CONTINU

2. PRINCIPE ET TECHNOLOGIE DU DIGESTEUR :

Le digesteur est conçu en béton et présente une géométrie cylindrique à fond plat. Une paroi médiane interne occupant les 2/3 du diamètre du réacteur oblige la matière à parcourir toute la surface de celui-ci de manière à contourner la paroi avant leur extraction car les orifices d'introduction et d'extraction de la matière sont situés de part et d'autre de cette paroi. Le cheminement de la matière est donc de type « piston horizontal ».

La matière est homogénéisée et brassée dans un plan vertical par injection toutes les 15 minutes de biogaz sous pression; ce biogaz comprimé (8à 10 bars) tourne en circuit fermé.

La géométrie et le système d'agitation garantit un temps de séjour minimum pour la totalité des matières, paramètre important du point de vue d'hygiénisation.

La matière est introduite au bas du réacteur à l'aide de pompes à béton et extraite au bas du réacteur par gravité.

Le digesteur est isolée thermiquement mais n'est pas chauffé. La température de régime à l'intérieur est atteinte en chauffant la matière jusqu'à 42 °C avant d'entrer dans le réacteur.

3. DURÉE DE LA DIGESTION / TEMPÉRATURE DANS LE DIGESTEUR

Le temps de séjour minimum est de 18 jours et maximum de 25 jours. La dégradation de la matière s'effectue à l'intérieur sous une température comprise entre 35°C et 40°C.

4. PARAMÈTRE DE CONTRÔLE ET DE REGULATION

Le pH, la température et la production de biogaz sont contrôlés continuellement. La teneur en méthane (CH₄) est également mesurée : le biogaz produit est analysée par chromatographie toutes les 2 heures.

5. OPÉRATIONS DE PRÉ-TRAITEMENT ET POST-TRAITEMENT

La matière est introduite dans le réacteur sous forme de boue épaisse résultant du malaxage et du mélange avec des jus de pressage du digestat.

Le digestat subit un pressage mécanique d'air d'où ressort un pressat à 55 % de MS destiné à l'unité de maturation.

6. REJETS

- Odeurs : pm

- Jus : Les jus de pressage subissent une épuration mécanique (tamis et ou centrifugeuse ou dessableur) afin de protéger le circuit en aval. Une partie est utilisée dans le malaxage-pompage tandis que l'autre fraction en excès est acheminée vers un filtre à bandes. Les boues seront envoyées vers l'unité de maturation et mélangée au digestat tandis que la fraction liquide sera envoyée vers une step.

7. RÉFÉRENCES INDUSTRIELLES

- Amiens (France) : 1^{er} site industriel de méthanisation au monde
55.000 t d'OM - démarrage en 08/88
Extension à 85.000 tonnes d'OM démarrage : 1996
- Tilburg (NL) : 52.000 tonnes FFOM coll. sélective (cs) démarrage : 1994
- Engelskirchen (D) : 35.000 tonnes FFOM cs démarrage : 02/98
- Freiburg (D) : 36.000 tonnes FFOM cs démarrage : 04/99
- Mons (B) : 58.000 tonnes d'OM dont 37.500 t cs démarrage : 11/00
- Genève (CH) : 10.000 tonnes FFOM en cours
- Cadix (E) : 210.000 tonnes d'OM en cours
- Varenne-Jarcy (F) : 100.000 tonnes d'OM dont 30.000 t cs en cours
- Hannover (D) : 100.000 tonnes d'OM en cours

Fiche technico-économique n° 2		Installation de biométhanisation sèche mésophile
Site : Engelskirchen (D)		Procédé : VALORGA
1 /	Données quantitatives et bilan de matières	
	Capacité nominale de l'unité	35.000 tonnes Pointe saisonnière :1,3
	type de déchets traités	matière organique avec déchets de cuisine et de jardin
	composition	36 % MS - 70 % MSV
	Quantités collectées en 2000	34.000 tonnes
	Collectes:	
	population concernée	350 000 hab.
	ratio de collecte / type de collecte	100 kg /hab. / an/ collecte sélective
	Bilan matière	
	déchet IN	35.000 tonnes de FFOM
	pré-traitement OUT	80 tonnes de ferrailles
	IN digesteur (hors digestat)	1.117 tonnes de vapeur
	digesteur OUT	5.460 tonnes
	floculant+eau IN	9.093 tonnes
	Effluents vers step	1.7820 tonnes
	Structurant IN compostage	1.500 tonnes
	Evaporation eau	8.080 tonnes
	Refus compostage	3.100 tonnes
	Compost	12.250 tonnes
	Bilan énergie	
	production biogaz	110 Nm³ / tonnes FFOM IN
	énergie brute dans le biogaz	56 % de CH4
	énergie autocons.	45 kWh / t pour la Méthanisation, 35 kWh / t pour le post compostage
	énergie exportée	3 500 0000 KWh / an soit 55 % de l'électricité produite
2 /	Caractéristiques des équipements et ouvrages	
	Stockage des déchets IN :	dans un hall clos en dépression sur une dalle
	Préparation de la matière (équipements)	
	mode d'alimentation et de transport	trémie alimentée au chargeur
	tri/conditionnement	criblage en trommel maille carrée 50 mm
		fraction > 50 mm : deferraillage, broyage et retour en début de chaîne
		fraction < 50 mm : deferraillage et envoi dans malaxeur
	mélangeur	malaxeur à vis + injection de vapeur + eau de process
	Digestion	
	capacité des digesteurs	2 x 3000 m³
	produits entrants	fraction < 50 mm diluée pour avoir 30 % MS et chauffée à 42 °C
	charge volumique	
	Temps de séjour	25 jours minimum
	Température	mésophile - la matière IN est chauffée mais pas le digesteur
	mode d'agitation de la matière	injection de biogaz comprimé à 10 bars en fond de digesteur / 15 '
	caractéristiques du digesteur	cylindre vertical en béton avec paroi médiane interne
	Mode de séchage du digestat	2 presses à vis et 2 filtres à bandes pour clarifier le pressat
	siccité in / out	IN : 25 % MS - OUT : 45 % MS
	Unité de maturation	compostage en tunnels fermés / alimentation et vidage automatique
	durée	2 semaines dont 4 jours à 60 °C (hygiénisation oblige)
	caractéristiques	ventilation forcée au travers du plancher + humidification
	degré de maturation	Rottegrade V (après 2 S de maturation suppl. sous hall couvert)
	Affinage	Après compostage en tunnel - maturation en andains sous hall couvert
	Equipements	trommel et épierreur
	Traitement des jus de pressat	rejet en step après remise aux normes en vigueur
	Equipements	bassin d'anoxie, d'aération et décanteur
	Traitement de l'air	air vicié des halls de réception, méthanisation et tunnels de compostage
	équipements	laveur acide + biofiltre
	dimensions / capacité	biofiltre de 480 m² / 18 000 m³ / h

	fréquence renouvellement du biofiltre	4 ans
Valorisation du biogaz		
	composition	56 % CH ₄ , 30 g d'H ₂ O/ m ³ , peu de H ₂ S
	équipements de valorisation	2 groupes électrogènes de 940 KW au total et une chaudière
	stockage biogaz	gazomètre d'une capacité de 600 M ³
	% énergie convertie chaleur	5 % de la Production de Biogaz
	% électricité autoconsommation	2 800 0000 KWh / an soit 45 % de l'électricité produite
	% électricité exportée sur réseau	3 500 0000 KWh / an soit 55 % de l'électricité produite
Génie civil - Surfaces occupées		
	Réception et préparation des matériaux	40m x 35 m : 1400 m ²
	hall de méthanisation et traitement des effluents	440 m ² (hors digesteurs)
	hall clos de compostage en tunnel	2450 m ² (7 tunnels de 300 m ³)
	hall couvert de maturation et d'affinage	1715 m ²
	1 hall de stockage compost + garage engins	2835 m ²
3 / Caractéristiques d'exploitation		
	Régime d'exploitation	1 poste - 5 j / 7
	Fonctionnement du digesteur	alimenté 5 j / semaine et pas la nuit
	Personnel	4 par poste (responsable, conducteur et 2 pers. au compostage)
	Entretien	
4/ Données économiques		
	Investissement	<i>Total : 578.760.000 BEF</i>
	génie civil	11 millions de DM (227,37 millions de BEF)
	équipements	13 millions de Dm (268,7 millions de BEF)
	études, démarrage	4 millions de DM (82,7 millions de BEF)
A. Coût d'amortissement de l'investissement		
	taux de 6 % - 20 ans GC/10 ans EM	63.540.634 BEF
B. Charges d'exploitation / fonctionnement		
	personnel de production	495 milliers de DM (10,231 millions de BEF)
	maintenance (1% inv. GC + 5 % inv. EM)	760 milliers de DM (15,7 millions de BEF)
	consommables (eau / électricité)	67 milliers de DM (1,38 millions de BEF)
	traitement eau de process	238 milliers de DM (4,92 millions de BEF)
	frais de mise en décharge	45 milliers de DM (930 milliers de BEF)
	divers (frais admin., assur., analyse compost)	655 milliers de DM (13,53 millions de BEF)
C. Recettes		
	vente compost	0
	vente électricité	- 12 millions de BEF (vente à 0,6 FF / KWh = 3,7 BEF / Kwh) (*)
Total cout de traitement (A+B-C)		2.805 BEF / t
Remarques :		
	L'installation a été mise en service en 02/98.	
Contact :		
	Installation et exploitant :	Vergärung und Kompostierungsanlage Zentraledeponie Leppe 2 1789 Lindlar (D)
	Fournisseur	<u>Contact :</u> M. LOTTI
	Consortium Rompf/Steinmuller/Valorga	Responsable du Service Offres
	Parc du Millénaire BP 51	
	34935 Montpellier Cedex 09 France	

1. TYPE DE PROCÉDÉ : CONTINU

2. PRINCIPE ET TECHNOLOGIE DU DIGESTEUR :

Le digesteur est conçu en béton spécial et présente la géométrie d'un parallélépipède (section carrée).

Le réacteur ou fermenteur est équipé de quatre brasseurs transversaux, à rotation lente, placés en série.

Ils sont destinés à éviter la formation de couches de matériaux flottants. Le plancher du réacteur est équipé d'un fond mouvant (plancher poussoir) assurant le déplacement des sédiments vers des zones où les brasseurs sont actifs. Cette conception permet de garantir une bonne homogénéisation de la matière.

Les orifices d'introduction et d'extraction de la matière sont situés aux extrémités du réacteur. Celui-ci est souvent dénommé réacteur horizontal à flux séquentiel car la matière avance par l'introduction de matière fraîche et l'extraction d'une fraction de la matière digérée.

La matière est introduite à l'aide de pompes à béton et est extraite via un récipient dans lequel un vide (vacuum) a initialement été opéré. Le récipient constitue une sorte de sas entre le digesteur et l'unité de déshydratation. Avant la vidange d'une fraction de digestat, on procède au vacuum du récipient en ouvrant une vanne reliée à une pompe à vide. La vanne est ensuite refermée et une autre vanne, située entre le digesteur et le récipient, est ouverte : le digestat est alors aspiré dans le récipient. Enfin, l'application d'une pression dans le récipient permet de chasser le digestat vers l'unité de déshydratation après ouverture d'une vanne située entre le récipient et l'unité de déshydratation.

Le digesteur est isolée thermiquement et chauffé par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. Les conduites de l'échangeur dans lesquelles circulent l'eau sont réparties sur toutes les surfaces du réacteur ; l'eau est chauffé en récupérant la chaleur du groupe de chaleur force de l'installation.

3. DURÉE DE LA DIGESTION / TEMPÉRATURE DANS LE DIGESTEUR

Le temps de séjour dans le digesteur est de 21 jours. La température à l'intérieur oscille entre 55°C et 58 °C.

4. PARAMÈTRE CONTRÔLÉS

La température du digesteur, la production de biogaz et le pH du digestat.

5. OPÉRATIONS DE PRÉ-TRAITEMENT

La matière est acheminée vers une trémie doseuse équipée d'un ouvre sacs, puis est réduite dans un broyeur à vis de manière à atteindre une granulométrie optimale pour un pré-compostage intensif en box ; ce dernier est toutefois précédé d'un déferraillage.

Une fermentation intensive de la matière est réalisée durant 2 à 4 jours dans des box de compostage afin de la préparer. Ces box sont fermés à l'aide d'une bâche couvrant la totalité des boxes ainsi que le système de remplissage de manière à conserver une atmosphère optimale pour la fermentation.

Ces boxes se composent d'éléments de parois en bois ou en béton, de planchers poussoirs à entraînement hydraulique pour la vidange du box et d'un système de transport et de distribution à spirales robuste. Une ventilation forcée intermittente au travers du plancher assure l'aération de la matière.

A l'issue de cette hydrolyse aérobie, la matière est envoyée dans un doseur à vis pour être malaxée et éventuellement diluée avec de l'éluat avant d'être introduite dans le digesteur.

6. OPERATIONS DE POST-TRAITEMENT

Le substrat digéré est acheminé vers une presse à vis pour être déshydraté. L'éluat est utilisé pour humidifier le compost dans les tunnels et/ ou corriger la teneur en MS à l'entrée du digesteur (dilution du substrat IN).

Le surplus est envoyé dans une cuve pour être chauffé et épaissi par évaporation en utilisant la chaleur produite par le groupe chaleur force de l'installation. Le concentrat produit est acheminé vers les tunnels de compostage.

Le gâteau de la presse est traité dans des boxes de compostage pour une post-fermentation intensive de 3 à 4 semaines. En sortie, la matière est affinée dans un double crible à étoiles et un séparateur balistique avant d'être disposé en andains sous hall couvert (si un compost de Rottegrade de IV ou V doit être atteint, le compost séjourne le temps d'une stabilisation de la température).

7. REJETS

7.1 Odeurs :

L'air vicié provenant des halls de réception est épuré dans un biofiltre et rejeté via une cheminée tandis que l'air vicié du hall de préparation est utilisé dans le système d'aération des box de compostage avant d'être désodorisé dans un laveur.

Les vapeurs de l'éluat épaissi thermiquement sont condensées et envoyées dans le ventilateur du biofiltre.

7.2 Jus :

Le bilan hydrique de l'installation est nul étant donné que les éluats sont recyclés dans l'installation.

8. AVANTAGES

- ◆ importante production de biogaz grâce à une grande surface de dégagement (interface gaz/liquide), un taux de remplissage variable et plusieurs brasseurs (à rotation lente),
- ◆ digesteur compact et relativement petit car les matériaux ne doivent pas être dilués,
- ◆ besoins d'énergie thermique faibles et usure limitée car le flux de matériau est minimum,
- ◆ faible consommation d'énergie pour la préparation des matériaux, le transport et la digestion,
- ◆ adaptation flexible aux variations saisonnières, grâce au niveau variable dans le digesteur,
- ◆ forte dégradation de la matière organique grâce à un flux séquentiel quasi-continu.

9. RÉFÉRENCES INDUSTRIELLES

En digestion sèche :

- Baar (CH)	: 6.000 t de FFOM	démarrage en 1996
- Heppenheim (D)	: 33.000 t : FFOM cs, DV, DC	démarrage en 1999
- Lemgo (D)	: 35.000 t : FFOM cs, DV, DC	démarrage : 2000
- Valladolid (E)	: 15.000 t : FFOM tamisée	en cours
- Höppstädten (D)	: 23.000 t : FFOM cs, DV, DC	en cours
- Portès-lès-Valence (F)	: 25.000 t : FFOM cs, DV, DC	en cours

Légende :

FFOM cs : fraction fermentescible d'OM issue d'une collecte sélective

DC : déchets commerciaux

Fiche technico-économique n° 6		Digestion sèche thermophile séquentielle
Site : Lemgo (D)		Système : LINDE
1 /	Données quantitatives - bilan matière	
	Capacité nominale de l'unité	38.000 tonnes
	type de déchets traités	fraction fermentescible d'OM (FFOM): 30.000 t + DV: 6.000 t
	option :	déchets organiques commerciaux (option) : 2.000 t
	Quantités collectées en 1999	33.000 t de FFOM
	autres matériaux	8.000 t de DV
	Collectes:	
	population concernée	364.000 habitants
	ratio de collecte / type de collecte	90 kg/hab./an - collecte sélective en conteneurs
	Bilan matière	
	refus pré-traitement	ferrailles
	IN digesteur	140 t/ jour en pointe
	production nom. garantie biogaz	420 m ³ /h ou 3.820.000 Nm ³ / an (+/- 110 Nm ³ / t)
	matière recirculée entrée digesteur	fraction réchauffée des éluats issus du pressage du digestat
	refus de compostage	?
	compost	10.000 tonnes ?
	Qualité du compost (norme)	Rottegrade III (après 3 S de maturation en box)
		Rottegrade IV à V (après 3 S de maturation suppl. en hall couvert)
2 /	Caractéristiques techniques	
	Stockage des déchets IN :	stockage séparé de la FFOM et des DV
	type	FFOM en fosse - DV sur dalle (plancher mouvant pour les 2)
	Préparation (équipements) avant digestion	
	mode d'alimentation et de transport	transporteurs à chaînes + vis à spirales
	tri/conditionnement	ouvre sac + doseur
		un broyeur à vis (3 rotors) + un de réserve
		déferrailage (overband)
		pré-compostage intensif en box (2 à 4 jours): 4 box de 225 m ³
		calibreur
	Digestion	
	produits entrants	produit pré-composté+ éluat pour ajuster teneur en MS
	composition des déchets à digérer	% 30 à 32 MS - 60 à 80 % MSV/MS
	capacité du digesteur	3 x 820 m ² (utile)
	charge volumique	
	Temps de séjour	21 jours
	Température	thermophile (entre 55 ° et 65 °C)
	mode d'agitation de la matière	4 brasseurs transversaux + fond poussoir sur plancher
	caractéristiques du digesteur	digesteur béton parallépipède horizontal
	Mode de séchage du digestat	presseuse à vis
	siccité in / out	IN : 25 % - OUT :
	Unité de maturation	10 box de compostage intensif de 225 m ³
	durée	21 jours
	retournement / aération	aération forcée (soufflage via plancher) + 1 retournement par S
	degré de maturation	Rottegrade III après fermentation en box
	humidification	avec éluat du pressage des digestats
	Affinage (équipement)	crible à étoiles + séparation balistique
	Traitement des jus de pressat	épaississement thermique / condensation des vapeurs
	Traitement de l'air	
	équipements	biofiltre plat +cheminée d'extraction (air vicié hall de réception)
		2 laveurs acide (air halls de préparation/fermentation/digestion)

	dimensions	
	superficie	250 m ²
	fréquence renouvellement	1x / an
	Traitement du biogaz	
	composition	entre 55 et 60 % de CH ₄
	mode de valorisation (équipements)	2 groupes chaleur force
	stockage biogaz	gazomètre 300 m ³
	energie convertie	
	- chaleur	utilisée pour chauffer l'éluat et les digesteurs
	- électricité	exportée en totalité sur le réseau
	énergie consom. / exportée sur réseau	2 GWh/an (achetée) / 6,6 Gwh / an (vendue)
	Génie civil - Surfaces occupées	Nota : il s'agit d'une installation existante modifiée
	Réception des matériaux	3 x 75 m ²
	hall de préparation clos	1130 m ²
	unité de digestion+déshydratation	775 m ²
	hall avec les box de fermentation	1760 m ²
	1 hall de maturation / stockage compost	1800 m ²
3/	Caractéristiques d'exploitation	
	Puissance installée	1000 KW
	Puissance consommée	52 KWh / t IN (cons. totale du site, éclairage inclus)
	Régime d'exploitation	1 poste / 5 jours / S
	Personnel	
	Entretien	
4/	Données économiques, commerciales	
	Investissement	
	génie civil	30 millions DM (avec transformation des bâtiments existants)
	équipements	26 millions DM (+/- 536 millions BEF)
	Subsidiation	0
	Dépenses	
	amortissement	20 % constant sur 15 ans (EM) dégressif 30 % (20 ans GC prod.; 40 ans GC admin.)
	charges d'exploitation (hors recettes)	155 DM / t (charges d'inv. nouveaux et anciens inclus)
	coût facturé aux communes	250 DM / t (conteneur < 240 l) / 367 DM / t (conteneur >240 l)
	Coût de traitement global	
	Recettes	
	vente compost	0 (vrac agriculture) 60 BEF /sac (particulier)
	vente électricité	3,9 BEF / Kwh (achat à 2 BEF / Kwh)
	Remarques :	
	En 1974, l'Intercommunale de LIPPE a commencé le compostage d'OM brutes. En 1986, l'Intercommunale a démarré la collecte sélective des déchets organiques et a les composter. Suite à des nuisances olfactives la capacité de l'installation a du être réduite (FFOM trop humides et une fraction de structurant DV insuff.) Afin de se laisser la possibilité de traiter des déchets commerciaux l'Intercom. a opté d'office pour une méthanisation thermophile (hygiénisation obligatoire).	
	Contact :	
	Installation et exploitant :	
	Kompostwerk Lemgo	Herr Thomas Rücker
	Zur Maibolte 200	Directeur commercial de "Abfall Beseitigungs gmbh LIPPE"
	32657 Lemgo (D)	
	Fournisseur	
	LINDE BRV Biowaste technologies AG	M. J. BUCHI
	Succursale de Bôle - Rue du Verger 11	Directeur commercial
	CH - 2014 Bôle	41 (0) 328 430 450

1. TYPE DE PROCÉDÉ : CONTINU

2. PRINCIPE ET TECHNOLOGIE DU DIGESTEUR :

Après un pré-traitement hydro-mécanique (cf. point 5) commence l'étape de la digestion.

La digestion liquide peut être monophasique ou polyphasique :

En digestion monophasique, la suspension organique est envoyée dans un réacteur agité au biogaz afin d'être digérée et transformée en biogaz..

Si une hygiénisation est demandée (ou nécessaire), la suspension est chauffée à 70 °C avant de passer dans le réacteur agité.

En digestion polyphasique, le processus de décomposition est réparti entre plusieurs réacteurs où s'opèrent distinctement les phases d'acidification, d'hydrolyse et de méthanisation. La suspension est séparée en une matière solide filamenteuse et une matière liquide. La première est dirigée vers un réacteur d'hydrolyse pour être mélangée à de l'eau de process et y séjourner 2 jours tandis que la seconde passe directement dans le méthaniseur.

Le méthaniseur est un réacteur en acier où séjourne la suspension ; c'est là que s'opère la production de biogaz. L'agitation est assurée continuellement par l'injection de biogaz en boucle à haute pression.

3. DURÉE DE LA DIGESTION / TEMPÉRATURE DANS LE DIGESTEUR

Le temps de séjour moyen de la suspension dans le méthaniseur est de 14 jours (ou 7 j + 7 j si la digestion est polyphasique). La digestion a lieu sous une température interne d'environ 37°C. Dans le cas où une hygiénisation est nécessaire (digestion de restes alimentaires, de déchets commerciaux ou absence de compostage sur le produit final), la suspension est portée à 70°C, au moyen d'un échangeur de chaleur à tubes, et ce pendant une heure, avant d'entrer dans le digesteur, afin de détruire les organismes pathogènes. La pulpe est ensuite refroidie à 37 °C avant d'être séparée en une phase liquide et une phase filamenteuse.

4. PARAMÈTRE DE CONTRÔLE

Les paramètres contrôlés sont : le pH du digestat, la température à l'intérieur du réacteur et la production de biogaz. La régulation du digesteur s'opère par la quantité de matières entrantes.

5. OPÉRATIONS DE PRÉ-TRAITEMENT

Les déchets organiques sont réduits dans un broyeur à vis (granulométrie < 100 mm) avant d'être introduites dans l'hydropulpeur.

Le pré-traitement a pour principal objectif la séparation des indésirables dans la préparation en phase liquide :

La matière organique broyée entre dans un hydropulpeur dans lequel de l'eau de process recyclée est ajoutée et agitée de sorte à défibrer la matière. Cette opération permet d'obtenir une suspension organique épaisse pouvant être pompée et dont la matière sèche ne contient plus que des indésirables fins < 10 mm (sable, cailloux, débris de verre...).

Les éléments indésirables légers tels que plastiques, textiles et bois sont enlevés au moyen d'un racleur tandis que les refus lourds > 10 mm sont extraits au travers du sas de l'hydropulpeur.

En seconde étape, un hydrocyclone permet d'éliminer les éléments fins toujours présents dans la suspension organique (sable, cailloux) en déchargeant un minimum de M.O..

6. OPERATIONS DE POST-TRAITEMENT ET MATURATION DU DIGESTAT

A la sortie du digesteur, la suspension passe dans une centrifugeuse afin de séparer la fraction solide et liquide. L'eau de process est traitée et une partie est recirculée vers l'hydropulpeur ; l'eau en excès est épurée avant d'être évacuée vers l'extérieur.

La fraction solide du digestat après centrifugation est compostée comme amendement organique pour le sol.

Le principe du turbocompostage est appliqué et permet de réduire à moins de 4 semaines la décomposition sans retournement car le matériau a été défibré dans l'hydropulpeur.

Ce procédé consiste à recouvrir les andains par une membrane semi-perméable afin de la protéger des conditions climatiques et créer des conditions optimales pour les micro-organismes. La couverture est perméable à l'eau, au CO₂ ainsi qu'aux odeurs. L'O₂ et la température sont contrôlés et régulés par l'aération forcée des andains (débit du ventilateur) ce qui empêche tout échauffement exagéré de l'andain.

Dans le même principe de compostage on trouve le box de compostage avec un toit semi-perméable.

7. REJETS

- Odeurs : pm

- Jus: l'eau en excès est contaminée par des indésirables et des produits de la transformation biologique. Elle est traitée mécaniquement et biologiquement avant d'être dirigée vers une station d'épuration. En cas de besoin, une ultrafiltration et osmose inverse peut être réalisée.

8. RÉFÉRENCES INDUSTRIELLES

- District of Kelheim (Högl Kompost)	: 13.000 t de FFOM	08/95
- Karlsruhe (D)	: 8.000 t de FFOM	1996
- Erkheim (D)	: 11.500 t FFOM + DC	1997
- Munich (D)	: 20.000 t FFOM	1997
- Wadern-Lockweiler (D)	: 20.000 t FFOM + DC	1998
- Ieper (IVVO – B)	: 50.000 t FFOM	en cours

9. AUTRES PROCÉDÉS SIMILAIRES

LINDE propose également un procédé liquide de digestion des déchets organiques (mésophile ou thermophile) en 1 ou 2 étapes selon les déchets et les contraintes du site.

10. INSTALLATION DE BIOMÉTHANISATION DE L'IVVO

En 2000, l'intercommunale IVVO a attribué le marché d'une usine de biométhanisation à la société allemande MAT travaillant avec la technologie BTA. Bien que la collecte de GFT n'atteint que 35.000 tonnes par an, le gisement de déchets commerciaux devrait permettre d'optimiser l'installation et atteindre une capacité de 50.000 tonnes.

La digestion s'effectue dans 2 digesteurs en série (hydrolyse + méthanisation) avec un temps de séjour de 7 jours dans chacun.

Un post-compostage du digestat est prévu en tunnels durant 2 semaines suivi d'une stabilisation / maturation de 6 semaines en box recouvert d'une bâche semi-perméable.

Un biofiltre assure l'épuration de l'air capté dans les halls de pré-traitement et d'affinage et dans les tunnels.

Cette unité devrait être opérationnelle fin 2002.

Fiche technico-économique n° 8a		Installation de composé déshydraté à partir d'OM bruts résiduels
Site : Rennerod		Système : HERHOF
1 /	Données quantitatives - bilan matière	
	Capacité nominale de l'unité	100.000 tonnes d'OM résiduelles
	possibilité d'extension	150.000 tonnes
	Bilan matière (en % sur 100 % entrant)	
	non-ferreux pré-tri	3%
	perte de matière (gaz, eau)	30%
	output tunnels	67%
	métaux post-tri	2%
	minéraux post-tri	15%
	Trockenstabilat (TS)	50%
	Valeur énergétique du TS	PCI : entre 16 et 18 MJ/Kg
2 /	Caractéristiques techniques	
	Stockage des déchets IN :	dans un hall fermé: en fosse.
	mode d'alimentation	au grappin et en fonctionnement entièrement automatisé
	Préparation (équipements)	Broyage à 150 mm dans un broyeur lent bi-rotor Séparation des non-ferreux dans les broyats
	Séchage biologique en tunnel	
	durée	6 à 7 jours
	nombre de box	7
	ventilation	soufflage via un plancher béton perforé
	apport d'eau	non
	Post-traitement (équipements)	séparation de la fraction lourde et légère : trommel de tamisage et tables densimétriques pour les 2 fractions séparation des non-ferreux sur la fraction légère Récupération du TS et retour à Asslar pour prod. énergie
	Séparation des inertes, métaux et du verre (fraction lourde) à l'usine d'Asslar:	
	broyage et tamisage - séparation des ferreux- séparation des non-ferreux- broyage-tamisage	
	les poussières du post-traitement sont récupérées dans un filtre à manches et mis en pellettes	
	séparation du verre par lecture optique (verre blanc, brun, vert).	
	Traitement des condensats de l'air vicié	Unité de traitement HERHOF : réacteur biologique et ultra filtration réutilisation comme eau de process pour refroidissement air vicié puis évaporation dans une tour de refroidissement.
	Traitement de l'air vicié	Système LARA
	constituants	four avec brûleur à gaz
	EVA : Energetische Verwertung Anlage (Asslar)	Combustion du TS pour couvrir les besoins énergétiques de Asslar
	Equipements	four à grilles refroidies à l'eau (2 t/h). Chaudière à vapeur (10 t/h 40 bars) - turbine à condensation - traitement de fumées
	Surface globale	5500 m ²
	1 hall de réception et de stockage en fosse	
	1 hall de préparation et de bioséchage	
	1 hall de pos-traitement	
	implantation du système LARA	
	routes et voies + réserve extension	
3 /	Caractéristiques d'exploitation	
	Consommation électrique	90 KWh/ t
	Consommation d'eau (sanitaire+ process)	0,2 m ³ / t
	Régime d'exploitation	
	Personnel	6

4/	Données économiques, commerciales	
	Investissement	pour une installation de 100.000 tonnes (hors traitement des inertes)
	génie civil	
	équipements	globl : 990 millions de BEF
A	Coût d'amortissement de l'investissement / an	en DM /an
	taux de 7 % - 20 ans GC/10 ans EM	5 279 550
B	Charges d'exploitation / fonctionnement	en DM /an
	personnel de production (11)	990 000
	pièces d'usures et GT	1 600 000
	service entretien	125 000
	consommables (eau, gaz, électricité)	1 616 740
	traitement eau de process	65 000
	frais admin., assur.	250 360
	<i>coût d'exploitation primaire (en DM / an) :</i>	<i>9 926 650</i>
	risque et profit (10 %)	992 665
C	Recettes ou élimination	
	redevance TS (80 DM / t)	4 640 000
	redevance Fe (50 DM/ t)	120 000
	vente non ferreux (600 DM / t)	-400 000
	Total coût de traitement (DM/ t)	152,8
	<i>en BEF / tonne</i>	3 151,4
Remarques :		
	Pour une usine de 100,000 tonnes traitant également les inertes, le coût de traitement atteint 3.232 BEF /t	
	A titre indicatif, la future usine de traitement de IOK et Igemo en Belgique (150,000 tonnes/ an) coûtera	
	1,44 milliard de BEF (traitement des inertes inclus) !	
Contact :		
	Installation et exploitant :	
	Fournisseur	

Fiche technico-économique n° 8b		Traitement mécano-biologique de déchets ménagers résiduels
Site Borken /		Systeme : LINDE
1 / Données quantitatives - bilan matière		
Capacité nominale de l'unité		85.000 tonnes avec possibilité d'extension à 110.000 tonnes
type de déchets		déchets gris résiduels et déchets encombrants broyés
capacité horaire		2 x 25 t/h
Collectes:		
population concernée		
type de collecte		sac en plastique
Bilan matière (en poids brut sur entrants)		
fraction lourde / légère (% IN)		fraction lourde (< 140 mm) : 2/3 - fraction légère (> 140 mm) : 1/3
perte de matière (gaz, eau)		
ferrailles issus du pré-tri		
refus mis en décharge		
fraction légère pour incinération		
2 / Caractéristiques techniques		
Stockage des déchets IN :		
mode d'alimentation		trémie en fosse + convoyeur à bande incliné
Ttri / conditionnement (équipements)		
		broyage des DE + mélange fraction OM résiduelle
		trommel mailles 140 mm / séparation ferreux
		fraction > 40 mm: tambour à homogénéisation (injection eau et boues poss.)
		fraction > 40 mm (haut PCI) : broyage et mise en balles
Séchage		
temps de séjour / température		4 semaines / 20 °C
dimensions box / qté IN par box		5 m x 5 m x 30 m /
nombre de box		26
ventilation		soufflage via un plancher mouvant
apport d'eau		oui
Evacuation		
		remplissage automatique en conteneurs
		transporteur réversible + capot avec récupération des poussières
Traitement des eaux		
bilan hydrique		nul
Traitement de l'air		
constituants		biofiltre (air vicié hall de réception/préparation)
		laveur acide (air des tunnels)
dimensions		hauteur : / superficie biofiltre : m ²
capacité		globale: 120.000 M ³ / h dont 85.000 m ³ /h pour les tunnels
fréquence renouvellement de l'air		2,5 / h pour le hall de réception
Génie civil - surfaces occupées		
hall de réception et prépa.		7.700 m ²
hall de séchage biologique		4.000 m ²
voiries, traitement de l'air		17.500 m ²
global		+/- 3 ha
3 / Caractéristiques d'exploitation		
Puissance installée		? KW
Puissance consommée		? KW / t IN
Régime d'exploitation		
		1 poste ; 5 j / S
Personnel		4
Entretien		

4/	Données économiques, commerciales		
	Investissement		
		génie civil	15 millions de DM (309,4 millions BEF)
		équipements	15 millions de DM
	A. Coût d'amortissement de l'investissement / an		
		taux de 7 % - 20 ans GC/10 ans EM	
	B. Charges d'exploitation / fonctionnement		
		personnel de production	
		maintenance (% inv. GC + % inv. EM)	
		consommables	
		traitement eau de process	
		frais de mise en décharge	
		frais admin., assur.	
	C. Recettes		
		vente fraction à haut PCI pour incinération	
		Total cout de traitement (A+B-C)	
		Coût de traitement facturé aux communes	250 DM / t (5.156 BEF / t)
	Remarques :		
		L'installation a été mise en service en novembre 2000.	
	Contact :		
	Installation et exploitant :		
		SCHRÖDER + PARTNER GbR	
		Borken (D)	
	Fournisseur		
		LINDE BRV Biowaste technologies AG	M. J. BUCHI
		Succursale de Bôle - Rue du Verger 11	Directeur commercial
		CH - 2014 Bôle	41 (0) 328 430 450

Fiche technico-économique CHAPITRE 4.1		Plate-forme de maturation et de traitement des MIOM
Site : Grimbergen (B)		Exploitant : VALOMAC
1 / Données quantitatives et bilan de matières		
Capacité nominale de l'unité	250.000 tonnes de MIOM	
capacité de la chaîne de traitement	150 t / h (limitée à 100 t/h par le SNF en ce moment car travaille sur la fraction 10-40 mm au lieu de la fraction 20-40 mm)	
Quantités traitées en 2000	60.000 tonnes de MIOM	
Bilan matière depuis mise en service	2800 t de ferrailles - 123 tonnes de non-ferreux	
	467 t d'imbrulés et 25.000 t de MIOM valorisés (0-10 mm)	
2 / Caractéristiques des équipements et ouvrages		
Stockage des déchets IN :	Sur dalle / 1 cellule par UIOM / prématuration de 2 semaines	
superficie totale	10.000 m ²	
Alimentation de la chaîne de traitement	trémie hors sol avec rampe d'accès en béton	
engin de manutention	chargeur sur pneus	
Pré-criblage	à la maille 80 mm	
équipement	crible à barreaux 3 étages	
Criblage secondaire	à la maille 40 mm sur la fraction 0-80 mm	
équipement	crible à barreaux 4 étages	
Séparation ferreux		
équipements	> 80 mm : poulie magnétique + trommel de nettoyage	
	fraction 40-80 mm : overband puis broyage (broyeur provisoire)	
	fraction 0-40 mm : overband	
Criblage tertiaire	à la maille 10 mm sur fraction 0-40 mm	
équipement	crible à haute énergie type flip-flow	
Séparation non-ferreux	sur fraction 10-40 mm	
équipement	séparateur à courant de Foucault (ANDRIN) dans local fermé	
Séparation imbrulés	sur fraction 10-40 mm	
équipement	séparation aéraulique (concepteur : DUHOS)	
Maturation	fractions 0-10 mm et 10-40 mm	
durée	3 mois	
mode de manutention	chargeur	
hauteur de stockage	3 mètres	
Traitement des effluents	bassin de rétention pour les eaux de pluie et d'égouttage	
	analyse puis rejet à l'égout ou vers la step d'Ecotechnik	
Génie civil - Surfaces occupées	superficie globale : 4,7 ha	
Réception	10.000 m ²	
Aire de traitement	4000 m ²	
Dalle de maturation	2500 m ²	
Stockage, zone verte et bassin de rétention	3 ha	
3 / Caractéristiques d'exploitation		
Régime d'exploitation	actuellement : 10 j / mois - en 2002 : 5 j / S	
Personnel	2 à 3	

Fiche technico-économique CHAPITRE 4.1		Plate-forme de maturation et de traitement des MIOM
Site : Grimbergen (B)		Exploitant : VALOMAC
4/ Données économiques		
	Investissement	5 millions d'Euros (201,7 millions BEF)
	génie civil - aménagement du site	assainissement du terrain, mur en bouées, construction sur pieux couvertures étanches, fossé de rétention,...
	équipements (chargeurs compris)	50 à 60 millions BEF
A.	Coût d'amortissement de l'investissement	
	taux de % - durée	non communiqué
B.	Charges d'exploitation / fonctionnement	
	personnel de production	2
	maintenance (1% inv. GC + 5 % inv. EM)	non dét.
	consommables : fuel	non dét.
	traitement eau de process	Step de l'usine voisine
	frais de mise en décharge	non dét.
	divers (frais admin., assur., analyse)	non dét.
C.	Recettes	
	vente MIOM	variable.
	Total cout de traitement (A+B-C)	600 BEF / t (reprise sur site et hors coûts d'exutoire)
Remarques :		
	Date de mise en service :	01/04/1999
	Modifications prévues :	criblage avec maille 20 mm séparation des non-ferreux sur le calibre 10-20 mm séparation aéraulique sur calibre 20-40 mm
	Problème majeur :	absence d'infrastructure de chargement pour un transport fluvial localisation excentrée de la plate-forme par rapport aux UIOM de la Région wallonne
Contact :		
	Exploitant	
	VALOMAC (Groupe WATCO)	Contact :
	Rue Gatti de Gamond 254	M. A. Dhaene
	1180 Bruxelles	32 - 2 - 370 66 22