

# ETAT DE L'ART DE LA PRODUCTION DE LIQUIDES OU DE GAZ A PARTIR DE DECHETS AUTRES QUE LES DECHETS DE BIOMASSE PROPRE

**Mars 2012, mise à jour partielle sept. 2014**

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par AJI-Europe – Christian DELAVELLE

**Coordination technique** : André KUNEGEL – Service Mobilisation et Valorisation des déchets – Direction Economie Circulaire et Déchets – ADEME Angers



---

**RAPPORT FINAL**

## AVERTISSEMENT

**Note importante : Les informations relatives aux procédés présentés dans ce rapport sont basées sur les affirmations des constructeurs et plus généralement des personnes contactées ou de sites Internet. Ces informations ne sauraient engager ni l'ADEME, ni AJI Europe. Le fait que les procédés soient mentionnés dans cette étude ne présage en rien de leurs performances, voire même de leur réalité ni de leur viabilité technique, économique et environnementale.**

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

## SOMMAIRE

RESUME.....	7
ABSTRACT.....	8
SYNTHESE.....	9
1 Contexte, objectifs et méthodologie de l'étude.....	17
1.1 Contexte et objectifs.....	17
1.2 Champ de l'étude.....	17
1.3 Méthodologie.....	18
2 Rappel des caractéristiques de base des procédés étudiés.....	19
2.1 La gazéification.....	19
2.2 La pyrolyse.....	19
2.3 La dépolymérisation thermique.....	20
2.4 La solvolysé.....	20
2.5 L'utilisation de fluides sub et supercritiques.....	20
3 Panorama du développement des procédés recensés.....	21
3.1 Technologies et stades d'avancement.....	21
3.2 Aires de R&D et de diffusion des procédés.....	24
3.3 Nature des déchets traités.....	24
3.4 Nature des produits fabriqués.....	26
3.5 Des contextes contrastés selon les zones géographiques.....	28
4 Les procédés de gazéification.....	31
4.1 Niveau de développement.....	31
4.2 Technologies utilisées.....	32
4.3 Rendement énergétique.....	33
4.4 Nature des déchets traités.....	33
4.5 Possibilités d'utilisation de mélanges de déchets de biomasse et de non biomasse.....	35
4.6 Produits fabriqués.....	35
4.7 Modularité des installations.....	36
5 Procédés de pyrolyse.....	38
5.1 Niveau de développement.....	38
5.2 Nature des déchets traités.....	39
5.3 Produits fabriqués.....	39
5.4 Modularité des installations.....	40
6 Procédés de dépolymérisation thermique.....	41
6.1 Niveau de développement.....	41
6.2 Nature des déchets traités.....	41
6.3 Produits fabriqués.....	41
6.4 Modularité des installations.....	42
7 Procédés de solvolysé.....	43

8	Procédés utilisant des fluides sub et supercritiques .....	45
9	Diagnostiques individuels des procédés recensés .....	46
9.1	Structure de présentation des diagnostics individuels .....	46
9.2	Procédés de gazéification .....	47
9.3	Procédés de pyrolyse .....	61
9.4	Procédés de dépolymérisation .....	66
9.5	Procédés de solvolysse .....	71
9.6	Traitement en milieu sub ou super-critique .....	71
9.7	Synthèse des diagnostics individuels .....	71
10	Evaluation des gisements de déchets potentiellement captables par les procédés étudiés .....	77
11	Atouts et handicaps des procédés recensés- Perspectives de développement .....	80
11.1	Préambule .....	80
11.2	Enjeux réglementaires .....	80
11.3	Cadre fiscal.....	87
11.4	Contexte économique.....	88
11.5	Nature et disponibilité des déchets .....	89
11.6	Capacité optimale et modularité des installations.....	95
11.7	Coût du « ticket d'entrée » sur le marché.....	96
11.8	Positionnement des procédés recensés dans l'échelle des priorités de valorisation des déchets.....	97
11.9	Synoptique des besoins d'aide à la R&D et des leviers d'amélioration.....	98
12	Conclusion.....	100
	Annexe 1 : Caractéristiques de base des procédés identifiés .....	101
	Annexe 2 : Tableaux détaillés de dénombrement des procédés.....	112
	Annexe 3 : Liste des procédés exclus du champ de l'étude.....	115
	Annexe 4 : Fiches « Procédés » .....	122
1	<i>Advanced Plasma Power (Gasplasma)</i> .....	123
2	<i>Agilyx</i> .....	129
3	<i>Alphakat</i> .....	131
4	<i>Alpha-Recyclage</i> .....	134
5	<i>Alter-NRG (PGVR)</i> .....	138
6	<i>Anhui Orsun environmental technology</i> .....	143
7	<i>Basse-Sambre (PIT-Pyroflam)</i> .....	144
8	<i>Bellwether (IMG)</i> .....	148
9	<i>Bioleum</i> .....	150
10	<i>Bio Oil</i> .....	152
11	<i>Bio 3d / Méthanation</i> .....	155
12	<i>Carbon Green</i> .....	157
13	<i>Climax Global Energy</i> .....	159
14	<i>Cynar / Sita</i> .....	161
15	<i>Deusa</i> .....	165
16	<i>Ecoloop</i> .....	166
17	<i>Eneria</i> .....	170

18	<i>Enerkem (Biosyn)</i> .....	173
19	<i>Envion</i> .....	177
20	<i>Envirotherm</i> .....	180
21	<i>Europlasma (CHO Power)</i> .....	184
22	<i>Finaxo (Pyrobio)</i> .....	188
23	<i>Global Clean Energy</i> .....	192
24	<i>InEnTec (USA) / S4 Energy Solutions (Plasma Enhanced Melter)</i> .....	193
25	<i>INEOS (Bioenergy Process)</i> .....	198
26	<i>Inter Engineering / Solventure</i> .....	202
27	<i>Klean Industries</i> .....	204
28	<i>Kopf SynGas</i> .....	207
29	<i>Logmed Cooperation</i> .....	210
30	<i>Energy Research Centre of The Netherlands (Milena)</i> .....	214
31	<i>Nill-Tech</i> .....	218
32	<i>Litélis (Orgawatt)</i> .....	222
33	<i>Plasco Energy Group</i> .....	226
34	<i>Plasma Power</i> .....	229
35	<i>Plastic Advanced Recycling</i> .....	230
36	<i>Pyrum</i> .....	232
37	<i>Rentech (SilvaGas)</i> .....	237
38	<i>Solena Fuels (SPGV)</i> .....	240
39	<i>Thalès (WGS)</i> .....	246
40	<i>Toshiba (SPR)</i> .....	247
41	<i>Tree Power</i> .....	250
42	<i>T-Technology</i> .....	254
43	<i>Vadxx</i> .....	256
44	<i>Wartsila (Novel)</i> .....	258
45	<i>Xylowatt</i> .....	260
	Annexe 5 : Gisements de déchets potentiellement captables par les procédés étudiés.....	266
	Annexe 6 : Norme Européenne EN 590 (Diesel 10ppm).....	274
	Annexe 7 : Extraits de la Directive 98/70/CE du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants.....	275
	Annexe 8 : Extraits de la Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009, relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.....	277
	Annexe 9 : Références bibliographiques .....	278

## RESUME

Les procédés thermiques utilisant des déchets autres que de la biomasse propre, qui produisent des liquides ou des gaz combustibles ou utilisables par l'industrie chimique, suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant de la part des collectivités locales, des industriels et des détenteurs de déchets.

La présente étude dresse un état de l'art de ces procédés à l'échelle de l'Europe, de l'Amérique du Nord et de certains pays d'Asie.

On observe en Europe un foisonnement d'initiatives, ayant abouti à un nombre élevé de procédés au stade du pilote ou du démonstrateur industriel.

Sur les 49 procédés recensés dans cette étude, les procédés de gazéification sont nettement majoritaires. Néanmoins, le nombre de procédés ayant atteint le stade industriel est sensiblement le même pour la gazéification et la pyrolyse.

Bien qu'il soit souvent difficile de tracer une frontière précise entre les différents stades de développement des procédés, à titre indicatif, 11 procédés ont été considérés comme étant à l'échelle industrielle, 14 à l'échelle de démonstrateurs semi-industriels, 17 de pilotes, 6 en sont au stade du laboratoire et 1 n'a pas pu être renseigné faute d'information.

Au final, l'étude a mis en évidence 17 procédés ayant un degré d'intérêt élevé et dont l'évolution mérite d'être suivie plus particulièrement, dont 5 en France.

Plusieurs facteurs liés à l'évolution du contexte économique et réglementaire au cours des dix dernières années, contribuent à renforcer l'intérêt de ce type de procédé : l'évolution prévisible à la hausse sur les moyen et long terme des coûts des énergies fossiles, les limitations mises en place dans de nombreux pays sur la mise en décharge (critères d'admissibilité des déchets ou taxation dissuasive), les objectifs de valorisation de nombreuses catégories de biens d'équipements en fin de vie, les limitations sur les capacités d'incinération et de mise en décharge imposées en France par le Grenelle de l'Environnement, les objectifs de préservation des ressources énergétiques et de limitation des émissions de gaz à effet de serre, ...

La recherche de voies de valorisation énergétique des déchets les plus performantes possibles, la disponibilité de grandes quantités de déchets à fort PCI non encore valorisés à ce jour et le refus sociétal de l'incinération contribuent également à favoriser le développement de ce type de procédé de valorisation.

Cependant, malgré ces facteurs favorables, peu de procédés thermiques avaient réussi, en France, à percer de façon décisive au plan industriel au moment de l'étude. La situation est similaire dans les autres régions du monde, mais est susceptible d'évoluer rapidement dans les mois et années à venir compte tenu des très nombreux projets en cours, et le dynamisme du secteur.

L'évolution de la réglementation relative aux ICPE<sup>1</sup> constituerait un levier important pour favoriser le développement de ces procédés en France.

D'autre part, la plupart des concepteurs de nouveaux procédés éprouvent des difficultés à franchir l'étape de la réalisation d'une première référence industrielle crédible. Une aide financière aux projets les plus prometteurs au stade du pilote industriel ou démonstrateur, apparaît indispensable pour le passage à l'échelle industrielle.

Enfin, les concepteurs et les utilisateurs de procédés pourraient joindre leurs efforts afin de trouver des solutions pour surmonter le manque de compétitivité économique de ces procédés lors des premières réalisations, par rapport aux voies alternatives ayant au haut degré de maturité, en particulier l'incinération des déchets.

### MOTS CLES

Gazéification, pyrolyse, dépolymérisation, solvolysse, déchets, biomasse, état de l'art.

---

<sup>1</sup> ICPE : Installation(s) Classée(s) pour la Protection de l'Environnement

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## ABSTRACT

The thermal processes using wastes other than clean biomass and producing liquids or gas that are combustible or usable in the chemical industries meet a growing interest among local collectivities, industries and waste management companies.

The present study draws up a State of the Art of these processes in Europe, North America and some Asian countries.

A profusion of process developments can be observed in many European countries. Many processes are currently at pilot or demonstrator stages.

Out of the 49 processes identified during this study, the gasification processes are the majority. However the number of processes having reached the industrial stage is approximately the same for the pyrolysis processes and the gasification processes.

Even though it may often be difficult to define a clear borderline between the various stages of development, 11 processes have been considered as having reached the industrial stage, 14 are semi-industrial demonstration plants, 17 are pilots, 6 have reached the laboratory stage and for one of them no information was available concerning the level of development.

As a whole, 17 processes can be considered as having a high degree of interest, among which 5 have been developed in France. Great attention should be paid to the future evolution of these processes.

During the last ten years several economic and regulatory factors have contributed to reinforce the interest for this type of thermal processes: the expected increasing price of fossil energy in the medium and long term, the brake on landfilling such as admission criteria or dissuasive taxation implemented in many countries, the objectives of recovery on many types of goods reaching end of life, the restrictions decided by the "Grenelle de l'Environnement" in France about incineration and landfill capacities, the objectives of energy resources savings and the objectives of greenhouse gas emissions reduction, ... Other factors, such as the efforts to find out efficient and sustainable waste management routes, as well as the existence of large quantities of high calorific value waste being still landfilled contribute to boost the development of these processes.

Nevertheless, despite these fostering factors, few thermal processes had successfully reached the industrial stage in France, at the time this study was carried out. This can also be observed in other parts of the world. However, the situation is likely to change rapidly in the next few months or years due to the numerous ongoing projects, and the dynamism in this realm.

In France, a more adequate and specific regulation about the plants submitted to environmental regulation ("ICPE") would have a positive impact on the development of these processes. Moreover, process designers have often difficulties to reach the step of the first industrial reference. A financial assistance to the most promising processes being at the pilot or demonstration stage would be useful.

Eventually, process designers and process users should put their efforts in common in order to optimize the economic balance of these processes, this factor remaining the main weakness of these emerging processes compared to very mature waste valorization routes, especially incineration.

### KEY WORDS

Gasification, pyrolysis, depolymerisation, solvolysis, waste, biomass, state-of-the-art.

## Synthèse

### Avertissement

*Le degré de fiabilité des revendications des inventeurs, constructeurs, ou revendeurs de ces procédés est éminemment variable, ce qui implique que les informations fournies dans le présent rapport doivent être considérées comme sujettes à caution. Cela concerne l'ensemble des informations qui sont fournies dans ce rapport, et notamment le degré de maturité des procédés, leurs performances, et la nature de déchets pouvant être traités.*

*De plus, ce secteur d'activité étant en forte évolution, les informations recueillies au courant de l'étude (1<sup>er</sup> semestre 2012) sont susceptibles d'avoir évoluées rapidement depuis. Certaines informations ont été mises à jour après cette date. La date de leur mise à jour est indiquée entre parenthèse.*

*Cette étude avait comme objectif d'être exhaustive dans l'identification et l'analyse des procédés entrants dans son champ, mais compte-tenu du foisonnement d'initiatives dans ce domaine, cet objectif n'est, tout naturellement, que partiellement atteint. Le lecteur est invité à prendre contact avec la personne en charge de la coordination technique de la présente étude (cf. page de garde), pour tous compléments et précisions.*

### Contexte et objectifs de l'étude

Les procédés thermiques permettant de produire des liquides ou des gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant de la part des collectivités locales, des industriels engagés dans le développement de thèmes mis en avant par le Grenelle de l'Environnement (piles à combustible, biocarburants,...) et plus généralement, des gros utilisateurs d'énergie (industriels ou autres) et des détenteurs de déchets dont la valorisation matière est difficile.

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

- ✓ dresser un état de l'art des procédés thermiques de traitement des déchets (hors déchets de biomasse propre) conduisant à la production de liquides ou gaz, à l'échelle de l'Europe, de l'Amérique du Nord et de certains pays d'Asie ;
- ✓ évaluer les gisements français des déchets potentiellement traitables par ces procédés ;
- ✓ mettre en perspective les procédés identifiés afin de voir comment ils se positionnent en terme de compétitivité par rapport aux autres filières de traitement ou d'élimination appliquées aux mêmes déchets (incinération, recyclage, compostage, mise en décharge, ...) ;
- ✓ en déduire des leviers d'amélioration et des pistes de R&D à privilégier pour promouvoir le développement de ces procédés dans les secteurs pertinents.

### Champ de l'étude

**Les procédés** concernés par cette étude sont tous les procédés thermiques de traitement de déchets produisant des gaz ou des liquides, c'est-à-dire fonctionnant à une température supérieure à 100 °C. Ceci implique notamment que sont exclus du champ de l'étude les procédés de méthanisation. Sont également exclus les procédés qui traitent exclusivement la biomasse propre (déchets végétaux de l'agriculture et de la forêt). Par contre, les procédés traitant partiellement de la biomasse propre et partiellement d'autres déchets font partie du champ de l'étude.



**Les déchets** concernés par cette étude couvrent tous les déchets qui ont été mis en évidence lors de l'inventaire comme pouvant être traités par les procédés qui correspondent au champ de l'étude, tels que diverses catégories de déchets industriels non dangereux (DIND) triés ou en mélange, les déchets ménagers et assimilés (DMA), les refus de tri, les boues, les sous-produits animaux tels que les farines animales, graisses animales, les poteaux, bois traités, et autres biomasses traitées ou polluées, huiles, solvants, produits chimiques, etc. Les lisiers, fumiers, fientes et autres déjections animales, qui acquièrent le statut de déchets uniquement lorsqu'ils sont traités hors de l'exploitation agricole productrice, sont inclus.

Au total, 123 procédés ont été recensés dans la première étape de l'étude. 75 d'entre eux ont ensuite été éliminés car ils n'appartiennent pas au champ de l'étude. Les 49 procédés finalement retenus à l'issue de cette sélection ont ensuite été décrits sous la forme de fiches « procédés » détaillées.

## Technologies et stades d'avancement

Sur les 49 procédés recensés, 11 peuvent être considérés comme étant à l'échelle industrielle, 14 au stade de démonstrateurs semi-industriels, 17 à l'échelle de pilotes, 6 au stade du laboratoire et 1 n'a pas pu être renseigné. Les procédés décrits comme ayant atteint le stade industriel recouvrent en pratique des réalités extrêmement variées et ont des degrés de crédibilité contrastés.

Au plan des technologies utilisées, la répartition des procédés est la suivante : Gazéification : 26, pyrolyse : 11, dépolymérisation: 9, solvolysé : 2, fluide supercritique : 1.

Les procédés de gazéification et de pyrolyse représentent la majeure partie de ceux ayant atteint à un stade industriel, mais c'est la gazéification qui fait l'objet – et de loin – du plus grand nombre de développements (au stade du pilote ou du démonstrateur).

L'Allemagne, les USA et la France concentrent le plus grand nombre de procédés en exploitation ou en développement. L'Allemagne est en pointe au niveau des procédés ayant atteint le stade industriel, les USA et la France pour les procédés pilotes

## Nature des déchets traités ou revendiqués

28 catégories de déchets ont été citées par les entreprises interrogées. Les déchets plastiques sont les plus souvent cités, tant pour les déchets utilisés au niveau industriel que pour les déchets testés. Viennent ensuite les bois usagés et les déchets ménagers (refus de centres de tri, résidus haut PCI issus des unités de TMB, voire des ordures ménagères brutes revendiquées pour certains procédés<sup>2</sup>). Les autres catégories de déchets sont très dispersées.

## Nature des produits fabriqués

- ✓ 15 procédés ont prouvé leur aptitude à une utilisation du gaz de synthèse dans un moteur à gaz pour produire de l'électricité ou dans un four industriel ;
- ✓ 9 procédés permettent de fabriquer une huile destinée à être traitée en raffinerie ;
- ✓ 7 procédés permettent de fabriquer un carburant apte à une utilisation dans des moteurs lents tels que des moteurs marins ou des engins agricoles ou de travaux publics ;
- ✓ 4 procédés revendiquent la fabrication d'un carburant automobile (diesel ou essence) ;
- ✓ 4 procédés visent la fabrication de noir de carbone ;

<sup>2</sup> La réalité de cette dernière revendication est particulièrement sujette à caution.

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

- ✓ 4 procédés fabriquent de l'éthanol ou du méthanol de synthèse
- ✓ 2 procédés (solvolyses) conduisent à la production des matériaux constitutifs des composites traités ou à la production de diols ;
- ✓ 2 procédés fabriquent des produits destinés à servir d'intrants pour la pétrochimie ;
- ✓ 1 procédé utilise sa production pour alimenter un précalcinateur de cimenterie.

## Procédés de gazéification

### Niveau de développement

Quatre procédés recensés sont déclarés être au stade industriel.

Mais il est important de noter que le caractère véritablement « industriel » de certaines installations est sujet à caution, du fait du manque de transparence des informations disponibles. En l'absence d'une expertise détaillée des performances de ces unités, il serait trompeur de considérer qu'elles sont forcément performantes car arrivées au stade industriel.

A noter que les deux derniers procédés mentionnés sont à la limite du périmètre de l'étude, dans la mesure où les unités industrielles existantes sont dédiées à la fabrication de vapeur et d'électricité selon un processus intégré. Ils sont néanmoins mentionnés dans la présente étude car leur fonctionnement ne nécessite pas que le gaz produit soit effectivement brûlé in situ. Les procédés de gazéification recensés couvrent une grande diversité de technologies, avec toutefois une nette prédominance de la technologie du lit fluidisé. Le rendement de ces procédés se situe en général entre 65 et 85 %.

Plusieurs procédés de gazéification constituant des pistes intéressantes pour le futur ont été identifiés, (sans avoir atteint pour certains, le stade industriel) tels que Basse Sambre, Ecoloop, Eneria, Enerkem, Europlasma, Kopf Syngas, Logmed, ...

### Nature des déchets traités

On constate une nette prédominance des bois usagés, des plastiques, des boues de STEP et des déchets ménagers (avec des degrés de préparations variables selon le procédé considéré).

Selon les développeurs de procédés interrogés, cinq critères de caractérisation des déchets traités ont un impact déterminant sur les conditions opératoires et le rendement des procédés, ainsi que sur la qualité des produits fabriqués : le taux d'humidité, la teneur en cendres, la dimension / forme / densité, la présence de soufre et de chlore et l'homogénéité des déchets dans le temps.

### Produits fabriqués

La majorité des procédés de gazéification identifiés permet de produire un gaz de synthèse dont la teneur en impuretés (goudrons, chlore, soufre...) n'autorise qu'un usage comme combustible pour équipements industriels (chaudières, moteurs à gaz, turbines à gaz) ou encore comme combustible dans des installations du type cimenterie ou autre gros consommateur d'énergie, en substitution de combustibles commerciaux d'origine fossile.

Quelques procédés de gazéification produisent toutefois un gaz de synthèse dont le degré de pureté autorise (moyennant un traitement de préparation éventuel) leur utilisation pour la synthèse chimique ou l'élaboration :

- ✓ de l'essence, de gazole de synthèse, de kérosène ou de naphta par voie BtL (« Biomass to Liquid ») au moyen d'une synthèse Fischer et Tropsch (procédé catalytique dont le rendement énergétique est d'environ 60%). La sélectivité de l'essence produite ne dépasse pas 15 à 40% et celle du diesel est proche de 40% ;
- ✓ d'éthanol ligno-cellulosique par fermentation biologique (capacités de 10 à 100 kt/an de production). La sélectivité est de 100% ;
- ✓ de méthanol, par un procédé catalytique dont la sélectivité est supérieure à 99,5% ;
- ✓ d'alcools mixtes (mélange de méthanol, d'éthanol, de propanol et de butanol) par une réaction catalytique dont la sélectivité est variable, de l'ordre de 60 à 90%.

## Procédés de pyrolyse

### Niveau de développement

Quatre procédés recensés sont déclarés être au stade industriel.

Mais il est important de noter que le caractère véritablement « industriel » de certaines installations est sujet à caution, du fait du manque de transparence des informations disponibles. En l'absence d'une expertise détaillée des performances de ces unités, il serait trompeur de considérer qu'elles sont forcément performantes car arrivées au stade industriel.

### Nature des déchets traités

On constate une nette prédominance des déchets plastiques et des pneus usagés.

### Produits fabriqués

Avec la plupart des déchets utilisés, l'huile de pyrolyse obtenue possède un PCI et un point éclair satisfaisants pour une utilisation en tant que combustible. Par contre, elle est souvent pénalisée par une teneur élevée en impuretés (par exemple en noir de carbone dans le cas des pneus usagés) qui autorise seulement un usage direct comme combustible pour des chaudières industrielles (chaufferies...), des procédés industriels en substitution d'autres sources d'énergie, ou pour des moteurs lents tels que les moteurs marins et certains engins agricoles ou de travaux publics, moins exigeants que les automobiles en terme de qualité.

Trois types de traitements de l'huile sont envisageables pour la transformer en un carburant automobile :

- ✓ la distillation. Simple à mettre en œuvre, elle s'avère toutefois peu intéressante car elle aboutit à des rendements en carburant faibles ;
- ✓ le traitement par le procédé de synthèse Fischer et Tropsch. Ce procédé est toutefois en général complexe, coûteux en investissement et envisageable seulement pour des installations de grande capacité. En outre, la réaction Fischer et Tropsch ne s'applique qu'à un mélange gazeux (CO+H<sub>2</sub>). Pour cela, il est nécessaire de passer par une étape intermédiaire de gazéification de l'huile de pyrolyse. Des unités FT miniaturisées (FT microchannels) sont

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

susceptibles d'ouvrir de nouvelles perspectives en matière de production de carburants liquides par de petites unités industrielles ;

- ✓ le co-raffinage avec les produits pétroliers. Cette solution est de nature à permettre de petites unités (c'est-à-dire compatibles avec les gisements localement disponibles) et n'oblige pas à recourir à un procédé Fischer & Tropsch. Mais elle implique des restrictions géographiques pour des implantations à proximité de raffineries, ou des transports qui peuvent, le cas échéant, grever l'intérêt environnemental et la viabilité économique de la filière.

## Procédés de dépolymérisation thermique

### Niveau de développement

Les installations industrielles recensées sont basées sur le procédé de la société Plastic Advanced Recycling Corp. (USA), qui revendique l'exploitation de trois unités en Chine depuis 2002, fabricant une huile dont l'usage n'est pas identifié. Aucune information précise n'a pu être obtenue concernant ces unités, permettant de prouver leur réalité.

### Nature des déchets traités

Les procédés recensés fonctionnent en majorité à partir de déchets plastiques. Les déchets hospitaliers et les DEEE constituent également des pistes.

## Procédés de solvolysse

Deux projets de recherche concernant des procédés de recyclage des composites par solvolysse ont été identifiés au stade laboratoire :

- Le projet RECCO, porté par l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB) et financé par l'ADEME, vise le recyclage des fibres de carbone de matériaux composites sous forme de fibres semi-longues, par solvolysse supercritique, sans altérer leurs propriétés mécaniques.
- Le projet AERDECO (Aéronautique Déchets Composites), porté par Mixt Composites Recyclable (MCR) et financé dans le cadre du 7<sup>e</sup> appel à projets relevant du Fonds Unique Interministériel (FUI 7). Il vise le recyclage des composites aéronautiques par solvolysse (hydrolyse). La décomposition par solvolysse permet de séparer les différents matériaux (matrice, fibre, grillages de métallisation) pour des valorisations ultérieures.

D'autre part, des projets de recherche concernant la glycolyse du PET<sup>3</sup> en continu, la glycolyse du PET en extrusion réactive et le recyclage chimique des déchets de PET en polyesters-polyols ont été mis en oeuvre par le Ceremap entre la fin des années 90 et 2006. Il s'agit toutefois pour la plupart, de projets assez anciens, le plus récent identifié étant l'optimisation d'un procédé continu de recyclage chimique des déchets de PET - Production de polyesters-polyols destinés à la fabrication de matériaux polyuréthanes » financé par l'ADEME, en 2004-2006.

Les nombreux pilotes développés dans le monde dans les années 90 (glycolyse, hydrolyse, méthanolyse), fonctionnant sur des déchets de PET, ont tous été stoppés. De même, les projets de

---

<sup>3</sup> PET : Polyéthylène Téréphtalate

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

recherche initiés dans les années 2000 n'ont pas connu de prolongements industriels, y compris en France. Aucun d'eux n'a débouché sur des installations commerciales industrielles du fait des coûts de production beaucoup trop élevés. L'évolution à la hausse du baril de pétrole et le souci d'économie des ressources fossiles sont susceptibles de redonner de l'intérêt à de telles filières.

## Procédés utilisant des fluides sub et supercritiques

Deux pistes concrètes ont été identifiées, au stade laboratoire / petit pilote :

- ✓ Un pilote au centre de recherche de Tsukuba (Japon), fonctionnant sur le principe de l'hydrolyse par l'eau sous-critique. Sa capacité est de 5 t/jour de biomasse (boues de STEP humides, algues, résidus boueux de fermentation alcoolique,...) ;
- ✓ le procédé Ecolicel développé par le Pôle Fibres Lorraine, visant à produire des colles et des résines « écologiques » à partir des molécules obtenues après séparation et extraction de la cellulose, de l'hémicellulose, de la lignine et des tanins contenus dans les coproduits de papeterie. Le Pôle Fibres Lorraine a construit un petit pilote afin de valider la faisabilité d'une unité de traitement en continu par l'eau sub et supercritique.

Pour le moment, les développements en sont encore au stade du laboratoire et aucun bilan énergétique n'est disponible. Ce type de procédé présente des perspectives de développement industriel à un horizon de 5/10 ans. L'obstacle principal est de nature économique.

## Procédés à suivre en priorité

17 procédés ont un degré d'intérêt particulièrement élevé car ils présentent de nombreux atouts sans présenter de faiblesses notoires.

- ✓ 2 procédés au stade industriel : Basse Sambre (Belgique), Klean Industries (Canada) ;
- ✓ 8 procédés au stade du démonstrateur : Alpha-Recyclage (France), Cynar (Grande Bretagne), Ecoloop (Allemagne, démonstrateur en construction), Eneria (France), Enerkem (Canada), Europlasma (France, démarrage début 2013), Kopf Syngas (Allemagne), Pyrum (Allemagne/France) ;
- ✓ 6 procédés au stade pilote : Finaxo (France), Inéos (Suisse), Milena (Pays-Bas), Tree Power (USA / France), Xylowatt (Belgique)<sup>4</sup>, (procédé confidentiel) (Belgique) ;
- ✓ 1 procédé au stade laboratoire : Logmed (Allemagne).

## Enjeux

### Enjeux environnemental

#### Pertinence environnementale

L'intérêt environnemental de ces procédés mérite d'être analysé au cas par cas. En effet, il apparaît indispensable de vérifier dans quelles conditions le passage par ces étapes liquides ou gaz est pertinent en fonction des distances de transport entre lieux de production ou de regroupement du déchet, plate-forme de transformation, et lieux d'utilisation, en fonction des rendements des procédés de conversion, et en fonction du rendement lors de l'utilisation finale. Ce point méritera d'être approfondi au-delà de la présente étude.

---

<sup>4</sup> Au stade industriel pour l'utilisation de biomasse propre, mais au stade du pilote pour l'utilisation de déchets.  
Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Informations sur les émissions

Les concepteurs de procédés devraient remédier au manque flagrant de données relatives aux bilans d'émissions de gaz à effet de serre et plus généralement des polluants émis par les procédés concernés. Les informations disponibles ne permettent pas d'établir avec certitude si les procédés de pyrolyse et de gazéification risquent de générer des dioxines, des furannes et d'autres polluants hautement dangereux. Le débat reste ouvert sur ce point et mériterait des clarifications de la part des concepteurs de procédés.

**Enjeux réglementaires**Restriction d'accès à la mise en décharge

Un gisement considérable de déchets (bois, plastiques, ...) susceptibles d'être de bons candidats pour la production de liquides ou de gaz combustibles continue actuellement à être orienté vers la décharge, pour de multiples raisons, dont notamment le prix attractif de cette filière d'élimination. Pour cesser le gaspillage de ressources actuel que représente la mise en décharge de ces gisements, il apparaît fondamental que la France se dote de restrictions réglementaires efficaces sur la mise en décharge (critères d'acceptation et/ou dispositif de taxation dissuasif).

Classification ICPE des installations

La réglementation actuelle applicable aux procédés thermiques de gazéification et de pyrolyse est inadaptée. Elle tend à freiner, voire à empêcher le développement de ces procédés. En effet, les flux sortants de ces procédés sont fondamentalement différents de ceux de l'incinération, alors que la réglementation applicable est celle de l'incinération ou de la co-incinération.

Il est indispensable de faire évoluer la réglementation ICPE, afin que les installations de pyrolyse et de gazéification ne soient plus considérées au plan réglementaire comme de la co-incinération. La modification en cours des rubriques 2910 A et 2910 B de la classification ICPE pourrait faire évoluer la situation au moins pour les déchets de bois.

Positionnement par rapport aux objectifs restreignant l'incinération

Enfin, un levier important du développement des procédés recensés est le refus sociétal de l'incinération, qui se traduit dans la réglementation (Loi Grenelle 2) par la limitation des capacités d'incinération et de stockage à 60 % du gisement, et un objectif de réduction de 15% des quantités incinérées ou enfouis, sur un territoire donné, ce qui dans la pratique a été très fréquemment traduit dans les PREDMA<sup>5</sup> ou PDEDMA<sup>6</sup> par une interdiction pure et simple de création de nouvelles capacités d'incinération. Un positionnement clair de la réglementation qui exclurait ces procédés de cette limitation favoriserait grandement leur développement.

Sortie du statut de déchet des produits sortants

La clarification du statut des sous-produits de la gazéification et de la pyrolyse donnerait aux concepteurs de ces procédés une meilleure visibilité sur les conditions de commercialisation de ces sous-produits. Une procédure de demande de sortie du statut de déchet des liquides et gaz produits sous des conditions à définir mériterait d'être initiée.

---

5 PREDMA : Plans Régionaux d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés

6 PDEDMA : Plans Départementaux d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

## Spécifications techniques des carburants et enjeux techniques liés à leur utilisation

Pour être incorporés dans les carburants fossiles, l'éthanol et le biodiesel doivent être conformes à certaines normes.

Les carburants additivés (carburant fossile + biocarburants) doivent également respecter les plages de spécification propres respectivement à l'essence et au gazole. Certaines caractéristiques techniques (telles que le PCI, la reprise d'eau de l'éthanol, et l'agressivité de l'éthanol sur les matériaux composites des durites ou réservoirs) empêchent d'utiliser les biocarburants purs dans les moteurs classiques. Leur incorporation dans les carburants rencontre donc une limitation technique pour les moteurs courants. Des adaptations permettent des taux plus élevés, voire l'utilisation pure de ces carburants.

### Fiscalité

La fiscalité sur les carburants constitue un atout pour les procédés de gazéification, de pyrolyse et de dépolymérisation dont l'objectif est de fabriquer des carburants, sous réserve que les déchets utilisés soient issus de la biomasse.

Une fiscalité similaire à celle des biocarburants pour les carburants produits à partir de déchets, qu'ils soient d'origine renouvelable ou fossile, serait de nature à favoriser leur développement.

### Economie des procédés

La robustesse des données économiques sur ces procédés ne permet pas de fournir des informations fiables sur ce sujet, pour l'instant.

### La problématique de la disponibilité des déchets

Les pistes les plus prometteuses en termes de déchets à traiter sont :

- les bois usagés, les déchets plastiques et peut-être certaines fractions triées et préparées issues des déchets ménagers dans le cas des procédés de gazéification ;
- les déchets plastiques et les pneus usagés dans le cas des procédés de pyrolyse et de dépolymérisation thermique ;
- les déchets de PET et de PS dans le cas des procédés de solvolysse ;
- pour les procédés de traitement en milieu sub- ou supercritique, leur développement est trop préliminaire pour pouvoir dégager des pistes en matière de déchets à traiter en priorité.

La répartition géographique des gisements tend à favoriser les petites unités pour limiter le transport des déchets entrants, mais ceci impacte les coûts (d'investissement et de fonctionnement) ramenés à la tonne traitée. Là encore, un approfondissement des réflexions est indispensable afin de définir des pistes d'optimisation aux plans local, régional et national.

### Capacité optimale et modularité des installations

La plage de capacité comprise entre 20 000 et 50 000 t/an de déchets traités semble correspondre au meilleur compromis permettant de concilier compétitivité économique et disponibilité localement des flux de déchets à traiter.

Les enjeux liés à la modularité des installations sont également essentiels : d'un côté la modularité permet d'améliorer la flexibilité. A contrario, elle engendre des surcoûts d'investissement et de fonctionnement. La capacité des concepteurs à réduire leurs coûts de production grâce aux économies engendrées par la standardisation des équipements et par la taille des séries fabriquées pourrait compenser partiellement ces surcoûts. Il est indispensable que les atouts et handicaps de la modularité des installations fassent l'objet d'une réflexion d'ensemble afin d'optimiser les orientations de la R&D.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Un équilibre doit être trouvé, afin que les atouts incontestables liés à la modularité ne soient pas contrebalancés par des surcoûts d'investissement excessifs.

### **Coût du « ticket d'entrée » sur le marché**

En France, les développements dans le domaine des procédés recensés sont nombreux mais dispersés. Il est indispensable d'aider les acteurs industriels et de la R&D ayant des profils complémentaires (en taille, en expertise) à regrouper leurs efforts.

Une implication accrue des grands acteurs du secteur privé pour accompagner la maturation de la filière, un financement plus important des programmes de R&D et un soutien financier aux projets nationaux pilotes, démonstrateurs ou industriels les plus prometteurs, afin de leur permettre de développer au moins une première référence crédible seraient de nature à favoriser le développement de ces procédés.

### **Positionnement des procédés recensés dans l'échelle des priorités de valorisation des déchets**

La priorité est de diffuser auprès des acteurs concernés (industriels, sociétés de gestion des déchets, collectivités locales) une information objective sur les créneaux sur lesquels les procédés étudiés ont vraiment un rôle à jouer, et sur la complémentarité réelle que représentent les procédés étudiés par rapport aux autres voies de valorisation. En particulier il serait nécessaire, dans la continuité de la présente étude :

- d'approfondir les limites des plages de capacités à l'intérieur desquelles ces procédés sont susceptibles d'être compétitifs,
- d'établir une hiérarchie des types de déchets à traiter en fonction de leurs atouts et inconvénients respectifs.

Il faudrait également inciter les pouvoirs publics à positionner clairement les procédés concernés comme des voies de valorisation à part entière dans l'échelle des priorités de gestion des déchets.



# 1 Contexte, objectifs et méthodologie de l'étude

## 1.1 Contexte et objectifs

Les procédés thermiques permettant de produire des liquides ou des gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant de la part des collectivités locales, des industriels participant au développement de thèmes mis en avant par le Grenelle de l'environnement (piles à combustible, biocarburants) et plus généralement, des gros utilisateurs d'énergie (industriels ou autres) et des détenteurs de déchets dont la valorisation matière est difficile.

Par ailleurs, l'ADEME est fréquemment consultée par les collectivités locales et les industriels sur les atouts et inconvénients respectifs de ces procédés thermiques.

D'autre part, dans le cadre des « Investissements d'avenir », l'ADEME, les industriels et les pouvoirs publics se posent la question des pistes de R&D à promouvoir dans ce domaine.

Il y a donc un besoin fort de disposer d'une mise en perspective, basée sur un état de l'art détaillé de ces procédés.

Les objectifs de la présente étude sont donc les suivants :

- ✓ dresser un état de l'art des procédés thermiques de traitement des déchets (hors déchets de biomasse propre) conduisant à la production de liquides ou gaz, à l'échelle de l'Europe, de l'Amérique du Nord et de certains pays d'Asie ;
- ✓ évaluer les gisements de déchets potentiellement traitables par ces procédés ;
- ✓ mettre en perspective les procédés identifiés afin de voir comment ils se positionnent en terme de compétitivité par rapport aux autres filières de traitement ou d'élimination appliquées aux mêmes déchets (incinération, recyclage, compostage, mise en décharge...) ;
- ✓ en déduire des leviers d'amélioration et des pistes de R&D à privilégier pour promouvoir le développement de ces procédés dans les secteurs pertinents.

## 1.2 Champ de l'étude

**Les procédés** concernés par cette étude sont tous les procédés thermiques de traitement de déchets produisant des gaz ou des liquides, c'est-à-dire fonctionnant à une température supérieure à 100 °C. Ceci implique notamment que sont exclus du champ de l'étude les procédés de méthanisation. Sont également exclus les procédés qui traitent exclusivement la biomasse propre (déchets végétaux de l'agriculture et de la forêt). Par contre, les procédés traitant partiellement de la biomasse propre et partiellement d'autres déchets font partie du champ de l'étude.

**Les déchets** concernés par cette étude couvrent tous les déchets qui ont été mis en évidence lors de l'inventaire comme pouvant être traités par les procédés qui correspondent au champ de l'étude, tels que diverses catégories de déchets industriels non dangereux (DIND) triés ou en mélange, les déchets ménagers et assimilés (DMA), les refus de tri, les boues, les sous-produits animaux tels que les farines animales, graisses animales, les poteaux, bois traités, et autres biomasses traitées ou polluées, huiles, solvants, produits chimiques, etc. Les lisiers, fumiers, fientes et autres déjections animales, qui acquièrent le statut de déchets uniquement lorsqu'ils sont traités hors de l'exploitation agricole productrice, sont inclus.

## 1.3 Méthodologie

### 1.3.1 Analyse bibliographique

Le recensement des procédés a été effectué en recoupant quatre types de sources d'information : Les études et rapports, les sites Internet des concepteurs de procédés, les publications internationales et minutes de conférences sur la période 2000-2011, les brevets et les retours d'experts de l'ADEME.

La liste des sources analysées est présentée en annexe 8.

### 1.3.2 Entretiens avec les acteurs

Nous avons contacté les concepteurs des procédés concernés chaque fois que les informations disponibles à travers l'analyse bibliographique s'avéraient insuffisantes pour porter une appréciation objective.

### 1.3.3 Sélection des procédés inclus dans le champ de l'étude

Au total, 124 procédés ont été recensés dans la première étape de l'étude<sup>7</sup>. 77 d'entre eux ont ensuite été éliminés car ils n'appartiennent pas au champ de l'étude, pour l'une ou l'autre des raisons suivantes<sup>8</sup> :

Tableau 1 : Dénombrement des procédés n'entrant pas dans le champ de l'étude

Causes de rejet du procédé	Nombre de procédés concernés
Procédés ne traitant que des déchets de biomasse propre	22
Procédés exclusivement destinés à produire directement de la chaleur ou de l'énergie <sup>9</sup>	21
Procédés dont la température opératoire est inférieure à 100°C	8
Procédés abandonnés (ou pour lesquels aucune activité concrète n'a été identifiée)	22
Procédés dont les produits sortants sont solides	4

Les 49 procédés finalement retenus à l'issue de cette sélection ont ensuite été décrits sous la forme de fiches « procédés » détaillées, présentées en annexe 4.

<sup>7</sup> L'analyse a été effectuée sur la base des informations suivantes : type de procédé, schéma de procédé simplifié, niveau de développement du procédé et type de déchets utilisés (ou susceptibles d'être utilisés) par le procédé.

<sup>8</sup> La liste des procédés « hors champ » est présentée en annexe 3.

<sup>9</sup> Les procédés éliminés sont ceux dont la production d'électricité et/ou de chaleur est totalement intégrée au processus de gazéification ou de pyrolyse et pour lesquels une évolution vers la production de liquides ou de gaz nécessiterait une adaptation en profondeur. Au contraire, les procédés fabricant de l'électricité et/ou de la chaleur à partir de moteurs thermiques ou de turbines à gaz alimentés par le gaz de sortie du procédé ont été intégrés dans le champ de l'étude.

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

## 2 Rappel des caractéristiques de base des procédés étudiés

Le présent chapitre vise à rappeler les principales caractéristiques des procédés thermiques identifiés dans le cadre de l'étude : la gazéification, la pyrolyse, la dépolymérisation, la solvolysse et l'utilisation de fluides sub et supercritiques.

### 2.1 La gazéification

La gazéification est un processus thermique dans une plage de température généralement supérieure à 800°C, qui permet de traiter des déchets contenant une fraction combustible, par un traitement effectué en présence d'une quantité réduite d'oxygène. Elle conduit à la production d'un gaz de synthèse qui est soit brûlé sur site, sous faible excès d'air, pour produire de la chaleur ou de l'électricité, soit utilisé dans un procédé tiers en substitution du gaz naturel ou d'autres combustibles, soit utilisé comme produit de départ pour la synthèse de carburants du type diesel, essence, éthanol et autres alcools, pour la synthèse du naphta, ou pour la fabrication du méthanol de synthèse.

La plupart des procédés de gazéification produisent un gaz de synthèse constitué majoritairement d'un mélange CO + H<sub>2</sub>.

La gazéification génère un sous-produit solide constitué de la fraction incombustible du déchet traité, contenant une faible quantité de carbone. Ce sous-produit, après séparation des métaux, est susceptible, sous certaines conditions, d'être valorisé.

Le gaz de synthèse généré est plus ou moins chargé en goudrons, ainsi que d'autres polluants qui sont fonction de la composition des déchets traités. Le gaz peut être débarrassé des goudrons, soit par craquage thermique grâce à une torche à plasma<sup>10</sup> par exemple, soit par lavage, soit encore par d'autres techniques. Dans le cas d'une gazéification combinée avec une torche à plasma, l'une des fonctions possibles de la torche est de porter le gaz de synthèse à une température très élevée (au-delà de 1000 ou 1200 °C) au cours du processus de gazéification des déchets ou en aval de celui-ci, ce qui permet de craquer les goudrons qu'il contient tout en maximisant la quantité de gaz de synthèse produite. Le gaz ainsi épuré des goudrons, et éventuellement épuré plus avant par d'autres techniques selon les polluants présents, peut être utilisé plus facilement pour produire de l'électricité par moteur à gaz ou pour d'autres valorisations énergétiques ou chimiques.

Les températures atteintes lors de la gazéification, en particulier dans les procédés de gazéification assistée par torche à plasma permettent de fondre les résidus de gazéification qui, après refroidissement, se présentent sous forme d'un vitrifiat (un verre en général de couleur noire). L'enjeu est d'obtenir un déchet non dangereux présentant les caractéristiques d'un déchet inerte. Une valorisation, par exemple dans la construction de routes, pourrait alors être envisagée pour ce matériau.

### 2.2 La pyrolyse

La pyrolyse est un processus thermique dans la plage de 350 à 800°C, qui permet de traiter des déchets en principe en l'absence d'oxygène. Dans la pratique, l'énergie nécessaire aux réactions de pyrolyse est parfois obtenue par des réactions exothermiques d'oxydation partielle, produite par une injection limitée d'air ou d'oxygène. La pyrolyse conduit à la production d'une fraction combustible (huile) pouvant être valorisée énergétiquement sur le site de production, ou valorisée (matière ou énergie) dans un autre procédé.

Elle conduit également à la production d'un gaz pauvre qui est le plus souvent brûlé sur site pour fournir l'énergie nécessaire aux réactions de pyrolyse et au séchage éventuel de la charge entrante. Elle

---

<sup>10</sup> Une torche à plasma est un dispositif qui consiste à provoquer un arc électrique entre une anode et une cathode et y injecter de l'air ou un autre gaz afin d'obtenir un plasma (gaz ionisé). La température au sein du plasma est supérieure à 1500°C.

génère enfin un sous-produit solide (coke de pyrolyse) constitué du carbone fixe<sup>11</sup> et de la fraction incombustible du déchet traité.

### **2.3 La dépolymérisation thermique**

La dépolymérisation thermique regroupe l'ensemble des technologies permettant de transformer des polymères (plastiques, élastomères) en monomères ou oligomères par apport de chaleur, sans qu'un réactif chimique n'intervienne dans les réactions de coupure des chaînes. Les déchets sont chauffés progressivement jusqu'à environ 400 - 450 °C. Au cours de la dépolymérisation, les chaînes longues carbonées sont transformées en chaînes plus courtes, principalement dans la plage C8 à C20.

### **2.4 La solvololyse**

La solvololyse consiste à traiter un polymère par un solvant réactif capable de le dépolymériser et de dissoudre les produits de dépolymérisation. Selon la nature du solvant, on distingue l'aminolyse, l'ammonolyse, la glycolyse, l'hydrolyse et la méthanololyse. On obtient un monomère ou un oligomère.

D'autres procédés de recyclage chimique des plastiques existent ; ils n'ont pas été intégrés dans le champ de l'étude car ils opèrent à des températures inférieures à 100°C. Il s'agit de la dissolution, de l'extrusion réactive et des autres dépolymérisations chimiques.

### **2.5 L'utilisation de fluides sub et supercritiques**

Lorsqu'il atteint des conditions sous ou supercritiques, un solvant (eau, méthanol, dioxyde de carbone) acquiert des propriétés particulières qui permettent de réaliser des opérations de recyclage chimique s'apparentant à la dissolution ou à la solvololyse.

Ainsi, l'eau chauffée entre 150 et 300°C atteint l'état sous-critique dans certaines conditions de pression et devient progressivement apolaire à ces températures. En milieu raréfié en O<sub>2</sub>, on peut alors provoquer une réaction d'hydrolyse des déchets traités, avec formation de chaînes courtes. L'avantage de la "bio-huile" fabriquée est son PCI élevé. D'autre part, elle est moins oxygénée que les huiles de pyrolyse. Enfin, on peut traiter des déchets très humides, sans déshydratation préalable.

Les principaux déchets pouvant être traités sont les ligno-cellulosiques (déchets de l'agro-alimentaire) qui peuvent se transformer en glucose (bio-huile) et les déchets verts humides. Un post-traitement en raffinerie est toujours nécessaire pour obtenir un carburant.

---

<sup>11</sup> Le carbone fixe désigne la part de carbone qui ne se dévolatilise pas sous le seul effet de la température (par exemple, pour le bois, il s'agit du charbon de bois).

### 3 Panorama du développement des procédés recensés

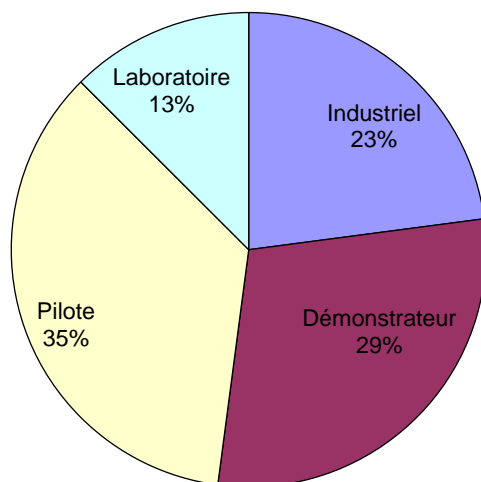
La liste et les caractéristiques des procédés recensés sont décrites d'une part dans les tableaux récapitulatifs de l'annexe 1, d'autre part de manière détaillée dans les fiches « Procédés » de l'annexe 4.

#### 3.1 Technologies et stades d'avancement

Sur les 49 procédés recensés, 11 sont à l'échelle industrielle, 14 sont des démonstrateurs semi-industriels<sup>12</sup>, 17 sont des pilotes, 6 en sont au stade du laboratoire et 1 n'a pas pu être renseigné.

Nous verrons au chapitre 8 (« Diagnostics individuels des procédés recensés ») que les procédés décrits comme ayant atteint le stade industriel recouvrent en pratique des réalités extrêmement variées et ont des degrés de crédibilité contrastés.

Graphique 1 : Répartition des procédés recensés selon leur stade d'avancement



Au plan des technologies utilisées, la répartition est la suivante :

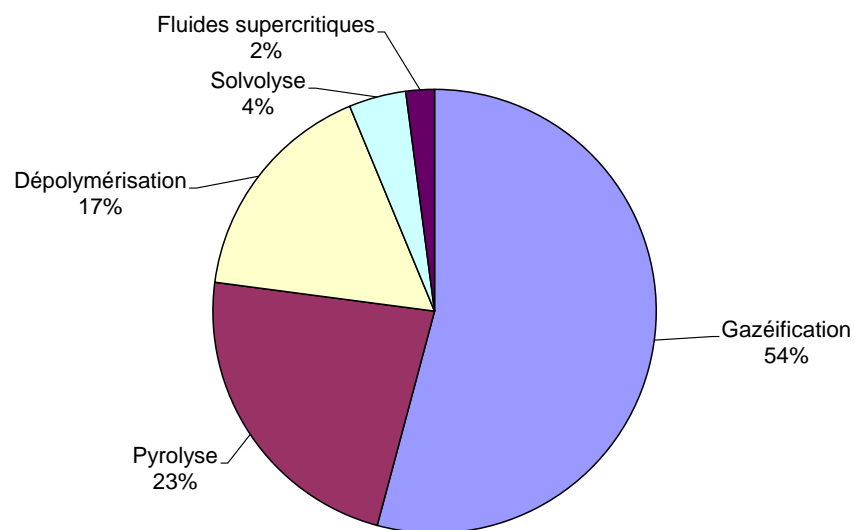
<sup>12</sup> Pilote industriel: Installation d'une capacité comprise entre 50 et 200/300 kg/heure (soit de 1 à 6 t/jour) de produit brut entrant, destinée à réaliser des tests.

Démonstrateur: Première petite unité industrielle, destinée à valider un ou plusieurs types de déchets (sous réserve de disposer des autorisations administratives nécessaires). Il s'agit généralement d'un module unitaire à l'échelle définitive. Par exemple, un démonstrateur de 100 t/jour sera extrapolable à 4 x 100 t/jour. Il est installé le plus souvent chez un client (le bailleur ou l'utilisateur qui investit) ou chez le producteur de déchet.

Unité industrielle : La capacité n'est pas un critère caractéristique d'une unité industrielle. Il existe en effet des unités de petite taille (de la taille d'un pilote) qui ne sont pas utilisées à des fins de R&D mais à des fins de production industrielle (ou de traitement industriel).

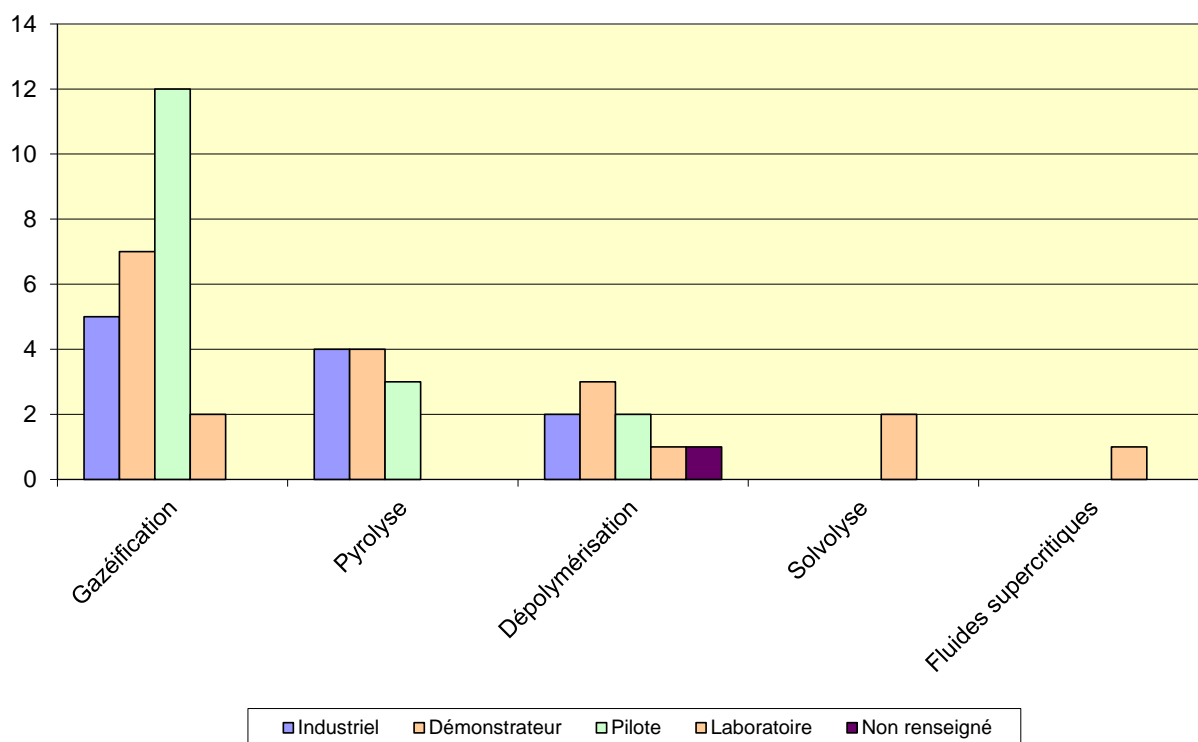
- Gazéification : 26
- Pyrolyse : 11
- Dépolymérisation: 9
- Solvolyse : 2
- Fluide supercritique : 1

Graphique 2 : Répartition des procédés recensés selon la technologie utilisée



Les procédés de gazéification et de pyrolyse représentent la majeure partie de ceux ayant atteint à un stade industriel, mais c'est la gazéification qui fait l'objet – et de loin – du plus grand nombre de développements (au stade du pilote ou du démonstrateur).

Graphique 3 : Répartition des procédés identifiés par catégorie de procédé et par degré de développement<sup>13</sup>



Nota : Dans le graphique ci-dessus, les installations suivantes sont en construction ou à l'arrêt :

- Installations en construction: 1 démonstrateur de gazéification en Allemagne, 1 démonstrateur de pyrolyse en Allemagne, 1 démonstrateur de pyrolyse en France, 1 démonstrateur de gazéification en France, 1 pilote de dépolymérisation en Belgique.
- Installations à l'arrêt: 1 démonstrateur de gazéification aux USA, 1 pilote de pyrolyse en Allemagne.

<sup>13</sup> Le tableau de dénombrement détaillé est présenté en annexe 2.

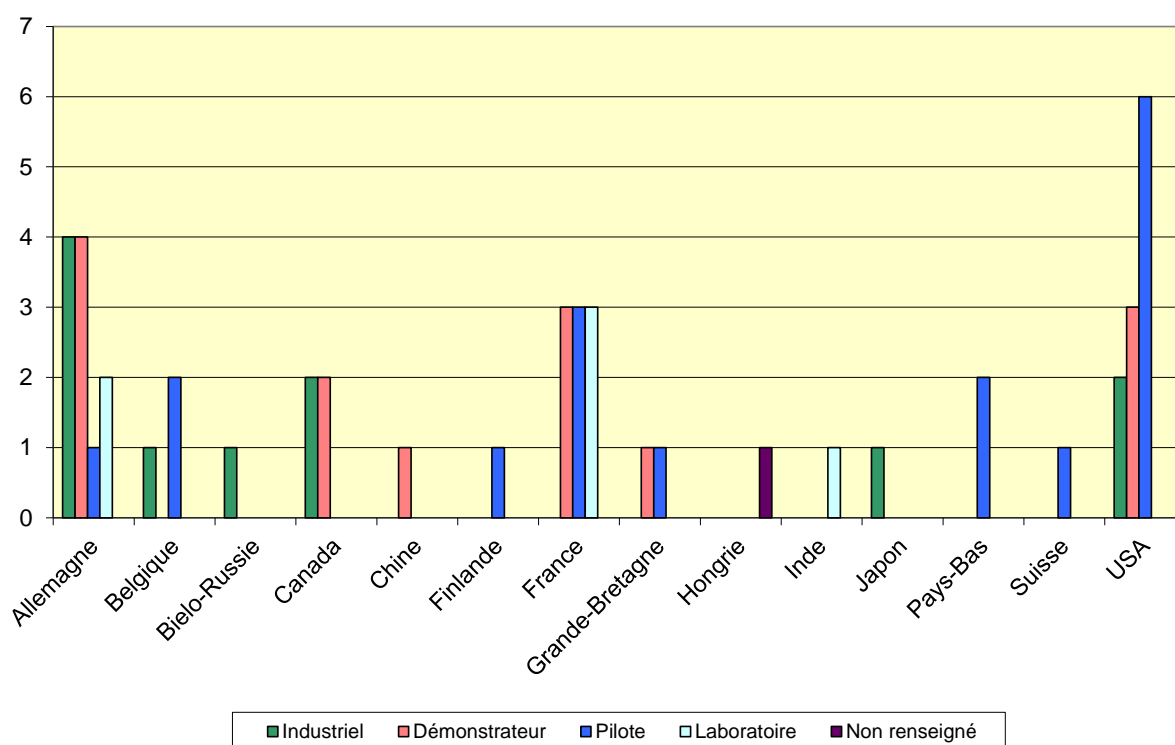
### 3.2 Aires de R&D et de diffusion des procédés

L'Allemagne et les USA concentrent le plus grand nombre de procédés en exploitation ou en développement. L'Allemagne est en pointe au niveau des procédés ayant atteint le stade industriel, les USA pour les procédés pilotes.

Graphique 4 : Répartition des procédés par pays, selon le degré de développement (le pays indiqué est celui du développeur du procédé)

(voir tableau de dénombrement détaillé en annexe 2)

(voir également le Tableau 5, présentant la liste détaillée des procédés par pays, par type et par stade de développement)



### 3.3 Nature des déchets traités

28 catégories de déchets ont été citées par les entreprises<sup>14</sup> dans le cadre de la présente étude. L'analyse a été menée en distinguant trois niveaux : 1/ : les déchets effectivement utilisés au niveau industriel, 2/ : les déchets validés au niveau des tests, 3/ : les déchets envisagés dans le cadre de projets en cours, mais non validés.

Le graphique ci-dessous résume le nombre de procédés recensés, par type de déchet cité par les détenteurs de procédés et les industriels exploitants. Tant pour les déchets utilisés au niveau industriel que pour les déchets testés, les déchets plastiques sont les plus souvent cités. Viennent ensuite les bois usagés et les déchets ménagers (refus de centres de tri, résidus haut PCI issus des unités de

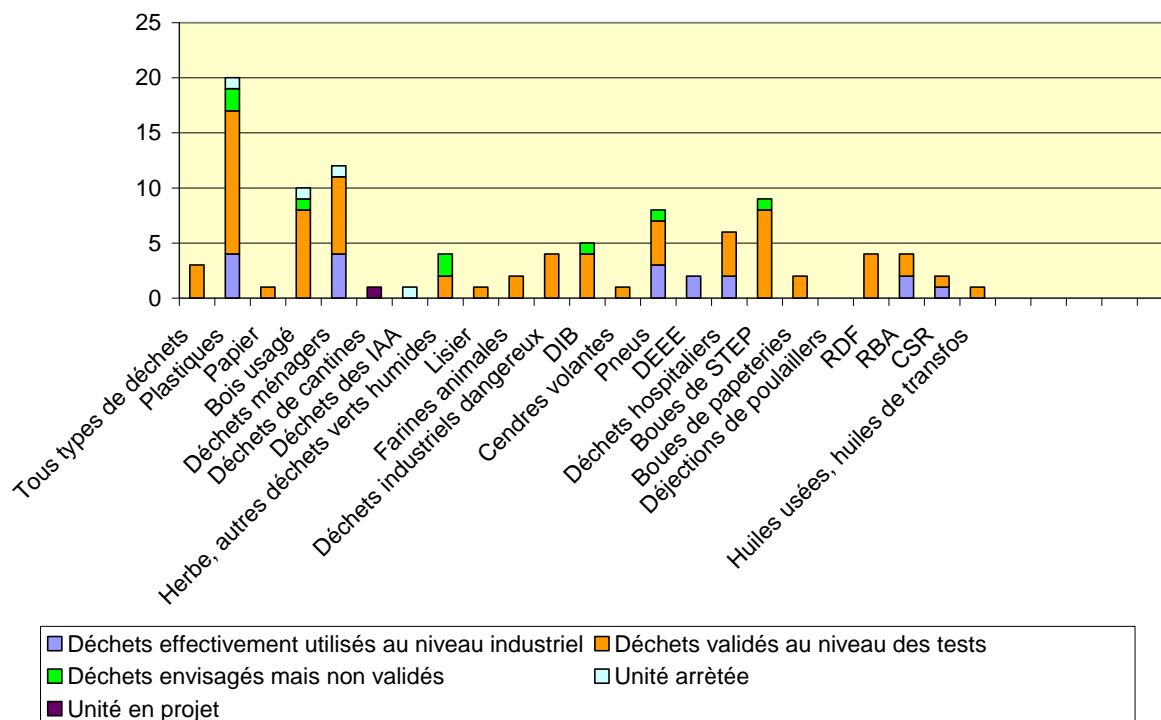
<sup>14</sup> Voir liste détaillée au Tableau 8.



TMB, voire des ordures ménagères brutes pour certains procédés). Les autres catégories de déchets sont très dispersées.

Graphique 5 : Nombre de procédés recensés selon le type de déchet utilisé et le stade d'avancement de la validation de cette utilisation

(voir tableau de dénombrement détaillé en annexe 2)

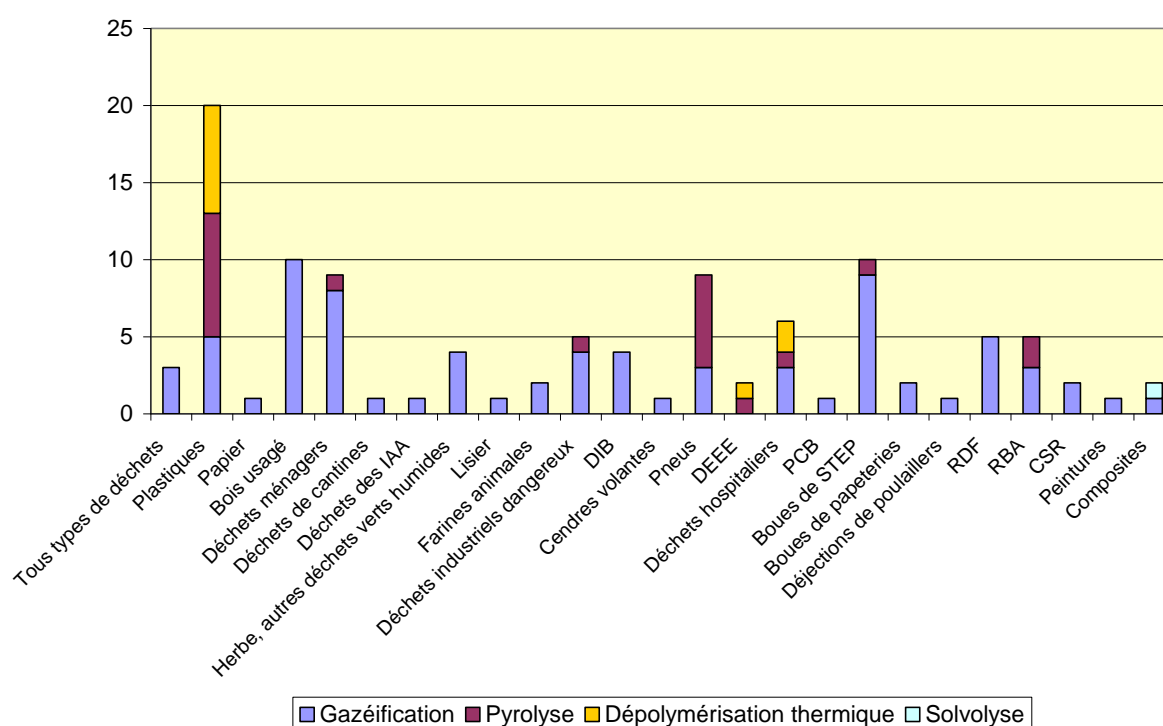


Le graphique ci-dessous dénombre les procédés recensés selon la technologie et selon le type de déchet cité par chaque détenteur de procédé :

- ✓ La gazéification est positionnée sur une palette large de déchets, en particulier les bois usagés, les déchets ménagers et les boues de STEP ;
- ✓ La pyrolyse est principalement concentrée sur les plastiques et les pneumatiques usagés ;
- ✓ La dépolymérisation thermique est concentrée sur les plastiques et les déchets hospitaliers.

Graphique 6 : Nombre de procédés recensés selon le type de déchet et la technologie utilisés<sup>15</sup>

(voir tableau de dénombrement détaillé en annexe 2)



### 3.4 Nature des produits fabriqués

Le graphique ci-après montre les catégories de produits fabriqués, selon le type de procédé utilisé.

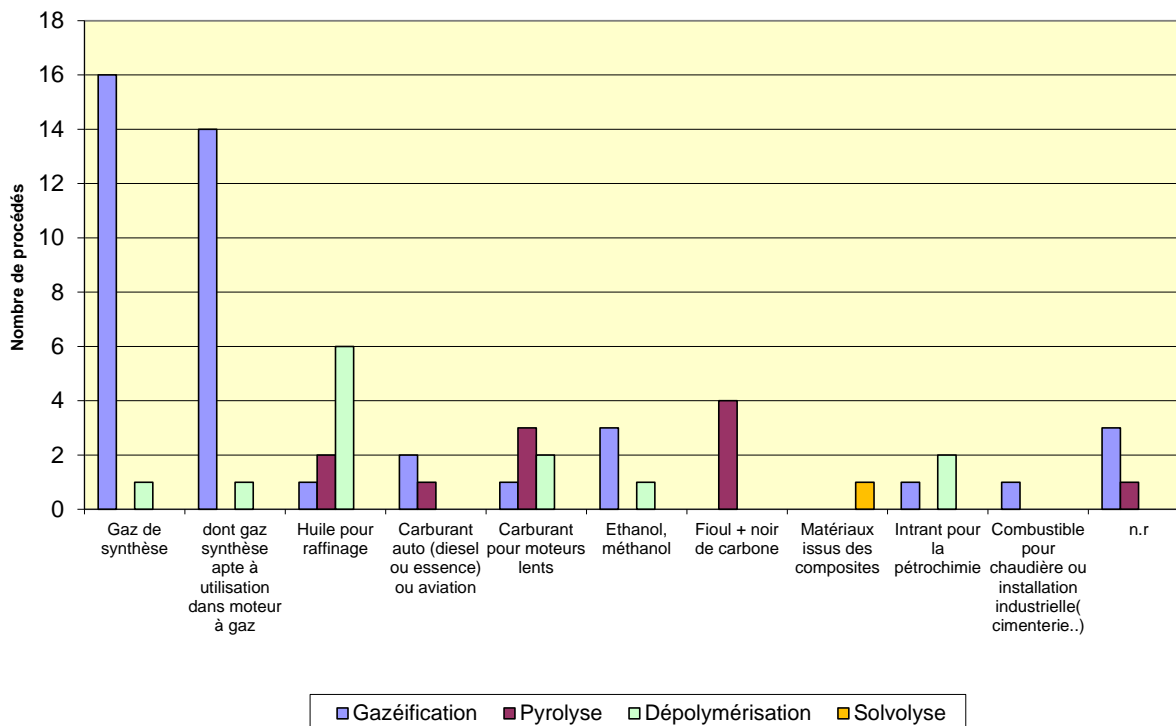
- ✓ 15 procédés ont prouvé leur aptitude à une utilisation du gaz de synthèse dans un moteur à gaz pour produire de l'électricité ou dans un four industriel ;
- ✓ 9 procédés permettent de fabriquer une huile destinée à être traitée en raffinerie ;

<sup>15</sup> Le procédé en milieu supercritique recensé dans le cadre de la présente étude (Ecolicel) n'est pas pris en compte dans le graphique 6. Les tests relatifs à ce procédé de laboratoire portent sur « des charges très variées, selon ce que l'on cherche à obtenir en sortie de machine (molécules d'intérêt, destruction de produits dangereux....) ».

- ✓ 7 procédés permettent de fabriquer un carburant apte à une utilisation dans des moteurs lents tels que des moteurs marins ou des engins agricoles ;
- ✓ 4 procédés revendiquent la fabrication d'un carburant automobile (diesel ou essence)<sup>16</sup> ;
- ✓ 4 procédés visent la fabrication de noir de carbone ;
- ✓ 4 procédés fabriquent de l'éthanol ou du méthanol de synthèse
- ✓ 2 procédés (solvolyse) conduisent à la production des matériaux constitutifs des composites traités ou à la production de diols ;
- ✓ 2 procédés fabriquent des produits destinés à servir d'intrants pour la pétrochimie ;
- ✓ 1 procédé utilise sa production pour alimenter un précalcinateur de cimenterie.

Graphique 7 : Répartition des produits fabriqués selon la nature des procédés utilisés

(voir tableau de dénombrement détaillé en annexe 2)



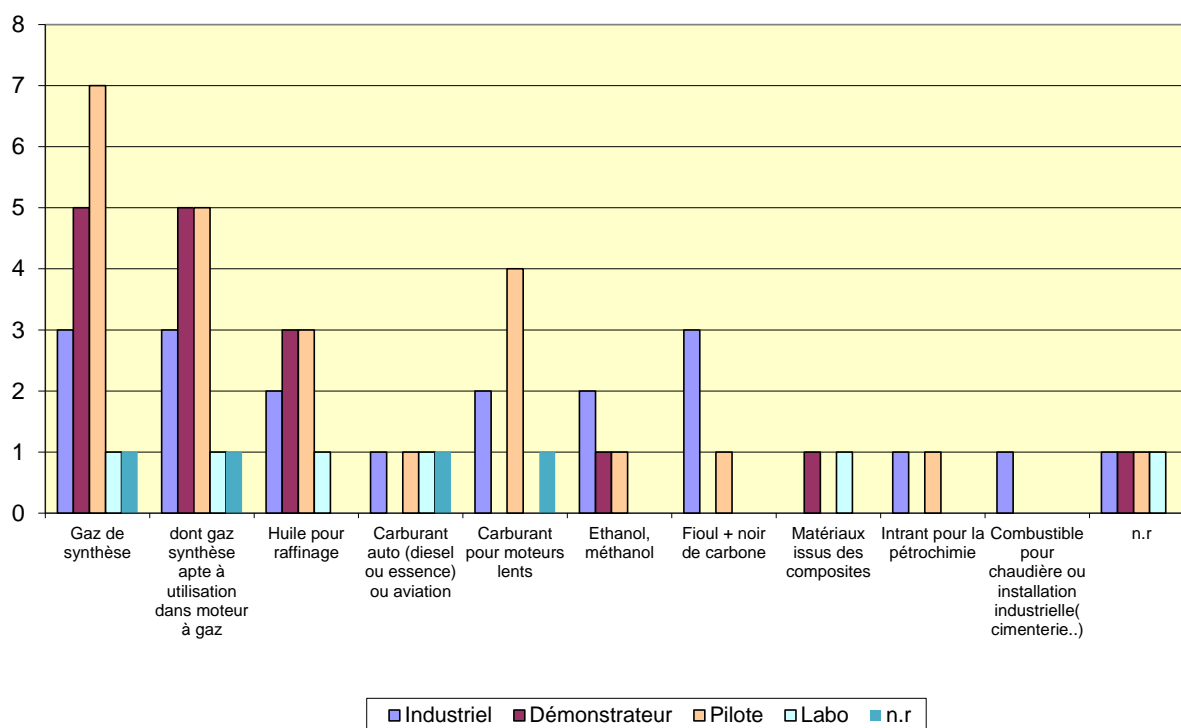
<sup>16</sup> Deux types d'usages « carburant » ont été identifiés dans le cas du diesel : soit en adjonction en proportion minoritaire dans le carburant issu du raffinage du pétrole (avec une teneur de 5% par exemple), soit par utilisation dans des flottes captives en France (autobus...). Pour ce qui concerne le biodiesel, il n'est actuellement pas utilisé pur dans les flottes captives, sauf dans le cas de quelques expérimentations ponctuelles. Il est utilisé sous forme de B30 (mélange contenant de 24 à 30% en volume de biodiesel dans le gazole fossile). Pas d'indications concernant les gazoles de synthèse obtenus par gazéification de déchets non biomasse, puis réaction Fischer Tropsch.

Note : Le nombre total de procédés dans ce graphique est supérieur aux 48 procédés recensés car pour certains procédés plusieurs produits fabriqués sont envisageables (par exemple huile combustible ou intrant pour la chimie).

Le graphique ci-dessous met en évidence un nombre particulièrement élevé de procédés aux niveaux « pilote » et « démonstrateur », destinés à produire un gaz de synthèse utilisable comme combustible dans une chaudière ou un moteur à gaz.

Graphique 8 : Répartition des produits fabriqués selon le degré d'avancement des procédés recensés

(Le tableau de dénombrement détaillé est présenté en annexe 2)



Note : Le nombre total de procédés dans ce graphique est supérieur aux 48 procédés recensés car pour certains procédés plusieurs produits fabriqués sont envisageables (par exemple huile combustible ou intrant pour la chimie).

### 3.5 Des contextes contrastés selon les zones géographiques

**Dans les pays en voie de développement** (Kenya, Thaïlande,...) l'objectif est clairement orienté vers la valorisation des déchets par gazéification pour produire de l'électricité et de la chaleur<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Le rendement énergétique est en effet meilleur que celui des chaudières à biomasse propre couplées à une turbine à vapeur. Cela permet de valoriser des déchets de biomasse propre qu'on ne peut pas traiter dans une chaudière, comme la paille de riz ou les déchets de fabrication du thé.

**En Chine**, la priorité est donnée au développement de l'incinération, afin d'augmenter sa part qui était de 10% en 2010 à 40% en 2015. Deux instituts chinois (« Guangzhou Institute of Energy Conversion » et « Liaoning Institute of energy resource ») font de la R&D sur les procédés de gazéification, mais à partir de déchets de biomasse propre exclusivement (déchets de l'agriculture et des forêts).

**Au Japon**, 97 unités de gazéification (dont plusieurs à partir de déchets) ont été mises en service au cours de la période 1997-2008, sur la base de procédés variés tels que ceux de Kobelco-Eco-Solutions, Nippon Steel Engineering, Mitsubishi Environmental Engineering, Kawasaki Kiken et JFE Engineering. Plusieurs de ces entreprises ont d'ailleurs commencé à prospecter le marché européen afin de diffuser leurs technologies : JFE a reçu une commande en Italie, Kobelco a participé à plusieurs salons récents (Pollutec, IFAT), Nippon Steel a établi un partenariat en Italie avec Paul Wurth.

En outre, le contexte réglementaire japonais favorise les procédés de pyrolyse et de gazéification de déchets dans la mesure où la réutilisation des mâchefers d'incinération est soumise à des contraintes réglementaires plus strictes qu'en Europe. Ceci a conduit de nombreuses collectivités locales à adopter le procédé « molten slag », destiné à produire des résidus solides inertes dont l'utilisation est possible dans ces pays dans des applications telles que la construction<sup>18</sup>.

Pourtant, malgré ce contexte apparemment favorable, aucun procédé entrant dans le champ de la présente étude n'a été identifié :

- ✓ Le procédé Twinrec développé par la société Ebara (gazéification en lit fluidisé) possède de nombreuses références industrielles avec traitement de déchets municipaux ou industriels. Toutefois, il est exclusivement utilisé pour la production intégrée d'électricité et de vapeur.
- ✓ A contrario, ni la production de carburant, ni le couplage d'une installation de production de gaz de synthèse avec un industriel gros consommateur d'énergie (verrier, chauffournier, cimentier...) ne se sont développés.
- ✓ Le procédé EUP développé conjointement par les sociétés Ebara et Ube a été stoppé. Ce procédé avait pour but de produire du gaz de synthèse par gazéification en vue d'une utilisation pour la synthèse de produits en nylon (la production d'électricité était également envisagée). En 2008, toutes les unités basées sur le procédé EUP ont été stoppées (dans l'agglomération d'Ube) et en 2010 Ube s'est totalement désengagé de ce procédé. La principale raison avancée par Ube pour expliquer cet échec est la difficulté d'un approvisionnement régulier en déchets d'une qualité suffisante.

Plusieurs groupes industriels japonais conservent toutefois un know-how important au regard des technologies de gazéification.

**En Allemagne**, les efforts intenses de R&D des années 80 et 90 ont porté principalement sur le développement de procédés basés sur des installations de grande capacité de la gazéification du charbon. Ils se sont presque totalement taris depuis quelques années. Plusieurs facteurs permettent d'expliquer cette désaffection :

- ✓ Les concepteurs de procédés ont eu des difficultés à maîtriser la régularité des produits de sortie, à améliorer l'efficacité énergétique<sup>19</sup> et se heurtent à de nombreux problèmes techniques, conduisant parfois à l'abandon pur et simple de certains procédés
- ✓ L'obligation d'acheter du coke pour réaliser un appoint thermique dans certains procédés peut constituer un facteur rédhibitoire aux yeux des utilisateurs potentiels

<sup>18</sup> Les avantages du « molten slag » sont toutefois mis en doute par certains experts, qui estiment au contraire qu'un résidu doit avoir encore une certaine activité chimique pour être pleinement efficace dans des applications de BTP, car cela lui permet de réagir avec les matériaux auxquels il est mélangé.

<sup>19</sup> M. Markus Gleis, "senior expert" de l'UmweltBundesAmt (Agence de l'environnement allemande) souligne que l'efficacité énergétique de l'unité Thermoselect de Karlsruhe (Allemagne) a été évaluée à seulement 8,5% par le Centre de recherche FZK de Karlsruhe

- ✓ La société Siemens a préféré ne pas donner suite à ses recherches sur le procédé Schwel-Brenn pour des raisons liées à ses orientations stratégiques et suite à un grave accident sur l'une de ses unités
- ✓ La société Schwarze Pumpe s'est heurtée à de fortes contraintes financières lors de la mise en place d'une filière de collecte de déchets.

Dans la dernière décennie, l'Allemagne a connu une multiplicité de travaux de R&D portant sur le développement de techniques de pyrolyse et de gazéification notamment, appliqués à la biomasse propre et/ou aux déchets. Ces travaux R&D sont actuellement en phase de concrétisation par la création d'unités de démonstration à l'échelle industrielle ou semi-industrielle.

**Dans l'ensemble de l'Europe** (Italie, Finlande, France, Grande-Bretagne...), y compris en Allemagne, la perception des industriels vis-à-vis de ces procédés a beaucoup évolué au cours des cinq dernières années, sous l'effet de deux facteurs :

Le premier facteur est la profonde évolution de l'environnement économique et réglementaire, qui joue en faveur de la promotion de ce type de procédés, en particulier dans les domaines suivants :

- les objectifs de préservation des ressources énergétiques et les objectifs de limitation des émissions de gaz à effet de serre
- l'évolution probable à la hausse des prix des énergies primaires, qui devrait s'amplifier sur les moyen et long termes
- la recherche de voies de valorisation énergétique des déchets les plus performantes possibles
- la disponibilité de grandes quantités de déchets à fort PCI non encore valorisés à ce jour
- les restrictions d'admission des déchets en décharge, mises en place dans de nombreux pays, soit par des critères d'acceptation, soit par des taxations réellement dissuasives, soit les deux à la fois
- le refus sociétal de l'incinération
- en France, les limitations imposées par le Grenelle de l'Environnement sur les capacités d'incinération et de mise en décharge.

Le deuxième facteur est lié au fait que les techniques ont évolué. On assiste à une multiplication de projets pilotes et de démonstrateurs de gazéification, de pyrolyse et de dépolymérisation thermique, à partir de déchets de biomasse ou de déchets de polymères, orientés en majorité vers des capacités plus faibles qu'autrefois et fréquemment basés sur des unités de conception modulaire.

## 4 Les procédés de gazéification

### 4.1 Niveau de développement

Les quatre procédés industriels recensés sont listés dans le tableau ci-après. Il est important de noter que le caractère véritablement « industriel » de certaines installations est sujet à caution, du fait du manque de transparence des informations disponibles. D'autre part, les deux derniers procédés mentionnés (Alter NRG et Basse Sambre) sont à la limite du périmètre de l'étude, dans la mesure où ils sont dédiés à la fabrication de vapeur et d'électricité selon un processus intégré. Nous avons choisi toutefois de les inclure car, comme nous le verrons au chapitre 9, ces deux procédés constituent des références intéressantes au plan de l'expérience acquise par les industriels concernés.

En outre, de nombreux procédés constituant des pistes intéressantes pour le futur ont été identifiés, sans avoir atteint pour autant le stade industriel. Ces procédés sont récapitulés au § 9.2.

Tableau 2 : Procédés de gazéification recensés ayant donné lieu à des réalisations à l'échelle industrielle

Développeur du procédé	Pays du concepteur	Capacité (t/jour de déchets traités)	Produits sortants	Année de mise en service	Commentaires
Envirotherm	Allemagne	500	Gaz synthèse	1996 2000	Le gaz de synthèse est injecté dans un précalcinateur de cimenterie en Allemagne. Le gaz de synthèse est utilisé dans une chaudière.
Plasma Power	Allemagne	n.r	n.r	2011	Une unité industrielle à Sarrebourg, aurait démarré début 2011.
Alter-NRG	Canada	40	Ethanol	2002	Deux unités industrielles en opération au Japon, totalement orientées vers la production intégrée de chaleur et d'électricité
Basse-Sambre	Belgique	34	Electricité + chaleur	2004	Une unité de traitement en Islande, produisant de la chaleur et de l'électricité.

## 4.2 Technologies utilisées

Les procédés de gazéification recensés couvrent une grande diversité de technologies, avec toutefois une nette prédominance de la technologie du lit fluidisé. La gazéification à flux entrainé profite largement des acquis de la gazéification du charbon.

Tableau 3 : Nombre et degré de développement des procédés de gazéification recensés, par technologie<sup>20</sup>

Technologie	Concepteur	Pression opératoire	Utilisation du gaz de synthèse	Degré de développement	Capacité (t/jour de déchets traités)
Lit fluidisé bouillonnant	Advanced Plasma Power	19 à 31 Bars	Electricité	Pilote	1,8
	Enerkem	5 Bars	Méthanol, éthanol	Démonstrateur	40-45
Lit fluidisé circulant	Envirotherm	<1,5 Bar	Fours de cimenteries ou chaudières	Industriel	500
	Milena (Energy Research Center of The Netherlands)	n.r	Moteurs ou turbines à gaz	Pilote	3,8
	Rentech	Atmosphérique	Chaleur + électricité	Démonstrateur (arrêté)	350
Lit fluidisé stationnaire	Kopf	n.r	Electricité	Démonstrateur	7
Lit fixe	Wartsila (Novel)	n.r	Combustible moteurs	Pilote	n.r
	Xylowatt	Atmosphérique		Pilote <sup>21</sup>	0,8
Lit circulant	Alter-NRG	n.r	Electricité + chaleur ou éthanol	Industriel	40
	Ecoloop			Démonstrateur (en construction)	115
Four Tournant	Basse Sambre	Atmosphérique	Electricité + chaleur Substitution énergétique en procédé industriel	Industriel Démonstrateur (en projet)	34

<sup>20</sup> 11 procédés de gazéification ont pu être caractérisés au niveau de la technologie utilisée.

<sup>21</sup> Le procédé Xylowatt est considéré au stade du pilote en traitement des déchets, sachant qu'il est par ailleurs au stade industriel pour le traitement de biomasses propres.



### 4.3 Rendement énergétique

Les rendements énergétiques annoncés par les concepteurs de procédés sont compris dans une large fourchette comprise entre 37 et 90%. Parmi les 10 procédés pour lesquels l'information a été obtenue, une majorité correspond à des rendements compris entre 60 et 80%.

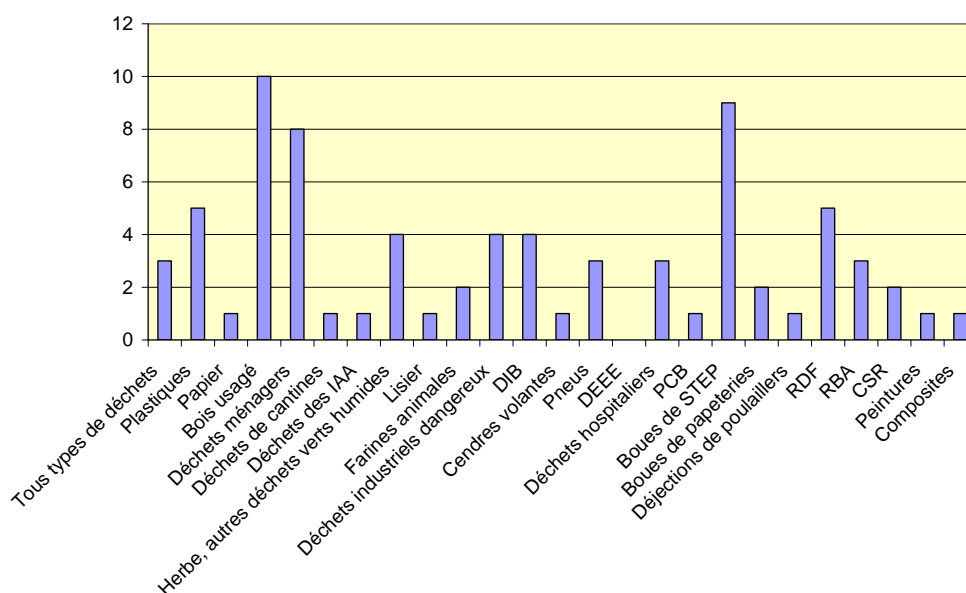
Ces différences de rendements doivent toutefois d'être interprétées avec beaucoup de prudence, les manières de déterminer le rendement d'un procédé à l'autre étant parfois radicalement différents. En effet, un rendement électrique ne peut pas être comparé à un rendement thermique ou thermochimique. Le rendement est parfois exprimé comme étant « l'énergie thermochimique du gaz / l'énergie du déchet » ou « (l'énergie thermochimique + l'énergie sensible du gaz) / l'énergie du déchet » ou encore « l'énergie de la vapeur générée / l'énergie du déchet », voire « l'énergie électrique produite / l'énergie du déchet ». Les informations collectées ne permettant pas toujours d'établir clairement la nature du rendement revendiqué par les concepteurs de procédés. La plus grande prudence est donc de mise, dès lors qu'il est question de rendement, et la comparaison des performances des différents procédés doit être faite avec discernement.

### 4.4 Nature des déchets traités

#### 4.4.1 Types de déchets

On constate une nette prédominance des bois usagés, des déchets ménagers (avec des degrés de préparations variables selon le procédé considéré) et des boues de STEP parmi les déchets revendiqués. Il est cependant important de noter la crédibilité de ces revendications peut dans un certain nombre de cas, être « interrogée » car la gazéification des déchets ménagers, surtout en mélange, restent éminemment délicate compte-tenu de leur hétérogénéité, et l'exigence de préparation et donc les coûts qui en résultent.

Graphique 9 : Nombre de procédés de gazéification recensés, selon le type de déchet utilisé



#### 4.4.2 Contraintes liées à la nature des déchets traités

Selon les développeurs de procédés interrogés, cinq critères de caractérisation des déchets traités ont un impact déterminant sur les conditions opératoires et le rendement des procédés, ainsi que sur la qualité des produits fabriqués :

- ✓ le taux d'humidité
- ✓ la teneur en cendres<sup>22</sup>
- ✓ la dimension, la forme et la densité
- ✓ la présence de soufre et de chlore
- ✓ l'homogénéité des déchets dans le temps.

Le taux d'humidité optimum est situé dans la plage comprise entre 10 et 20%. Un taux d'humidité supérieur à 30% se traduit par un rendement énergétique dégradé : d'une part l'énergie nécessaire pour évaporer l'eau contenue dans le déchet entraîne des coûts supplémentaires, d'autre part la vapeur d'eau produite affecte la composition du gaz de synthèse, enfin la réduction de la température opératoire contribue à accroître la teneur en goudrons du fait d'un « crackage » moins abouti.

La teneur en cendres varie fortement selon le déchet considéré, depuis moins de 1% pour le bois jusqu'à plus de 20% dans certains lisiers<sup>23</sup>. Une faible teneur en cendres (<5%) est généralement préférable afin de minimiser la proportion de résidus. La teneur en cendres et leur degré de fusibilité sont particulièrement importants dans le cas des réacteurs à lit fluidisé, les cendres fondues risquant de provoquer l'agglomération des particules dans le lit et de provoquer une paralysie du lit fluidisé.

La dimension, la forme et la densité des déchets entrant dans l'installation ont également une influence déterminante sur l'efficacité des procédés. Les caractéristiques dimensionnelles optimales sont fonction de la technologie du gazéifieur, du débit d'introduction de la charge, du temps de résidence dans le gazéifieur, de la température opératoire et du rendement du gazéifieur. La teneur en goudrons du gaz de synthèse dépend de ces paramètres. Il est préférable de pouvoir disposer d'une charge dont les morceaux sont homogènes en termes de dimension, de forme et de densité.

Les exigences sont très variables selon la technologie de gazéification utilisée : la dimension des déchets ne doit pas dépasser 1mm pour la gazéification à flux entraîné et 20mm avec le lit fluidisé circulant, tandis qu'elle peut varier dans une plage de 5 à 150mm avec le lit fluidisé bouillonnant.

La présence de soufre et de chlore dans les déchets : Les déchets concernés contiennent, à des degrés divers, des éléments tels que le soufre ou le chlore, qui conduisent au cours de la gazéification à la production de gaz polluants ou corrosifs et doivent être éliminés. Cela pose un problème dans le cas de la fabrication de carburants automobiles.

L'homogénéité des déchets dans le temps : Tous les concepteurs qui se sont exprimés sur ce point s'accordent sur le fait que la qualité du gaz de synthèse ou de l'huile est d'autant meilleure que la composition du flux entrant de déchets est régulière dans le temps (il s'agit ici de fluctuations rapides liées à des différences de composition des déchets entre deux bennes successives de déchets par exemple). Toutefois, à de rares exceptions, ce point ne semble pas entraîner de difficultés majeures, dans la mesure où il est possible, au moins dans une certaine mesure, d'atténuer les variations de composition des déchets entrants lors du stockage intermédiaire des déchets entrants avant traitement.

<sup>22</sup> Les cendres sont les composés minéraux intrinsèques au matériau ou inhérents à la pollution du déchet (terre.....)

<sup>23</sup> Source: E4Tech – “Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes” - Juin 2009

### **Toutes ces contraintes liées à la nature des déchets traités ont des conséquences importantes en termes de besoin de préparation des déchets avant traitement.**

Dans leur grande majorité, les procédés étudiés imposent des contraintes de préparation, plus ou moins fortes selon les cas, afin de respecter le niveau requis de qualité pour les déchets entrant dans le réacteur. Les opérations mises en œuvre le plus fréquemment sont les suivantes :

**Le séchage**, permettant de réduire autant que possible le taux d'humidité à 10-20% maximum. Il est obtenu par évaporation, généralement entre 100°C et 120°C. L'énergie nécessaire peut provenir soit d'une source extérieure, soit du gaz de synthèse fabriqué.

**Le calibrage**, consistant en des opérations de coupage, déchiquetage, broyage et criblage. Un broyage fin est parfois nécessaire. Ces opérations sont gourmandes en énergie.

**La torréfaction**, consistant en un traitement thermique "doux" d'une trentaine de minutes, entre 200°C et 300°C, en l'absence d'oxygène, conduisant à une charge sèche et plus facile à préparer. Elle est surtout appliquée dans le cas du bois (le bois torréfié est plus facile à broyer finement et requiert 80% d'énergie en moins).

#### **4.5 Possibilités d'utilisation de mélanges de déchets de biomasse et de non biomasse**

Peu de procédés utilisant prioritairement des mélanges de déchets de biomasse et de non biomasse ont été identifiés lors de l'étude. Par contre, quatre procédés ont réalisé des tests avec des mélanges.

Parmi les procédés de co-gazéification identifiés, seul le procédé « Shell Coal Gasification Process » (SCGP) s'appuie industriellement sur des mélanges de déchets de charbon et de biomasse par co-gazéification<sup>24</sup>. Ce procédé a été développé conjointement par Krupp Uhde et Shell au début des années 2000 et mis en œuvre dans l'unité de 250MWe de Buggenum (Pays-Bas) en 2002, avec une proportion de biomasse de l'ordre de 5 à 10%, principalement des boues de STEP, des déchets de poulaillers et de la sciure de bois. Le projet récent visant à utiliser 40% de biomasse dans quatre unités du site de la centrale à charbon de la société Nuon Magnum (Pays-Bas) semble avoir pris beaucoup de retard du fait des contraintes d'obtention des permis d'exploitation.

L'utilisation de mélanges de déchets de biomasse et de non biomasse n'a donc pas été confirmée au stade industriel pour l'instant.

#### **4.6 Produits fabriqués**

La majorité des procédés de gazéification identifiés permet de produire un gaz de synthèse dont la teneur en impuretés (goudrons, chlore, soufre...) n'autorise qu'un usage comme combustible pour équipements industriels (chaudières, moteurs, turbines) ou encore comme combustible dans des installations du type cimenterie ou autre gros consommateur d'énergie. L'installation doit être située aussi proche que possible du site consommateur, afin d'éviter des problèmes de transport.

Quelques procédés de gazéification produisent toutefois un gaz de synthèse dont le degré de pureté autorise une utilisation (moyennant un traitement de préparation éventuel) pour de la synthèse chimique ou un traitement en vue de la préparation<sup>25</sup> :

<sup>24</sup> Ce procédé n'a pas été inclus dans le champ de l'étude car il est exclusivement destiné à produire directement de l'électricité et de la chaleur.

<sup>25</sup> Les informations contenues dans ce paragraphe proviennent en partie de l'étude E4Tech intitulée « Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes » - NNFCC project 09/008 - Juin 2009

- ✓ de gazole de synthèse<sup>26</sup>, de kérosène ou de naphta par voie BtL (« Biomass to Liquid ») au moyen d'une synthèse Fischer et Tropsch (procédé catalytique dont le rendement énergétique est d'environ 60%). La sélectivité de l'essence produite ne dépasse pas 15 à 40% et celle du diesel est proche de 40% ;
- ✓ d'éthanol ligno-cellulosique par fermentation biologique (capacités de 10 à 100 kt/an de production). La sélectivité est de 100% ;
- ✓ de méthanol, par un procédé catalytique dont la sélectivité est supérieure à 99,5% ;
- ✓ d'alcools mixtes (mélange de méthanol, d'éthanol, de propanol et de butanol) par une réaction catalytique dont la sélectivité est variable, de l'ordre de 60 à 90%.

**Le principal sous-produit de la gazéification** est constitué de la fraction incombustible du déchet traité. Il contient une très faible quantité du carbone organique initialement présent dans le déchet. Après séparation des métaux, il est susceptible, sous certaines conditions, d'être valorisé comme un mâchefer d'incinération (sous réserve que la teneur en carbone organique total soit inférieure à la valeur limite de la réglementation, ce qui peut être d'autant plus difficile à respecter que le déchet de départ a une fraction incombustible faible), ou d'être vitrifié avant valorisation.

**Le principal sous-produit de la gazéification avec torche à plasma** est un résidu vitrifié solide, en principe inerte, pouvant être réutilisé, entre autres, dans la construction de routes.

#### 4.7 Modularité des installations

La tendance actuelle des procédés en développement semble évoluer vers une conception modulaire des installations.

Les sociétés proposant des systèmes modulaires parmi les procédés recensés sont les suivantes : Bioleum, Enerkem, Envion, Finaxo, Inéos, Solena, Plasco et Xylowatt.

Les avantages de la modularité mis en avant par les détenteurs de procédés sont liés à la flexibilité :

- ✓ Flexibilité de l'investissement : Il est possible d'ajouter des modules supplémentaires (jusqu'à 10, voire plus) pour accroître progressivement la capacité totale de l'installation, afin de suivre l'évolution de la demande ;
- ✓ Flexibilité opératoire : il est possible d'effectuer des opérations de maintenance ou des réparations sur un module tout en maintenant les autres modules en activité ;

---

<sup>26</sup> Le gazole de synthèse peut être obtenu :

- par hydrogénation (traitement à l'hydrogène) des corps gras contenus dans les huiles végétales ou les graisses animales, dans une unité dédiée ou en co-traitement dans une raffinerie (l'huile est mélangée en amont de l'unité d'hydrotraitement à un flux pétrolier de gazole). En 2010, une unité de production de gazole de synthèse par hydrogénation bénéficiait d'un agrément français. Cette unité a été mise en service en septembre 2009, mais n'a fonctionné depuis qu'avec une production très symbolique.

- par voie BtL (Biomass to Liquid) : le gazole de synthèse est obtenu par conversion thermochimique de la biomasse (gazéification + synthèse Fischer-Tropsch. Le gazole de synthèse est utilisé en mélange avec le gazole commercial. Compte-tenu de l'importance de l'investissement d'une synthèse Fischer-Tropsch, cette voie a été réservée à des unités de taille importante jusqu'ici. Une nouvelle technologie Fischer-Tropsch microchannel est susceptible d'ouvrir des perspectives intéressantes pour des unités de petites tailles.

- ✓ Flexibilité en matière de déchets traités : il est possible d'utiliser des charges de natures et de qualités différentes sur les différents modules.

En outre la modularité permet de réduire les risques liés aux grandes capacités unitaires soulignés par certains experts<sup>27</sup>, par exemple les risques d'étanchéité liés à l'utilisation de très gros fours.

A contrario, la modularité peut avoir des effets négatifs en termes de coûts d'investissement et de maintenance.

---

<sup>27</sup> Source : RECORD - « Inventaire des situations réglementaires atypiques des technologies autres que l'incinération (octobre 2011) ». [Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

## 5 Procédés de pyrolyse

### 5.1 Niveau de développement

Les cinq procédés industriels de pyrolyse recensés sont listés dans le tableau ci-après. Les mêmes réserves sont à souligner que pour la gazéification, concernant le manque de fiabilité des informations obtenues pour certaines installations.

En outre, plusieurs procédés de pyrolyse constituant des pistes intéressantes pour le futur ont été identifiés, sans avoir atteint pour autant le stade industriel. Ces procédés sont récapitulés au § 9.2.

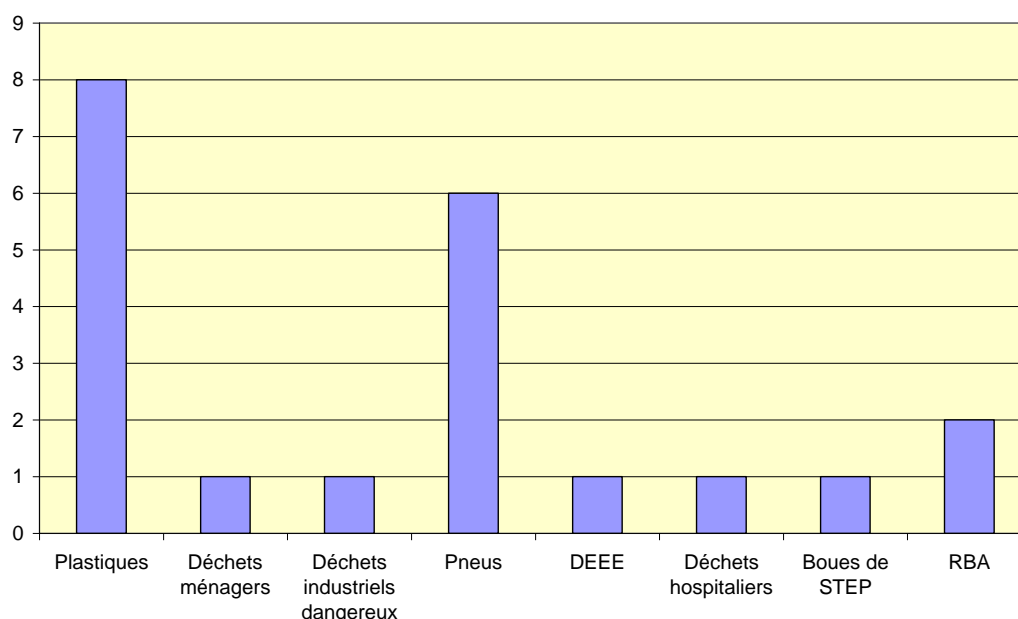
Tableau 4 : Procédés de pyrolyse recensés ayant donné lieu à des réalisations à l'échelle industrielle

Développeur du procédé	Pays du concepteur	Capacité (t/jour de déchets traités)	Produits sortants	Année de mise en service	Commentaires
n.r	Biélorussie	25	Fioul + noir de carbone	2008	L'unité exploitée à Taiwan a connu des problèmes d'exploitation. Elle traite 7 000 t/an de déchets. En 2010, l'exploitant a décidé de ne plus utiliser de vapeur et de revenir à une pyrolyse traditionnelle.
Carbon Green / CBp Carbon	USA / Slovaquie	30	Fioul + noir de carbone	(2010)	Très peu d'informations sur l'unité industrielle en exploitation à Chypre. Le coût d'investissement serait très élevé.
Klean Industries Inc.	Canada	3-100	Carburants pour moteurs industriels		Voir procédé Toshiba, dont Klean Industries a acquis les droits d'utilisation du procédé. L'existence des unités revendiquées n'est pas prouvée.
Toshiba	Japon	50	Huile moyenne (raffinage). Huile lourde (cogénération)	2000	Une unité au Japon.
NESA	France	n.r	Combustible pour cimenterie	n.r	Le four NESA de la cimenterie HOLCIM de Rochefort-sur-Nénon (39) reçoit des boues d'hydroxydes. Le gaz de synthèse est envoyé dans la tuyère du four, tandis que les résidus solides métalliques sont ajoutés au cru. C'est cette dernière fonction qui représente le principal objectif de l'installation.

## 5.2 Nature des déchets traités

On constate une nette prédominance des déchets plastiques et des pneus usagés.

Graphique 10 : Nombre de procédés de pyrolyse recensés, selon le type de déchet utilisé



## 5.3 Produits fabriqués

Avec la plupart des déchets utilisés, l'huile de pyrolyse obtenue possède un PCI et un point éclair satisfaisants pour une utilisation en tant que combustible. Par contre, elle est souvent pénalisée par une teneur élevée en impuretés (par exemple en noir de carbone dans le cas des pneus usagés) qui autorise seulement un usage direct comme combustible soit pour des chaudières industrielles (chaufferies...), soit dans des procédés industriels en substitution d'autres sources d'énergie, ou pour des moteurs lents tels que les moteurs marins et certains engins agricoles, moins exigeants que les automobiles en terme de qualité.

Trois types de traitements de l'huile sont envisageables pour la transformer en un carburant automobile :

- ✓ la distillation. Simple à mettre en œuvre, elle s'avère toutefois peu intéressante car elle aboutit à des rendements en carburant faibles ;
- ✓ le traitement par le procédé de synthèse Fischer et Tropsch. Ce procédé est toutefois complexe, coûteux en investissement et n'a été envisageable jusqu'ici que pour des installations de grande capacité<sup>28</sup>. En outre, la réaction Fischer et Tropsch ne s'applique qu'à un mélange gazeux (CO+H<sub>2</sub>). Pour cela, il est nécessaire de passer par une étape intermédiaire de gazéification de l'huile de pyrolyse.

<sup>28</sup> Une nouvelle technologie Fischer-Tropsch microchannel est susceptible d'ouvrir des perspectives intéressantes pour des unités de petites tailles.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

- ✓ le co-raffinage avec les produits pétroliers<sup>29</sup>. Cette solution est de nature à permettre des petites unités (c'est-à-dire compatibles avec les gisements localement disponibles) et n'oblige pas à recourir à un procédé Fischer & Tropsch. .

**Le principal sous-produit de la pyrolyse** est le coke de pyrolyse, constitué d'une part de la fraction non combustible du déchet traité (minéraux, métaux), d'autre part d'une fraction combustible riche en carbone. Après séparation des métaux et épuration, ce sous-produit peut, sous certaines conditions, être valorisé énergétiquement sur le site de production, ou valorisé (matière ou énergie) dans un autre procédé.

#### **5.4 Modularité des installations**

Les procédés de pyrolyse ont tendance à évoluer vers une conception modulaire des installations. Deux sociétés proposent des systèmes modulaires parmi les procédés recensés : Cynar et Pyrum.

Les avantages de la modularité mis en avant par les détenteurs de procédés ainsi que les inconvénients correspondants, sont les mêmes que pour la gazéification.

---

<sup>29</sup> Les travaux de recherche menés dans le cadre des thèses et projets AGRICE ont porté entre autres sur le co-raffinage avec les produits pétroliers.



## 6 Procédés de dépolymérisation thermique

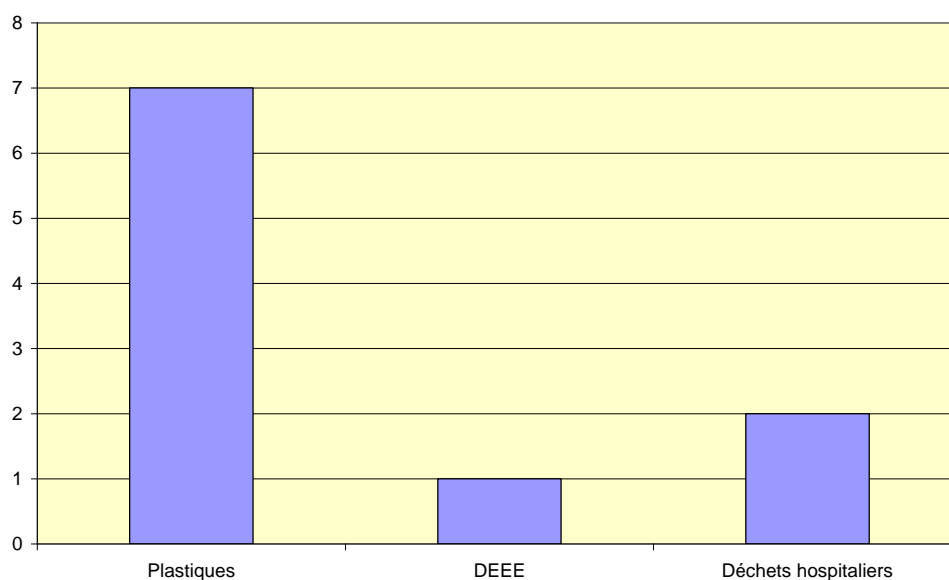
### 6.1 Niveau de développement

Les seules installations industrielles recensées sont basées sur le procédé de la société Plastic Advanced Recycling Corp. (USA), qui revendique l'exploitation de trois unités en Chine depuis 2002, fabricant une huile dont l'usage n'est pas identifié. La plage de capacité s'étend de 10 à 37 t/jour de déchets traités. Aucune information précise n'a pu être obtenue concernant ces unités, permettant de prouver leur réalité.

### 6.2 Nature des déchets traités

Les procédés recensés fonctionnent en majorité à partir de déchets plastiques, et dans un moindre mesure, les déchets hospitaliers et les DEEE.

Graphique 11 : Nombre de procédés de dépolymérisation thermique recensés, selon le type de déchet utilisé



### 6.3 Produits fabriqués

Le traitement par distillation de l'huile fabriquée permet en principe d'obtenir un carburant diesel apte à un usage pour les automobiles. Toutefois, il est nécessaire d'utiliser des déchets plastiques très propres (issus de la collecte sélective des déchets ménagers ou de déchets de production) pour pouvoir obtenir un rendement de distillation et une qualité de carburant satisfaisants. Or, compte tenu de la hiérarchie européenne des modes de traitement, ces déchets propres vont en priorité au recyclage matière. De plus, les recycleurs de plastiques européens (et chinois) sont très demandeurs de ce type de gisements, les prix sont donc très élevés. Pour les opérateurs d'unités de dépolymérisation thermique, la disponibilité de déchets plastiques propres à un coût acceptable constitue par conséquent (et constituera probablement dans le futur) une contrainte difficile à surmonter.

La dépolymérisation thermique pourrait également offrir des solutions pour valoriser certains déchets plastiques propres mais dont le recyclage matière est aujourd'hui moins bien maîtrisé au plan industriel que, par exemple, le recyclage des bouteilles en PET. En particulier, les attentes des industriels détenteurs de déchets sont fortes pour traiter les flux de barquettes usagées issues de l'extension de la consigne de tri sélectif des emballages ménagers. Ainsi, par exemple, un groupe pétrochimique

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

développe<sup>30</sup> un procédé de dépolymérisation des déchets de polystyrène, en valorisant l'expérience acquise<sup>31</sup> sur une plateforme de collecte et de traitement des déchets industriels (gobelets défectueux...) aux USA. Ce groupe prévoit la construction d'une première unité pilote en Belgique pour un démarrage début 2013.

#### **6.4 Modularité des installations**

Les sociétés Envion et Vadxx proposent une conception modulaire des installations. Les avantages de la modularité mis en avant par les détenteurs de procédés et ses limites sont les mêmes que pour la gazéification.

---

<sup>30</sup> Information confidentielle.

<sup>31</sup> Source : Recyclage Récupération – n° du 16/01/2012.

## 7 Procédés de solvolyse

Deux projets de recherche concernant des procédés de recyclage des composites par solvolyse ont été identifiés au stade laboratoire :

- Le projet RECCO, porté par l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux (ICMCB) et financé par l'ADEME, vise le recyclage des fibres de carbone de matériaux composites sous forme de fibres semi-longues, par solvolyse supercritique, sans altérer leurs propriétés mécaniques. La finalité est la mise en place d'une filière de recyclage allant du gisement jusqu'au nouveau produit à fibres recyclées. Dans un premier temps le projet concerne le traitement des déchets de production, puis est étendu à celui des avions de ligne en fin de vie.
- Le projet AERDECO (Aéronautique Déchets Composites), porté par Plastipolis (MCR) et financé dans le cadre du 7<sup>e</sup> appel à projets relevant du Fonds Unique Interministériel (FUI 7). Il vise le recyclage des composites aéronautiques par solvolyse (hydrolyse). La décomposition par solvolyse permet de séparer les différents matériaux (matrice, fibre, grillages de métallisation) pour des valorisations ultérieures. Le projet a pour finalité de construire un démonstrateur capable d'effectuer le procédé et fournir les matières recyclées à l'échelle pilote. Le réacteur prototype présent à l'ICAM Nantes sert de modèle pour l'étude de la réaction de décomposition, l'étude physique du procédé et du réacteur et la conception du démonstrateur. Le projet a démarré en avril 2008, pour une durée de trois ans

D'autre part, des projets de recherche concernant la glycolyse du PET en continu, la glycolyse du PET en extrusion réactive et le recyclage chimique des déchets de PET en polyesters-polyols ont été mis en œuvre par le Ceremap<sup>32</sup> entre la fin des années 90 et 2006. Il s'agit toutefois de projets assez anciens, le plus récent identifié étant l'optimisation d'un procédé continu de recyclage chimique des déchets de PET « Production de polyesters-polyols destinés à la fabrication de matériaux polyuréthanes » financé par l'ADEME, en 2004-2006.

Les nombreux pilotes développés dans le monde dans les années 90 (glycolyse, hydrolyse, méthanolyse), fonctionnant sur des déchets de PET, ont tous été stoppés. De même, les projets de recherche initiés dans les années 2000 n'ont pas connu de prolongements industriels, y compris en France<sup>33</sup>. Aucun d'eux n'a débouché sur des installations commerciales industrielles<sup>34</sup> du fait des coûts de production beaucoup trop élevés. Il y avait un écart très important entre le coût de production et le coût d'achat, en particulier du PET vierge, sur le marché. Ces coûts élevés s'expliquent en particulier par le fait que ces unités nécessitent des matériaux nobles résistant à la corrosion, du fait de la présence de PVC dans les déchets de PET. Ainsi, en Allemagne, la seule usine en activité a été fermée récemment du fait d'une corrosion excessive<sup>35</sup>. A moyen / long terme, seule une augmentation considérable du coût du pétrole pourrait permettre à la solvolyse de devenir compétitive.

<sup>32</sup> Cet organisme est aujourd'hui en liquidation judiciaire.

<sup>33</sup> A titre d'exemple, en 2002 et 2003, l'ADEME a financé 16 projets dont 8 dans le cadre des appels à projets sur les « Procédés de recyclage chimique des plastiques ». Les procédés étudiés étaient principalement l'extrusion réactive et la solvolyse.

<sup>34</sup> Source : Entretien avec Mike Neal, directeur du CPME (« PET manufacturers in Europe ») – Janvier 2012.

<sup>35</sup> L'Université de Clausthal a réalisé en 2009 pour la société Tecpol une étude sur les procédés de valorisation des déchets plastiques en combustibles. L'étude conclut que peu de progrès ont été réalisés depuis 10 ans. Sur les 22 procédés analysés, 4 d'entre eux s'avèrent « intéressants » mais aucun ne permet de disposer des données suffisantes pour une analyse technique approfondie. Les 4 procédés étaient les suivants : Clyvia Technology GmbH, Gossler Envitec GmbH, Nill-Tech GmbH et Alphakat GmbH. Aucun de ces procédés n'est basé sur le recyclage chimique. Après analyse complémentaire, le procédé Alphakat fût considéré comme « non viable ».

D'autre part, la capacité minimale d'une unité de recyclage chimique, compte tenu de la nature des équipements installés, est de l'ordre de 200 000t/an, contre 25 000t/an pour une unité de recyclage mécanique. Ce tonnage semble peu compatible avec la taille des gisements localement disponibles de déchets. De plus, ces déchets ont une très faible densité, et le coût de leur transport sur de longues distances est réhibitoire.

En outre, dans le cas des déchets de corps creux en PET, la solvolysse se heurte à la concurrence des procédés d'extrusion réactive, qui permettent de fabriquer de la qualité « résine vierge ». Les procédés de polycondensation en phase solide et d'extrusion /réaction sont en effet plus économiques que les procédés de solvolysse. Ces procédés sont éprouvés et ont atteint un stade de développement industriel. Ils permettent, à partir des paillettes de PET, de fabriquer des granulés aptes aux applications avec contact alimentaire, notamment des bouteilles pour boissons. Il s'agit en particulier des procédés de polycondensation en phase solide (Supercycle) et les procédés basés sur l'extrusion/réaction à 200°C (URCC, RMA,...). Dans les deux cas, on obtient des granulés d'une grande pureté, dont les qualités sont équivalentes à celles de la résine vierge (contrairement au PE<sup>36</sup>, le taux de migration des bouteilles recyclées en PET est en effet du même ordre que celui du verre).

---

<sup>36</sup> PE : Polyéthylène

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## 8 Procédés utilisant des fluides sub et supercritiques

Deux pistes concrètes ont été identifiées, au stade laboratoire / petit pilote :

- ✓ Un pilote au centre de recherche de Tsukuba (Japon), fonctionnant sur le principe de l'hydrolyse par l'eau sous-critique. Sa capacité est de 5 t/jour de biomasse (boues de STEP humides, algues, résidus boueux de fermentation alcoolique...). La production atteint 1,5 t/jour d'une huile dont le PCI est égal à 36 MJ/kg ;
- ✓ le procédé Ecolicel<sup>37</sup> développé par le Pôle Fibres Lorraine, visant à produire des colles et des résines « écologiques » à partir des molécules obtenues après séparation et extraction de la cellulose, de l'hémicellulose, de la lignine et des tanins contenus dans les coproduits de papeterie. Le Pôle Fibres Lorraine construit un petit pilote<sup>38</sup>, afin de valider la faisabilité d'une unité de traitement en continu par l'eau sub et supercritique.

Pour le moment, les développements en sont encore au stade du laboratoire et aucun bilan énergétique n'est disponible.

Ce type de procédé présente des perspectives de développement industriel à un horizon de 5/10 ans. L'obstacle reste économique.

Comme indiqué précédemment, certains procédés de solvolysse utilisent également des fluides supercritiques (cf. § 7 Procédés de solvolysse, ci-dessus).

---

<sup>37</sup> Source : Entretien avec Karl Gedda (Pôle Fibres Lorraine).

<sup>38</sup> En réponse au dernier appel à projet « Plates-formes d'innovation », lancé par l'État, un pilote industriel sera développé avant la fin de l'année à Carling (Moselle), en collaboration avec le centre de recherche du chimiste Arkema. Implantés dans l'Est, les papetiers Norske-Skog et UPM-Kymmene se sont engagés dans ce projet qui devrait démarrer début 2011 pour une durée de trois ans.

## 9 Diagnostics individuels des procédés recensés

### 9.1 Structure de présentation des diagnostics individuels

Un diagnostic de chaque procédé recensé a été effectué sur la base des informations collectées.

Ces diagnostics sont présentés selon les 5 catégories de procédés décrites ci-avant (gazéification, pyrolyse, dépolymérisation thermique, solvolysse, traitement en milieu sub ou super-critique), et par ordre alphabétique à l'intérieur de chaque catégorie.

Chaque diagnostic est structuré en deux parties :

- ✓ un tableau récapitulant les caractéristiques clés : nom du porteur du procédé, nom ou type de procédé, degré de développement, déchets traités<sup>39</sup>, produits sortants, capacité, réactivité à la prise de contact, présence commerciale en France, présence commerciale en Europe, business plan.
- ✓ une appréciation des principaux atouts et handicaps du procédé, des points de vigilance et du degré d'intérêt global du procédé.

Un tableau récapitulatif des diagnostics est présenté au paragraphe 9.2.

En outre, le lecteur trouvera en Annexe 4 les « Fiches procédés » contenant les informations détaillées relatives à chaque procédé.

---

39 Pour de nombreux procédés, il est difficile de faire la part des choses entre les déchets effectivement traités éventuellement au stade industriel, les déchets testés avec succès, à l'échelle labo ou pilote, et parfois les « intentions » de traiter certaines catégories de déchets, sans résultats probants justifiant de l'aptitude du procédé à les traiter.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## 9.2 Procédés de gazéification

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Advanced Plasma Power (Grande Bretagne)</b>
<b>Procédé</b>	Gasplasma (gazéification)
Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Tests effectués sur un pilote avec des déchets ménagers, DIB, RBA, RDF, déchets dangereux, boues de STEP
Produits sortants	Gaz de synthèse, pour conversion en électricité
Capacité	Pilote : 1,8 t/jour Industriel (projets) : 90 000 à 150 000 t/an de déchets
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	L'entreprise s'appuie sur les savoir-faire de Tetronics (plasma) et de Energy Products of Idaho, Inc. pour le four à lit fluidisé.

Le procédé de gazéification Gasplasma est testé sur un pilote depuis plus de quatre ans sans que des applications industrielles aient vu le jour pour l'instant. Le gaz de synthèse est utilisé comme combustible pour un moteur thermique afin de produire de l'électricité et de la chaleur. Les informations disponibles permettent de penser que le rendement énergétique est faible. La vitrification des résidus au moyen d'une torche à plasma constitue une spécificité du procédé. Aucun détail n'a pu être obtenu sur les trois autres unités dont l'exploitation est revendiquée par Advanced plasma Power en Grande-Bretagne (unités équipées de gazéificateurs de la société Energy Products of Idaho, en combinaison avec des torches à plasma Tetronics).

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Agilyx (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification
Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Tests effectués sur des déchets plastiques
Produits sortants	Huile + gaz de synthèse
Capacité	Modules de 10 t/jour de déchets
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	

Le procédé de gazéification des déchets plastiques développé par Agilyx est testé sur un pilote qui tourne aux Etats-Unis depuis 2006. La modularité du procédé (modules de 10 t/jour) et sa polyvalence constituent des atouts. Les produits sortants sont constitués à 80% d'un pétrole brut à très faible teneur en soufre, qui peut par la suite être raffiné soit sur place via une technologie standard de micro raffinage, ou bien dans des raffineries extérieures. Aucun développement industriel n'a été identifié depuis six ans.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Alter-NRG (Canada)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification (Plasma Gasification Vitrification Reactor - PGVR)

Degré de développement	Industriel (2 unités au Japon et unités en Inde)
Déchets traités	Deux unités industrielles fonctionnent au Japon sur des déchets ménagers, boues de STEP, RBA Unités fonctionnant sur des déchets dangereux en Inde.
Produits sortants	Industriel : Gaz de synthèse → Ethanol Industriel : Gaz de synthèse → Chaleur + électricité.
Capacité	Industriel (éthanol) : 40 t/j
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	Alter NRG a racheté en 2006 la technologie de la compagnie Westinghouse Plasma Corporation. La société a initialement développé le procédé pour le traitement des déchets spéciaux de la métallurgie, puis testé des déchets ménagers au début des années 90.

A l'exception d'un petit pilote, les deux unités industrielles en opération au Japon, qui tournent depuis 10 ans, sont totalement orientées vers la production intégrée de chaleur et d'électricité à partir du gaz de synthèse. Ces deux unités ont permis à Alter-NRG d'acquérir une expérience dans la durée en matière de traitement de déchets de biomasse et de déchets plastiques par torche à plasma. Le faible PCI du gaz de sortie ne permet pas d'envisager une combustion dans un moteur. Le gaz ne peut qu'être brûlé dans une chaudière ou utilisé pour une synthèse chimique.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Basse-Sambre (Belgique)</b>
<b>Procédé</b>	PIT-Pyroflam (Gazéification)

Degré de développement	Industriel
Déchets traités	L'unité industrielle en fonctionnement en Islande traite des ordures ménagères (PCI : 12,2 MJ/kg) après pré-traitement léger, des déchets hospitaliers et des peintures...).
Produits sortants	Electricité et chaleur
Capacité	34 t/j
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	SITA est détenteur de la licence.
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	

Une seule référence industrielle probante (à Reykjavík, en Islande) qui tourne depuis 8 ans et produit de la chaleur et de l'électricité. Le produit fabriqué est trop pauvre pour pouvoir être utilisé comme combustible pour des moteurs. Le projet de développement commercial vers l'utilisation directe des gaz par des cimentiers (au moyen d'unités situées dans l'enceinte de la cimenterie) constitue une piste intéressante.



<b>Porteur du procédé</b>	<b>Bellwether (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	<b>Gazéification</b>

Degré de développement	L'entreprise revendique une référence industrielle en Roumanie
Déchets traités	n.r
Produits sortants	n.r
Capacité	300 t/j
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	n.r
Stratégie commerciale	n.r

Les informations ci-dessus sont issues de la littérature et du site Internet de l'entreprise. Aucun contact avec l'entreprise n'a pu être obtenu.

Le caractère opérationnel de la société est douteux.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>SM Bioleum Resources (Inde)</b>
<b>Procédé</b>	<b>Bioleum (gazéification)</b>

Degré de développement	n.r
Déchets traités	Le concepteur déclare pouvoir traiter n'importe quels déchets de biomasse propre (résidus agricoles), résidus industriels, déchets ménagers, boues de STEP, mais aucun élément ne permet de vérifier cette affirmation.
Produits sortants	Electricité Carburant diesel (via synthèse Fischer et Tropsch)
Capacité	n.r
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	

Aucune réponse n'a été reçue aux demandes d'informations. Les quelques données disponibles relatives au procédé et à l'expérience de l'entreprise sont très théoriques et ne permettent pas de juger de la réalité des développements. Aucun élément ne permet d'identifier des aspects innovants particuliers. Les informations disponibles ne permettent pas de vérifier la réalité des références revendiquées.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Bio 3d / Méthanation (France)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse, gazéification et méthanation
Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Le concepteur revendique la réalisation de tests sur des déchets de bois (biomasse propre), puis sur des pneus, boues de STEP, lisiers, farines animales, ordures ménagères, déchets spéciaux, DIB, bois pollués, huiles de transformateurs ...
Produits sortants	Méthane, hydrogène, gaz de synthèse, ...
Capacité	Pilote : 0,4 t/j Démonstrateur (en projet) : 4 t/j
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	La société Méthanation a conclu une convention de licence afin d'utiliser le brevet de Bio 3D pour développer un pilote industriel à l'horizon 2013.

L'originalité du procédé est la phase finale de méthanation, qui permet de fabriquer un gaz riche en méthane. Les travaux sont encore à un stade préliminaire. Il faudra attendre 2013 pour vérifier si le passage au stade pilote se concrétise.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Ecoloop</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification
Degré de développement	Démonstrateur en construction (démarrage prévu au printemps 2012)
Déchets traités	Le concepteur projette d'utiliser des déchets plastiques et du RDF.
Produits sortants	Gaz de synthèse
Capacité	115 t/j de déchets traités, pour une production électrique de 32 MW
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Procédé développé conjointement par Ecoloop GmbH et l'Université Technique de Clausthal.  Vente de la licence et participation aux études de base.

Le démonstrateur en cours de construction est destiné à fournir de l'énergie à un chaufournier situé à proximité. L'approche pragmatique développée par l'équipe d'experts, avec le support de l'Université des Mines Clausthal, donne de la crédibilité au projet. Il conviendra de suivre les retours d'expérience de ce démonstrateur à partir de la fin 2012.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Eneria (France)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification

Degré de développement	Démonstrateur
Déchets traités	Tests effectués sur des déchets de bois usagé, boues de papeteries, CSR
Produits sortants	Gaz de synthèse (transformé in situ en électricité par moteur à gaz, et chaleur)
Capacité	Actuel : 20 t/j Objectif : 8 000 à 50 000 t/an de déchets traités
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Supervision d'unités clés en main, en partenariat avec des sociétés d'ingénierie (royalties sur la vente). Eneria et Xylowatt développent en partenariat les marchés belge et français de la cogénération biomasse, dans une gamme de puissance comprise entre 1 et 5 MWe.

L'objectif d'ENERIA est de développer un procédé simple, robuste et exportable, pouvant utiliser les déchets les moins chers possibles, afin de produire de l'électricité au moyen d'un moteur thermique couplé. Il faudra surveiller avec attention les résultats du projet en cours en Haute Loire. Cette unité présente l'originalité d'utiliser la chaleur excédentaire issue de la gazéification pour déshydrater de la luzerne (ou de l'argile pour litière pour chats).

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Enerkem (Canada)</b>
<b>Procédé</b>	Biosyn (gazéification + conversion catalytique)

Degré de développement	Démonstrateur (depuis 2009) Unité industrielle (en construction)
Déchets traités	Pilote : tests effectués sur des déchets de cantines, déchets des IAA, déchets verts humides, pneus, liqueur noire, boues de STEP, déjections de poulaillers, RBA. Démonstrateur : tests effectués avec des déchets de biomasse propre, déchets plastiques, papier, bois traité, déchets ménagers, RDF, CSR.
Produits sortants	Démonstrateur : éthanol Unité industrielle (en construction) : éthanol et méthanol.
Capacité	Design modulaire Démonstrateur : 40 à 45 t/j de déchets Objectif industriel : 300 t/j de déchets
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	Offre basée sur des contrats « Build, Own and Operate ».

Selon Enerkem, le méthanol et l'éthanol produits ont une qualité « commerciale ». L'entreprise semble dynamique et revendique plusieurs projets en cours de construction. Il serait intéressant de se rapprocher de cette entreprise afin de valider le potentiel réel du procédé.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Envirotherm GmbH (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification
Degré de développement	Industriel
Déchets traités	Industriel : Utilisation de déchets de bois de classe B pour produire un gaz de synthèse destiné à être injecté dans un précalcinateur de cimenterie, ainsi que pour alimenter une chaudière industrielle. Le concepteur revendique la possibilité d'utiliser sans limites tous les mélanges de déchets de biomasse et non biomasse (des tests ont été effectués sur des mélanges papier / RDF et des boues de STEP).
Produits sortants	Gaz de synthèse → Fours de cimenteries, chaudières
Capacité	Jusqu'à 500 t/j de déchets (100 MWe).  Possibilité de mise en œuvre de capacités plus faibles correspondant aux besoins des collectivités locales (6-10MW électrique/30MW thermique).
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Envirotherm GmbH utilise des brevets achetés à la société Lurgi.

Envirotherm profite de l'expérience de la gazéification à grande échelle acquise à travers la société « Schwarze Pumpe » et a acquis des brevets de la société Lurgi. Elle offre une technologie éprouvée de gazéification à lit fluidisé et dispose de références qui prouvent une flexibilité du procédé en capacité et en nature de déchets utilisés. Néanmoins, l'entreprise n'a pas réalisé de projets récemment, les seules réalisations prouvées datant d'avant 2000.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Europlasma (France)</b>
<b>Procédé</b>	« CHO Power » (gazéification + torche à plasma)
Degré de développement	Démonstrateur (en construction à Morcenx (40), démarrage début 2013)
Déchets traités	Les déchets envisagés sont des refus de tri de DIB et du bois usagé.
Produits sortants	Le gaz de synthèse peut être utilisé dans un moteur (voire une turbine à gaz d'après le porteur du procédé) dans le but de produire de l'électricité. Le résidu solide est vitrifié.
Capacité	Démonstrateur : 170 t/j de déchets
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Accords-cadres avec Veolia et Sita. Europlasma a signé un tarif de rachat avec EDF, ainsi qu'une obligation de rachat sur vingt ans.

Europlasma a fait le choix de sauter l'étape de l'installation pilote et de construire directement une unité de taille industrielle. Par le passé, Europlasma a acquis de l'expérience en matière de gazéification en effectuant des essais sur la plateforme d'essai de Moissannes (Limousin). Sur l'unité de Morcenx, les spécifications des déchets sont assez restrictives, ce qui limite le risque. L'absence de test à l'échelle pilote, de la technologie du gazéifieur retenue pour l'unité de Morcenx constitue un point de vigilance. Les premiers retours d'expérience de cette unité devraient être disponibles à partir de début 2013.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Finaxo (France)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrobio (gazéification)
Degré de développement	Pilote (depuis 2010) Pilote industriel (depuis 2011)
Déchets traités	Le concepteur revendique la réalisation de tests sur des pneus, boues de STEP, bois, farines animales, vinasses, refus de tri déchets domestiques.  Le pilote industriel de la station de Fismes utilise des boues de STEP (250 kg/h).
Produits sortants	Gaz → vapeur/chaueur Electricité
Capacité	Pilote : 20 t/j Industriel (projet) : Modules de 1 à 100 t/j de déchets.
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	-
Stratégie commerciale	-

Le procédé se caractérise par l'utilisation de billes métalliques comme média chauffant du processus de pyrogazéification. Les projets en cours sont destinés à produire de l'électricité ou de la vapeur. Pour surmonter le problème de la présence de goudrons dans le gaz, qui rend difficile l'utilisation dans un moteur pour la production d'électricité, l'entreprise annonce qu'elle travaille à la mise au point d'un système qui permettrait de consommer le gaz dans un moteur à haute température (environ 400°C), évitant ainsi d'avoir à laver les gaz. L'entreprise annonce de nombreux projets, mais pour le moment le seul développement prouvé est le pilote de 1 t/h. Il conviendra de suivre de près les retours d'expérience du pilote industriel démarré en novembre 2011 à Fismes.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Global Clean Energy Inc. (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification

Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Le concepteur revendique la réalisation de tests sur des déchets plastiques, déchets municipaux, herbe, bois usagé.
Produits sortants	Non spécifié
Capacité	n.r
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	n.r
Présence commerciale en Europe	n.r
Stratégie commerciale	n.r

Les informations disponibles ne sont pas suffisantes pour valider la réalité des développements récents et des projets annoncés par l'entreprise. Aucune information disponible ne permet de penser que ce procédé présente un avantage compétitif particulier.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>InEnTec (USA) / S4 Energy Solutions (USA)</b>
<b>Procédé</b>	PEM (Plasma Enhanced Melter) – Gazéification

Degré de développement	Pilote.
Déchets traités	Tests effectués avec des déchets ménagers, DIB, déchets hospitaliers, déchets industriels, déchets dangereux, cendres volantes, PCB.
Produits sortants	Gaz de synthèse, à partir duquel il est possible de produire de l'électricité, de l'éthanol, du méthane ou de l'hydrogène.
Capacité	n.r
Réactivité à la prise de contact	Faible
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	« S4 Energy Solutions » est une joint-venture entre Waste Management, Inc. et InEnTec, dont l'objectif est de développer et exploiter les installations de gazéification utilisant la technologie PEM.

Le procédé comporte plusieurs spécificités, en particulier la chambre de gazéification atmosphérique équipée d'un bassin de verre fondu, et le chauffage avec un arc plasma à courant continu. Les informations disponibles tant sur les deux unités existantes que sur les projets en cours sont très partielles et leur réalité n'a pas pu être validée. L'objectif prioritaire déclaré par « S4 Energy Solutions » est de traiter des déchets commerciaux, médicaux et industriels pour produire une gamme de carburants et produits industriels. A terme, il est prévu de traiter également des déchets solides municipaux. Aucun indice de volonté d'implantation en Europe n'a été décelé.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>INEOS Bio (Suisse)</b>
<b>Procédé</b>	INEOS Bioenergy Process (gazéification)

Degré de développement	Pilote (depuis 2003 aux USA)
Déchets traités	Tests réalisés avec des déchets de bois usagé. Le concepteur revendique la possibilité de traiter la fraction organique des déchets municipaux et commerciaux, des déchets verts et des déchets des IAA.
Produits sortants	Ethanol
Capacité	Pilote : n.r Projets : 30 000 t/an d'éthanol (conception modulaire)
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui (depuis la Suisse)
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Déploiement de la technologie à travers la vente de licences d'utilisation et de construction.

En dehors de l'unité pilote en fonctionnement aux USA depuis 2003, plusieurs projets sont annoncés en Europe et aux USA mais rien de concret n'a été encore réalisé. L'entreprise s'appuie sur un groupe d'envergure mondiale (Ineos). Tous les développements sont orientés vers la réalisation d'unités d'éthanol carburant. Il conviendra de suivre la réalisation de l'unité fonctionnant sur des fractions organiques des déchets municipaux et commerciaux, des déchets verts et des déchets alimentaires (tels que les produits périmés de supermarchés) dont le démarrage est prévu à l'horizon 2014.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Inter Engineering GmbH / Solventure GmbH (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification

Degré de développement	Laboratoire
Déchets traités	Le concepteur revendique la possibilité de traiter tous les types de déchets, sous réserve d'une teneur en biomasse >90%.  Il déclare avoir effectué des tests sur plusieurs types de déchets, dont des déchets hospitaliers dangereux.
Produits sortants	Gaz de synthèse → électricité
Capacité	n.r
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Déclare vouloir fournir des unités clé-en-main, ou établir des partenariats en joint-venture

Ce procédé consiste à solubiliser les déchets dans une solution saline, puis les gazéifier pour produire un gaz de synthèse. Il a été testé avec plusieurs types de déchets, dont des déchets hospitaliers dangereux. L'entreprise cherche des sources de financement pour pouvoir achever la construction d'une unité de démonstration de 100 t/jour de déchets. Il serait utile de vérifier le degré de développement du procédé, afin de confirmer le bien-fondé de l'intention du porteur du procédé de réaliser une unité industrielle de 100 t/j.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Kopf SynGas GmbH &amp; Co. KG (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification

Degré de développement	Démonstrateur
Déchets traités	Tests effectués sur des boues de STEP
Produits sortants	Gaz de synthèse
Capacité	7 t/j de déchets secs
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Procédé centré sur la valorisation des boues de STEP. Conception, construction et exploitation des unités.

En Allemagne, les stations d'épuration rencontrent des problèmes croissants de valorisation / élimination des boues et produisent de plus en plus souvent de l'énergie par fermentation. Le procédé de Kopf Syngas permet de valoriser les produits fermentés, en produisant soit de l'électricité au moyen d'un moteur thermique, soit de la chaleur en vue du séchage des boues. La technologie est éprouvée et a atteint une capacité bien adaptée aux stations d'épuration de grande taille.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Energy Research Centre of The Netherlands (ECN) (Pays-Bas)</b>
<b>Procédé</b>	Milena (gazéification)

Degré de développement	Pilote (depuis 2008)
Déchets traités	Tests effectués sur des bois usagés, des déchets verts et des boues de STEP
Produits sortants	Gaz de synthèse
Capacité	Pilote : 3,8 t/ j de biomasse
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	La société Dahlman commercialise le procédé de production d'électricité

Le procédé a pour vocation de produire de l'électricité et de la chaleur. Après élimination des impuretés (technologie de nettoyage brevetée pour produire un gaz sans poussières ni goudrons), le gaz est bien adapté aux applications du type moteur à gaz ou turbine à gaz du fait de son pouvoir énergétique élevé (habituellement 16 MJ/mn<sup>3</sup> sec) et de ses propriétés voisines de celles du gaz naturel. Plusieurs offres commerciales sont en cours pour de la production directe in situ d'électricité et de chaleur, via le partenaire commercial Dahlman. Il sera utile de suivre l'évolution du projet de démonstrateur d'une capacité de 48 t/jour, dont le début de la construction est prévu en 2012.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>LITÉLIS (France)</b>
<b>Procédé</b>	Orgawatt (gazéification)

Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Tests réalisés sur des déchets de bois propres. Projet de test avec des bois imprégnés.
Produits sortants	Gaz de synthèse (pauvre) → électricité
Capacité	Pilote : 0,5 t/j (exploité pour une campagne d'essais de 15 mois entre 2009 et 2011. A l'arrêt depuis.)  Un projet industriel de 4 MWth (1,2 t/h de déchets traités) est envisagé dans une unité de fabrication de panneaux de particules, afin de chauffer un fluide caloporteur avec le gaz de synthèse issu de la gazéification. Les déchets utilisés sont les chutes de bois mélaminé. Toutefois, ce projet réalisation se heurte à des difficultés de financement.
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Oui en 2011, dépôt de bilan en 2014
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	Installation d'unités en partenariat, soit auprès d'utilisateurs de chaleur, clients industriels ou collectivités locales, soit auprès de clients producteurs de combustibles, pour produire ensemble de l'électricité. LITÉLIS recherche 1,5 M€ auprès d'investisseurs..



Le procédé Orgawatt® s'appuie sur les travaux réalisés par le Cemagref dans les années 80. Les trois installations construites par Creusot-Loire ont été mises au rebut en 1985 après la chute du prix des hydrocarbures. LITÉLIS, société créée en 2001 par des industriels vendéens, a repris le projet initial et apporté des améliorations, en particulier sur la variabilité de puissance et la modularité des zones de fonctionnement du gazéifieur, sans modifications de dimension du réacteur, lui conférant un fonctionnement à puissance variable dans un rapport de 1 à 4 pour une même installation. Ceci lui confère une réelle originalité.

Le système est conçu en vue de la combustion du gaz de synthèse dans un brûleur mixte gaz pauvre/gaz naturel en vue de la valorisation en énergie thermique et/ou dans un moteur ou une turbine à gaz en vue de la valorisation en énergie électrique.

LITÉLIS a construit un pilote d'une puissance de 100kWe, qui a achevé sa phase d'essais de 15 mois en avril 2010 et validé le procédé sur des déchets de bois propre. L'objectif était de tester et mettre au point le procédé sur des bois imprégnés (tels que mélaminés ou créosotés), mais les essais trop peu nombreux n'ont pas permis de valider le bon fonctionnement du procédé sur de tels déchets. La première unité industrielle est en projet chez un industriel de la filière bois (déchets de bois) à Chantonay (85) avec un démarrage prévu au deuxième trimestre 2012 (capacité : 4 MWth). L'installation de gazéification est déjà intégrée dans le dossier de réévaluation ICPE de l'industriel, ce qui permet de bénéficier de l'antériorité.

Il conviendra de suivre attentivement l'évolution du projet en cours, qui semble aujourd'hui être dans une impasse en matière de financement. L'aptitude du procédé à traiter des déchets de bois mélaminés devra être vérifiée sur le pilote et/ou sur la première unité industrielle. Ces résultats auront un impact fort sur l'évolution des nombreux autres projets envisagés par LITÉLIS.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Plasco Energy Group (Canada)</b>
<b>Procédé</b>	Plasco (gazéification)

Degré de développement	Démonstrateur
Déchets traités	Tests effectués sur des déchets ménagers + déchets plastiques ajoutés
Produits sortants	Production d'électricité par des moteurs alimentés par le gaz de synthèse, et d'un résidu solide amorphe (vitrifié).
Capacité	Démonstrateur (unité d'Ottawa) : 100 t/j (depuis 2008) Système modulaire.
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Vente du savoir-faire et de la technologie, prestations d'ingénierie. Schéma « finance, build, own and operate ». Propose aux collectivités de traiter les déchets contre une rémunération garantie par tonne de déchets.

Ce procédé de gazéification par torche à plasma est testé depuis 2008 sur un démonstrateur au Canada. L'installation est autorisée actuellement pour une capacité de 75 t/jour de déchets ménagers et assimilés soit les  $\frac{3}{4}$  de sa capacité nominale. De plus, 10 t/jour de déchets à forte teneur en carbone peuvent être ajoutées pour augmenter le pouvoir calorifique du gaz de synthèse produit, en vue de l'alimentation des moteurs à gaz.

Le fonctionnement de l'unité reste très en dessous de la capacité autorisée et il semble que les difficultés de mise au point du procédé sont importantes. L'entreprise annonce plusieurs projets à l'étude en Grande-Bretagne et en Pologne.

Au moment de la présente étude, c'est-à-dire début 2012, la situation ne semble pas avoir notablement évolué depuis l'expertise effectuée par l'ADEME en octobre 2009, qui concluait que « Les données actuellement fournies par les différents constructeurs ne permettent pas de considérer que cette technologie apporte une amélioration significative dans le traitement des déchets ».

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Plasma Power GmbH (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Gazéification

Un pilote est en fonctionnement chez PP Renat en Allemagne. Une unité industrielle à Sarrebourg, aurait démarré début 2011.  
L'entreprise nous a confirmé sa décision d'abandonner la prospection du marché français, du fait de facteurs défavorables (fiscalité, déboires avec certaines collectivités locales,...)

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Rentech (USA)</b>
<b>Procédé</b>	SilvaGas (gazéification)

Degré de développement	Démonstrateur (arrêté)
Déchets traités	Tests réalisés avec des bois usagés et des déchets ménagers
Produits sortants	Gaz de synthèse
Capacité	350 t/j de déchets (en fonctionnement de 1997 à 2002).
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	Rentech a acquis la société SilvaGas Corp. en juin 2009 et sa technologie de gazéification des déchets de biomasse. Rentech a également acquis 25% de la société ClearFuels Technology Inc.

Il n'a pas été possible de confirmer la réalité du projet de Rentech dans l'usine de Rialto (Californie) pour fabriquer des carburants par synthèse Fischer et Tropsch, ainsi que de l'énergie (capacité : 800t/jour) à partir de déchet urbains de bois en 2012. En mai 2011, le projet était toujours en attente de financement.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Solena Fuels (BTL) \ Solena Group (IPGCC) (USA)</b>
<b>Procédé</b>	SPGV (gazéification)
Degré de développement	2 pilotes (depuis 1996)
Déchets traités	Tests réalisés avec plusieurs types de déchets de biomasse, incluant des déchets municipaux solides, des déchets forestiers et agricoles.  Tests en projet avec des déchets d'aéroports.
Produits sortants	Carburant aviation Energie électrique.
Capacité	Pilotes : n.r Projets industriels: - IPGCC (production d'énergie électrique): 50 000 à 200 000 t/an de déchets - BTL (production de carburant): 550 000 t/an de déchets. Conception modulaire.
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Solena développe la partie « gazéification » et s'appuie sur des partenariats avec des sociétés d'ingénierie pour la réalisation de la partie « synthèse Fischer et Tropsch ». La société assure par ailleurs l'intégration d'ensemble des projets.

Deux procédés de vitrification et gazéification par torche à plasma à partir de déchets de biomasse ont été développés par Solena. Le procédé IPGCC (Cycle combiné de gazéification par plasma), qui utilise directement le gaz de synthèse comme combustible pour produire de l'énergie électrique au moyen d'un moteur à gaz, et le procédé BTL (« Biomass-to-Liquids »), qui permet de produire du carburant (gazole ou naphta) par synthèse Fischer-Tropsch. Les gaz co-produits en sortie d'unité Fischer et Tropsch sont utilisés comme combustibles dans une turbine à gaz pour produire de l'énergie. L'excédent est exporté vers le réseau électrique local.

Selon le concepteur, l'utilisation d'un lit de coke assure une distribution uniforme de la chaleur générée par le plasma. Toute la chaleur est transférée vers le lit de biomasse. .

Le pilote le plus récent remonte à l'année 2000 et a permis de tester une grande variété de déchets durant une durée cumulée de 8400 heures.

Une extrême prudence s'impose face aux revendications du constructeur dont aucun des nombreux projets annoncés de fabrication de kérosène et de naphta à partir de RDF issu de déchets ménagers urbains n'a encore vu le jour. Pour l'instant, ces projets (British Airways, Quantas) restent des effets d'annonce. En outre, aucune preuve concrète ne permet de valider la réalité des revendications de l'entreprise, de fabriquer un carburant aviation (kérosène) satisfaisant au standard ASTM D 7566 09 et carburant diesel répondant au standard britannique DEF STAN 91-91, en mélange 50-50.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Wartsila Corporation (Finlande)</b>
<b>Procédé</b>	Novel (gazéification)

Degré de développement	Pilote (Finlande)
Déchets traités	Tests réalisés avec des bois usagés, RDF, boues de STEP.
Produits sortants	Gaz combustible pour l'alimentation de moteurs thermiques.
Capacité	1 à 10 MWe
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	

Bien que des boues de STEP aient été testées, ce procédé est principalement orienté vers la valorisation de déchets issus de la biomasse propre, pour la production d'électricité. Il ne semble pas prioritaire en vue de développements futurs en France.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Xylowatt (Belgique)</b>
<b>Procédé</b>	<b>Gazéification</b>

Degré de développement	Petites unités industrielles fonctionnant sur biomasse propre et sur plaquettes de bois naturel Pilote fonctionnant avec des plaquettes de bois usagé (traverses de chemin-de-fer....). (depuis 2010).
Déchets traités	Voir ci-dessus
Produits sortants	Gaz de synthèse, pouvant être utilisé dans des moteurs à combustion interne pour la cogénération ou en combustion directe dans des procédés industriels.
Capacité	Pilote : 0,8 t/j Industriel (projet) : Modules unitaires de gazéification : 1750, 3150 ou 5600 tonnes de matière sèche/an.
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui (Belgique)
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Design, construction, exploitation et maintenance de centrales de gazéification basées sur technologie NOTAR® Co-développement de projets avec des partenaires sur des projets spécifiques ou à l'export (Eneria, Cofely, GDF-Suez...

L'entreprise souligne que les caractéristiques du gaz sont bien adaptées pour la substitution au gaz naturel ou d'autres combustibles fossiles (fioul...) dans des procédés exigeant une bonne qualité de gaz (moteurs à combustion interne, procédés industriels du type four verrier, four à brique...)  
Un pilote est en fonctionnement à Louvain-La-Neuve (Belgique) depuis 2010 (capacité : 40 kg/h de déchets) sur des déchets de biomasse autres que biomasse propre. Plusieurs unités industrielles fonctionnent sur le même procédé depuis 5 à 15 ans avec des déchets de biomasse propre.  
Il conviendra de suivre l'évolution du projet industriel en cours de développement à Bruxelles (« Brussels Wood Renewable ») d'une capacité de 1 MWe + 2 MWth (5900 tonnes de déchets/an) pour traiter du bois usagé fortement adjuvanté (traverses de chemin de fer en plaquettes) et produire de l'électricité et de la chaleur (démarrage prévu en 2013).

### 9.3 Procédés de pyrolyse

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Alpha-Recyclage Franche Comté (France)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse (vapo-thermolyse)

Degré de développement	Démonstrateur (début de construction prévu début 2014)
Déchets traités	L'unité est destinée à traiter des pneumatiques usagés
Produits sortants	Fuel + noir de carbone
Capacité	20 à 25 t/j
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	Achat de la licence au concepteur (biélo-russe) pour l'Europe de l'Ouest. Disposer d'une unité opérationnelle dès 2014

Ce procédé permet d'obtenir un noir de carbone d'une pureté élevée et un fioul pouvant être retraité en raffinerie. Selon Alpha-Recyclage, la vapo-thermolyse permet, à équipements équivalents, de doubler la capacité de traitement de déchets par rapport à une pyrolyse classique.

L'unité exploitée depuis 2008 par une société basée à Taiwan, sur procédé vendu par la société biélo-russe conceptrice du procédé, a connu des problèmes d'exploitation. Elle traite 7 000 t/an de déchets. En 2010, l'exploitant a décidé de ne plus utiliser de vapeur et de revenir à une pyrolyse traditionnelle. Les causes de ces difficultés ont été clairement identifiées, et l'unité en projet est conçue pour y remédier.

Les performances techniques annoncées par Alpha-Recyclage pour la vapo-thermolyse restent pour l'instant théoriques, dans l'attente du démarrage du démonstrateur qui devrait être opérationnel fin 2014. L'autorisation de construction de l'unité (ICPE) a été obtenue en janvier 2012.

On note une forte volonté du management pour se développer sur le marché européen.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Bio Oil Holding NV (Pays-Bas)</b>
<b>Procédé</b>	Bio Oil (pyrolyse)

Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Tests effectués sur tous types de déchets de biomasse (déchets ménagers) + déchets plastiques
Produits sortants	Huile + gaz + résidu carboné
Capacité	Pilote existant : 30 t/j de déchets traités Pilote en projet de 100 t/j
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	n.r

Ce procédé de pyrolyse flash à 500-700°C, en mélange avec du sable, est potentiellement capable de traiter des déchets de biomasse très peu préparés (ordures ménagères brutes, dont ont été éliminés les gros morceaux métalliques et les inertes afin de ne pas endommager le système d'introduction de la charge). L'huile fabriquée, de faible PCI, est utilisable directement comme combustible pour chaudières. Après raffinage, elle est également utilisée comme carburant pour moteurs diesel lents. Il faudra surveiller l'évolution du projet de pilote de 5 t/h, en construction en Belgique.

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Carbon Green (USA) / CBp Carbon (Slovaquie)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse

Degré de développement	Industriel (unité à Chypre, depuis 2010)
Déchets traités	L'exploitant déclare qu'il utilise des pneus usagés
Produits sortants	Fioul + noir de carbone
Capacité	30 t/j de déchets traités
Réactivité à la prise de contact	-
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	n.r
Stratégie commerciale	-

On dispose de très peu d'informations sur le procédé et sur l'unité industrielle en exploitation à Chypre. Certaines informations laissent penser que le coût d'investissement est très élevé.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Cynar plc (Grande Bretagne)</b>
<b>Procédé</b>	EPLD (End of Life Plastic to Diesel) (pyrolyse)

Degré de développement	L'entreprise revendique un démonstrateur en exploitation en GB.
Déchets traités	L'exploitant déclare utiliser des déchets plastiques
Produits sortants	Carburant diesel
Capacité	20 t/j (déchets traités) soit 19 m <sup>3</sup> /jour de carburant
Réactivité à la prise de contact	Faible
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Accord d'exclusivité entre Sita (GB) et Cynar pour l'utilisation de la technologie Cynar. Contrat exclusif pour la réalisation de 10 unités. Le fond d'investissement « Blue Orange » (groupe Suez) finance la construction des unités. Accord de coopération Cynar / Loughborough University (GB) pour optimiser la technologie.

Un aspect innovant du procédé revendiqué par le concepteur est son aptitude à chauffer la charge uniformément et rapidement, permettant un craquage homogène de la charge et une meilleure qualité des produits de sortie. En outre, Sita UK annonce la production d'un carburant propre, dont la teneur en soufre est plus faible et dont l'indice de cétane est plus élevé que ceux du carburant diesel commercial. Par contre, il n'a pas été possible d'obtenir des informations sur la nature exacte des déchets utilisés (il semble que les déchets plastiques utilisés actuellement soient très propres) ni sur le rendement final en carburant diesel selon le type de déchet utilisé. Le devenir des résidus d'épuration des plastiques et des refus de cette opération, mérite d'être explicité.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Deusa (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse

Degré de développement	Pilote (arrêté pour le moment)
Déchets traités	Tests réalisés sur des déchets plastiques
Produits sortants	n.r
Capacité	n.r
Réactivité à la prise de contact	Faible
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	n.r

L'unité pilote de thermolyse des déchets plastiques réalisée en 2005 n'a jamais fonctionné correctement, du fait d'importants problèmes au niveau de l'installation de lavage des gaz. Deusa considère qu'une révision complète de la conception serait nécessaire. Le ministère allemand de l'environnement pourrait financer partiellement le projet. En novembre 2011, le financement n'était toujours pas bouclé.

Le procédé a été présenté à diverses conférences mais sans jamais présenter de détails (type de réacteur...).

Deusa réalise des efforts pour faire fonctionner le procédé. Il faudra toutefois attendre la fin du projet d'amélioration en cours pour pouvoir apprécier les performances réelles.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Klean Industries Inc. (Canada)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse

Degré de développement	Industriel
Déchets traités	Le concepteur revendique l'utilisation industrielle de plastiques issus des déchets ménagers, pneus, DIB, déchets agricoles, films, RBA, DEEE.
Produits sortants	Mélange diesel / essence (70/30%)
Capacité	3 à 100 t/j de déchets
Réactivité à la prise de contact	Moyenne
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Modèle "Build, Own and Operate".

Klean Industries a un profil d'ensemblier, présent sur de nombreux domaines technologiques. Cette société a acheté les droits d'utilisation de la technologie Toshiba Corp. Il n'a pas été possible d'obtenir d'informations permettant d'apprécier la pertinence des références revendiquées. Selon l'entreprise, le principal produit sortant est un carburant dont la spécification est bien adaptée à une utilisation dans des moteurs industriels.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Nill-Tech (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Thermolyse

Degré de développement	Démonstrateur (depuis 2006)
Déchets traités	Tests réalisés sur des déchets plastiques
Produits sortants	Gazole, utilisable pour un traitement ultérieur en raffinerie
Capacité	10 t/j de déchets.
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Installations clés en main. Cession de licence envisageable.

La société a acquis de l'expérience depuis 2006 sur son unité de démonstration en Suisse. Toutefois cette unité connaît des problèmes opératoires. Le procédé est théoriquement prometteur, mais s'avère très sensible à la présence de chlore (influence négative sur sa stabilité et sur la qualité des produits fabriqués), ce qui implique un système d'élimination du PVC en entrée de l'unité qui grève fortement l'économie du procédé. La question se pose également de la valorisation des résidus, produits en quantités élevées.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Pyrum SAS (France) + Pyrum GmbH (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse

Degré de développement	Démonstrateur (en construction)
Déchets traités	Le concepteur déclare avoir effectué des tests sur des pneus, bouteilles plastiques, produits à base de bitume, plastiques divers (sauf PVC), EPDM, carcasses d'animaux. Des tests complémentaires sont en cours de validation sur des déchets de polystyrène et des sables bitumeux
Produits sortants	Huile + gaz + coke + noir de carbone
Capacité	Conception modulaire. Pilote : 1t / j (depuis 2008) Démonstrateur en cours de construction (fin 2012) : 5 000t/an.
Réactivité à la prise de contact	Elevée.
Présence commerciale en France	Oui.
Présence commerciale en Europe	Oui.
Stratégie commerciale	A l'origine, l'objectif de Pyrum était de construire sa propre usine. Aujourd'hui, l'entreprise cherche à diffuser son procédé.

Ce procédé de pyrolyse, de conception modulaire, vise notamment la valorisation des pneus usagés. Pyrum mentionne la possibilité de transformer l'huile fabriquée en diesel et en essence, en effectuant un raffinage en aval, qu'il est prévu d'effectuer au sein d'une raffinerie de pétrole.

L'entreprise construit un module de 5000 t/an de capacité à Dillingen (Allemagne) destiné à traiter des pneumatiques usagés (info fin 2012). Il sera intéressant de suivre les retours d'expérience à partir de 2013. L'huile est destinée à être traitée en raffinerie.



<b>Porteur du procédé</b>	<b>Toshiba Corp. (Japon), en partenariat avec Sapporo Plastics Recycling Co. Ltd.</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse

Degré de développement	Industriel (depuis 2000)
Déchets traités	Déchets plastiques municipaux
Produits sortants	Huile lourde + huile moyenne + combustible solide. L'huile moyenne est utilisée comme intrant pour le raffinage. L'huile lourde est utilisée pour alimenter deux unités de cogénération de 2MW chacune.
Capacité	50t/j de déchets.
Réactivité à la prise de contact	Informations obtenues à travers PWMI au Japon.
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	La société canadienne "Klean Industries" assure le marketing du procédé pour l'Amérique du nord et l'Europe.

Depuis l'an 2000 une unité de pyrolyse / distillation de déchets plastiques mélangés difficiles à recycler mécaniquement est en opération au Japon.

Selon Sapporo Plastics Recycling Ltd. le procédé comporte deux aspects particulièrement originaux : d'une part une unité de déchloration permet de traiter des flux de déchets ayant un contenu élevé en PVC tout en produisant des huiles ayant une teneur en chlore inférieure à 100 ppm. D'autre part, l'utilisation d'un catalyseur spécial mélangé à la charge permet de contrôler la production d'acide benzoïque lors du traitement des déchets de PET et d'éviter une acidité excessive des huiles fabriquées.

L'exploitation de l'unité est subventionnée par la municipalité de Sapporo depuis le démarrage de l'unité (le montant de l'aide n'a pas été communiqué).

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Tree Power (France) / Biomass Technology Group (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Pyrolyse flash

Degré de développement	Pilote (USA)
Déchets traités	Tests réalisés avec des boues de STEP.
Produits sortants	Huile de pyrolyse, à forte teneur en hydrocarbures, destinée à la combustion en substitution au fuel lourd.
Capacité	Pilote: 1,5 à 6 t/j de déchets de biomasse Objectif industriel : 70 000 t/an de déchets.
Réactivité à la prise de contact	Elevée.
Présence commerciale en France	Oui
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Tree Power France souhaite créer une société par unité installée sur le territoire français. Dans chaque unité des partenaires locaux seront invités à participer au tour de table.

Les brevets du réacteur et du procédé sont détenus par la société américaine Biomass Technology Group. Tree Power France développe le procédé en France et recherche un lieu d'implantation approprié. Les projets sont principalement orientés vers l'utilisation de déchets de biomasse propre, mais le détenteur du brevet a effectué des tests sur des boues de STEP. Pour le moment, il n'y a encore rien de concret en France.

## 9.4 Procédés de dépolymérisation

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Alphakat (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation catalytique + fractionnement mécanique
Degré de développement	Industriel (très petites capacités)
Déchets traités	Revendiqué par le concepteur mais non vérifié : Déchets ménagers, CSR, DEEE
Produits sortants	Carburant
Capacité	2 à 5 t/j (estimation).
Réactivité à la prise de contact	Elevée
Présence commerciale en France	Oui via la société Rocanda
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	Politique basée sur la vente de petites unités, surtout dans les pays en voie de développement.

A l'issue des entretiens réalisés avec des responsables d'Alphakat dans le cadre de la présente étude, aucun élément concret (s'appuyant en particulier sur des références prouvées) n'a été décelé concernant le caractère opérationnel du procédé.

En outre, les expertises externes effectuées en Allemagne mettent fortement en doute les possibilités d'atteinte des performances annoncées par l'entreprise.

Une extrême prudence s'impose face aux revendications du constructeur qui n'a été en mesure de fournir les coordonnées précises de contacts d'aucune des références qu'elle revendique.

Dans ce contexte, toute analyse plus approfondie suppose préalablement que cette société accepte de communiquer de manière plus transparente autour des références et des performances du procédé et des unités qu'elle revendique.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Anhui orsun environmental technology Co. Ltd (Chine)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation catalytique
Degré de développement	L'entreprise revendique deux démonstrateurs en fonctionnement depuis 7 ans à Efei, Anhui (Chine)
Déchets traités	Tests réalisés sur des déchets plastiques (PE, PE, PET, HDPE, LDPE, PP, PS)
Produits sortants	85% d'une huile similaire à du pétrole brut.
Capacité	25 t/j
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	n.r

Aucun détail n'a pu être obtenu sur le procédé.

Pas de réponse aux multiples demandes de contact.

Aucun avancement récent par rapport au pilote fonctionnant depuis 7 ans.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Climax Global Energy Inc. (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation thermique

Degré de développement	Pilote
Déchets traités	Tests réalisés avec des déchets plastiques (PE, PET, HDPE, LDPE, PP, PS)
Produits sortants	Huile
Capacité	3 t/j
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	n.r

La date de construction du démonstrateur d'une capacité de 3t/jour située en Caroline du Sud n'est pas connue, pas plus que l'horizon du projet d'extension. Il est donc difficile d'apprécier la consistance des développements réalisés par cette entreprise. Le chauffage par micro-ondes pour le processus de dépolymérisation constitue une originalité du procédé. Malheureusement on ne dispose pas d'éléments pour juger de l'intérêt de cette technique pour ce type de procédé.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Envion (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Envion Oil Generator™ (dépolymérisation thermique)

Degré de développement	Démonstrateur
Déchets traités	Le concepteur déclare avoir testé des déchets plastiques (bouteilles de sodas en plastique, pots de crème et grands gobelets).
Produits sortants	Huile
Capacité	Démonstrateur : 10 t/j de déchets. Industriel (objectif) : Système modulaire. 30 t/j tonnes de déchets plastiques/an et par module.
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	Envion souhaite céder la licence de cette technologie à des municipalités, d'abord aux USA, puis dans d'autres pays.

Le chauffage par infrarouge du réacteur constitue une originalité du procédé. Les informations (très partielles) disponibles tendent à démontrer une gestion aléatoire des développements de cette entreprise familiale (en Corée le prototype a été démonté, aux USA le démonstrateur a été relocalisé). L'entreprise souligne que l'huile produite peut être traitée dans une raffinerie pour être transformée en carburant commercial (essence, kérosène, carburant pour l'aviation et gazole) par traitement aval. Cette valorisation n'est toutefois mise en œuvre concrètement ni par Envion, ni par un client.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Logmed Corporation GmbH (Allemagne)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation thermique

Degré de développement	Laboratoire
Déchets traités	Tests réalisés sur des déchets plastiques (PE, PP, PC) y compris les plastiques des déchets hospitaliers infectieux, huiles usées (sans PCB).
Produits sortants	Huile lourde + gaz de synthèse + naphta.
Capacité	Laboratoire : 1 t/j Projet : 5 000 t/an de déchets.
Réactivité à la prise de contact	Faible
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Oui
Stratégie commerciale	

La société se concentre sur le traitement des déchets dangereux hospitaliers. Le procédé est bien connu mais a été abandonné par les grandes sociétés comme RWE et E.on, les coûts logistiques et les coûts de prétraitement des déchets étant trop pénalisants au plan économique. Logmed installe une unité de démonstration.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Plastic Advanced Recycling Corp. (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation catalytique et thermique

Degré de développement	Industriel
Déchets traités	Les unités consomment des déchets plastiques (films, corps creux...) y compris déchets souillés, ainsi que des déchets hospitaliers.
Produits sortants	Huile
Capacité	10 à 35 t/j de déchets plastiques.
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	n.r

Selon le concepteur, ce procédé présente la particularité de pouvoir traiter des déchets ménagers souillés, y compris des déchets contenant du PVC. L'huile produite aurait les caractéristiques d'un fioul lourd pouvant être utilisé directement pour produire de l'électricité, ou faire l'objet d'un traitement aval pour être transformé en carburant diesel ou en essence. Aucune information précise n'a pu être obtenue concernant les trois unités industrielles dont l'entreprise revendique l'exploitation en R.P de Chine depuis 10 ans.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>T-Technology (Hongrie)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation catalytique

Degré de développement	n.r
Déchets traités	Déchets plastiques
Produits sortants	Hydrocarbure liquide pouvant être utilisé soit comme carburant pour véhicule ou combustible pour machine thermique, ou par l'industrie chimique.
Capacité	n.r
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	n.r
Stratégie commerciale	n.r

En dépit de nombreuses relances, l'entreprise n'a pas pu être contactée.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Vadxx (USA)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation thermique

Degré de développement	Démonstrateur
Déchets traités	Le concepteur a testé des déchets plastiques, déchets textiles, RBA, déchets hospitaliers, pneus, sur son démonstrateur.
Produits sortants	Huile
Capacité	Démonstrateur : n.r Industriel (en projet) : Unité modulaire de 2 t/h, soit 10 000 à 14 000 t/an de déchets traités.
Réactivité à la prise de contact	Aucune
Présence commerciale en France	Non
Présence commerciale en Europe	Non
Stratégie commerciale	n.r

Vadxx réalise sa première usine commerciale à Akron (Ohio, USA) en partenariat avec la société « Greenstar Recycling », pour traiter des emballages plastiques ménagers issus de la collecte sélective. L'unité Vadxx/Greenstar devrait être opérationnelle au second semestre 2012. Il faudra suivre l'évolution de ce projet.

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Groupe pétrochimique (confidentiel)</b>
<b>Procédé</b>	Dépolymérisation

Ce groupe pétrochimique développe un procédé de dépolymérisation, qui vise à fabriquer du polystyrène recyclé de qualité alimentaire à partir de déchets de polystyrène issus de la transformation ou de déchets d'emballages ménagers. Il s'inscrit notamment dans le contexte des nouveaux flux issus de la collecte sélective élargie des emballages.

Le craquage thermique contrôlé au niveau du temps de chauffe et du temps de résidence des déchets permet de fabriquer une huile styrénique, qui est ensuite purifiée par distillation. Ce groupe a acquis une expérience en matière de déchets de polystyrène à travers sa plateforme de collecte et de traitement des déchets industriels (gobelets défectueux...) aux USA. Il s'est associé en France avec Galloo Plastics pour traiter le PS issu des DEEE.

La construction d'une première unité pilote en Belgique est prévue à très court terme, pour un démarrage fin 2012.

*Note : Ce procédé ne fait pas l'objet d'une fiche descriptive détaillée.*

## 9.5 Procédés de solvolyse

Les projets de recherche identifiés dans le domaine de la solvolyse sont décrits au chapitre 7 de ce rapport (projets RECCO et AERDECO).

*Note : En l'absence de données plus détaillées, ce procédé ne fait pas l'objet d'une fiche détaillée.*

## 9.6 Traitement en milieu sub ou super-critique

<b>Porteur du procédé</b>	<b>Pôle Fibres Lorraine (France)</b>
<b>Procédé</b>	Projet Ecolicel (eau sub et supercritique)

Le Pôle Fibres Lorraine construit un petit pilote au sein de la plateforme Ecolicel, afin de valider la faisabilité d'une unité de traitement en continu par l'eau sub et supercritique. Le procédé en cours de développement pourra fonctionner dans une gamme de température de 30° à 275°C, pour des pressions de quelques bars à presque 300 bars.

L'objectif est de tester des charges très variées, selon ce que l'on cherche à obtenir en sortie de machine (molécules d'intérêt, destruction de produits dangereux....). La biomasse n'est pas obligatoirement propre mais cela favorise la durée de vie des matériaux de la paroi du réacteur.

Le procédé en est actuellement à un stade très préliminaire, mais mérite d'être suivi dans ses développements ultérieurs.

*Note : En l'absence de données plus détaillées, ce procédé ne fait pas l'objet d'une fiche détaillée.*

## 9.7 Synthèse des diagnostics individuels

Les tableaux des deux pages suivantes récapitulent les atouts et handicaps des 47 procédés analysés.

Il est utile de rappeler qu'une grande prudence est nécessaire face aux revendications de certains porteurs de procédés, étant donné l'écart qui peut exister entre les revendications ou les « annonces » et les résultats réels.

En outre, il faut souligner le dynamisme du secteur, qui se traduit par une multiplicité de travaux et d'initiatives dans le domaine du traitement des déchets de biomasse (hors biomasse propre) et des déchets d'origine fossile par des procédés thermiques en vue de la fabrication de combustibles ou de produits chimiques.

### Procédés à suivre en priorité

A l'issue de cette analyse, il ressort que 17 d'entre eux sont susceptibles de présenter un degré d'intérêt particulièrement élevé :

- ✓ 2 procédés au stade industriel : Basse Sambre (Belgique), Klean Energy (Canada) ;

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

- ✓ 8 procédés au stade du démonstrateur : Alpha-Recyclage (France, unité en construction [début 2014]), Cynar (Grande Bretagne), Ecoloop (Allemagne, démonstrateur en construction), Eneria (France), Enerkem (Canada), Europlasma (France, unité industrielle de démonstration à Morcenx dans les Landes, en phase de démarrage [info début 2013]), Kopf Syngas (Allemagne), Pyrum (Allemagne/France, unité en construction à Dillingen en Allemagne [info fin 2012]) ;
- ✓ 6 procédés au stade pilote : Finaxo (France), Inéos (Suisse), Milena (Pays-Bas), Tree Power (USA / France), Xylowatt<sup>40</sup> (Belgique, au stade du pilote pour les déchets), (procédé confidentiel) (Belgique) ;
- ✓ 1 procédé au stade laboratoire : Logmed (Allemagne).

---

<sup>40</sup> Le procédé Xylowatt est considéré au stade pilote pour le traitement des déchets, bien que plusieurs petites unités industrielles soient en fonctionnement sur de la biomasse propre.  
Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre



Tableau 5 : Atouts et handicaps des procédés analysés

Nom	Pays	Technologie	Degré de développement	Produits fabriqués	Réactivité à la prise de contact	Présence commerciale en France	Présence commerciale en Europe	Atouts			Handicaps				Degré d'intérêt global ●●●: Elevé ●●: Moyen ●: Faible
								Qualité de l'équipe, du business model	Unité industrielle en fonctionnement vérifiée	Projets (pilote, démonstrateur, industriel) à suivre avec attention	Pas assez d'éléments pour confirmer la réalité ou les détails du projet	Pas de développements récents	Obstacles technologiques pénalisants	Viabilité aléatoire de l'entreprise ou du procédé)	
Advanced Plasma Power	GB	Gazéification	Pilote	Gaz de synthèse --> électricité	Moyenne	-	+				●		●		●
Agilyx	USA	Gazéification	Pilote	Huile pour raffinage (+ gaz synthèse)	Faible	-	-				●	●			●
Alphakat	Allemagne	Dépolymérisation	Industriel	Carburant pour moteurs thermiques	Elevée	+	+							●	●
Alter-NRG	Canada	Gazéification	Industriel	Ethanol ou électricité + chaleur	Faible	-	-			●					●● Bonne expérience dans le domaine de la gazéification plasma
Alpha Recyclage	France	Pyrolyse	Démonstrateur (en construction)	Fioul + noir de carbone	Elevée	+	-			●					●●●
Anhui Orsun	Chine	Dépolymérisation	Démonstrateur	Huile pour raffinage	Faible	-	-				●				●
Basse-Sambre	Belgique	Gazéification	Industriel	Electricité + chaleur	Elevée	+	+		●	●					●●● Volonté de se diversifier vers l'utilisation directe des gaz par des cimentiers
Bellwether	Allemagne	Gazéification	Industriel	n.r	Faible	-							●		●
(inconnu - société biélo-russe)	Biélorussie	Pyrolyse	Industriel	Fioul + noir de carbone		-	-		●				●		●
Bioleum	Inde	Gazéification	Laboratoire	Gaz synthèse --> carburant diesel + électricité	Faible	-	-							●	●
Bio-Oil	Pays-Bas	Pyrolyse	Pilote	Huile combustible pour chaudières (ou pour moteurs lents) après raffinage	Elevée	-	+	+		●					●●
Bio 3d	France	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse	Elevée	+	-			●					●●
Carbon Green / CBp Carbon	USA / Slovaquie	Pyrolyse	Industriel	Fioul + noir de carbone							●				●●
Climax Global Energy	USA	Dépolymérisation	Pilote	Huile pour raffinage	Faible	-	-				●				●

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Nom	Pays	Technologie	Degré de développement	Produits fabriqués	Réactivité à la prise de contact	Présence commerciale en France	Présence commerciale en Europe	Atouts			Handicaps				Degré d'intérêt global ●●●: Elevé ●●: Moyen ●: Faible
								Qualité de l'équipe, du business model	Unité industrielle en fonctionnement vérifiée	Projets (pilote, démonstrateur, industriel) à suivre avec attention	Pas assez d'éléments pour confirmer la réalité ou les détails du projet	Pas de développements récents	Obstacles technologiques pénalisants	Viabilité aléatoire de l'entreprise ou du procédé)	
Cynar	Grande Bretagne	Pyrolyse	Démonstrateur	Carburant diesel	Faible	+	+		●		●				●●●
Deusa	Allemagne	Pyrolyse	Pilote (arrêté)	n.r	Moyenne	-	+					●			●
Ecoloop	Allemagne	Gazéification	Démonstrateur en construction	Gaz synthèse --> électricité	Elevée	-	+			●					●●●
Eneria	France	Gazéification	Démonstrateur	Gaz synthèse --> électricité + chaleur	Elevée	+	+			●					●●●
Enerkem	Canada	Gazéification	Démonstrateur	Méthanol, éthanol	Elevée	-	-	+		●					●●●
Envion	USA	Dépolymérisation	Démonstrateur	Huile pour raffinage ou carburant aviation, kérosène	Faible	-	-				●				●
Envirotherm	Allemagne	Gazéification	Industriel	Gaz synthèse --> fours de cimenteries, chaudières	Elevée	-	+					●			●
Europlasma	France	Gazéification	Démonstrateur (en construction)	Gaz synthèse --> électricité	Elevée	+	+			●					●●●
Finaxo	France	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse --> vapeur + électricité	Elevée	+				●					●●●
Global Clean Energy	USA	Gazéification	Pilote	n.r	Faible						●				●
In En Tech	USA	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse	Faible	-	-				●				●
Ineos	Suisse	Gazéification	Pilote	Ethanol	Elevée	+	+	+		●					●●●
Inst. méca et ingénierie de Bordeaux (projet RECCO)	France	Solvolyse	Laboratoire	Diols, polyols						●					●●
Inter Engineering	Allemagne	Gazéification	Laboratoire	Electricité	Moyenne	+	+								●●
Klean Industries	Canada	Pyrolyse	Industriel	Carburant diesel pour moteurs industriels	Moyenne	-	+			●	●				●●●

Nom	Pays	Technologie	Degré de développement	Produits fabriqués	Réactivité à la prise de contact	Présence commerciale en France	Présence commerciale en Europe	Atouts			Handicaps				Degré d'intérêt global ●●●: Elevé ●●: Moyen ●: Faible
								Qualité de l'équipe, du business model	Unité industrielle en fonctionnement vérifiée	Projets (pilote, démonstrateur, industriel) à suivre avec attention	Pas assez d'éléments pour confirmer la réalité ou les détails du projet	Pas de développements récents	Obstacles technologiques pénalisants	Viabilité aléatoire de l'entreprise ou du procédé)	
Kopf Syngas	Allemagne	Gazéification	Démonstrateur	Electricité	Moyenne	-	+			●					●●●
Logmed	Allemagne	Dépolymérisation	Laboratoire	Huile lourde + huile légère + (gaz synthèse)	Faible	-	+			●					●●●
Milena	Pays-Bas	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse --> moteurs ou turbines à gaz	Elevée	-	+			●					●●●
Nill-Tech	Allemagne	Pyrolyse	Démonstrateur	Gazole après raffinage	Elevée	-	+					●			●
Litelis	France	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse --> électricité	Moyenne	+	-			●					●●
Plasco	Canada	Gazéification	Démonstrateur	Gaz synthèse --> électricité	Moyenne	-	+					●			●
Plasma Power	Allemagne	Gazéification	Industriel	n.r							●				●
Plastic Advanced Recycling	USA	Dépolymérisation	Industriel	Huile --> électricité ou huile pour raffinage	Faible	-	-				●				●
Plastipolis (projet AERDECO)	France	Solvolyse	Laboratoire	Diols, polyols						●					●●
Pôle Fibres Lorraine (projet Ecolicel)	France	Fluides supercritiques	Laboratoire	n.r	Moyenne	+	-			●					●●
Pyrum	Allemagne / France	Pyrolyse	Démonstrateur (en construction)	Huile + gaz + coke + noir de carbone	Elevée	+	+			●					●●●
Rentech	USA	Gazéification	Démonstrateur (arrêté)	Gaz synthèse --> électricité + chaleur	Faible	-	-				●				●
Solena	USA	Gazéification	Pilote	Carburant aviation	Elevée	+	+			●	●				●
Sapporo Plastic Recycling/ Toshiba	Japon	Pyrolyse	Industriel	Huile --> carburant diesel (après raffinage) + électricité		-	-	+		●					●●●
Tree Power	USA	Pyrolyse	Pilote	Huile --> combustible moteurs industriels	Elevée	+	+	+		●					●●●

Nom	Pays	Technologie	Degré de développement	Produits fabriqués	Réactivité à la prise de contact	Présence commerciale en France	Présence commerciale en Europe	Atouts			Handicaps				Degré d'intérêt global ●●●: Elevé ●●: Moyen ●: Faible
								Qualité de l'équipe, du business model	Unité industrielle en fonctionnement vérifiée	Projets (pilote, démonstrateur, industriel) à suivre avec attention	Pas assez d'éléments pour confirmer la réalité ou les détails du projet	Pas de développements récents	Obstacles technologiques pénalisants	Viabilité aléatoire de l'entreprise ou du procédé)	
Vadxx	USA	Dépolymérisation	Démonstrateur	Huile	Faible	-	-								●
Wartsila	Finlande	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse --> moteurs	Moyenne	-	+		●						● Fonctionne sur biomasse propre
Xylowatt	Belgique	Gazéification	Pilote	Gaz synthèse --> moteurs thermiques ou combustible pour procédés industriels	Elevée	+	+	+		●					●●●
(confidentiel)	Belgique	Dépolymérisation	Pilote (en construction)	Huile --> pétrochimie	Elevée	+	+			●					●●●

## 10 Evaluation des gisements de déchets potentiellement captables par les procédés étudiés

Ce chapitre a pour but de caractériser les flux de déchets (hors déchets de biomasse propre) potentiellement captables par les procédés recensés. L'approche utilisée pour évaluer le volume potentiellement captable d'un gisement de déchets donné comporte trois étapes :

- ✓ Quantification du tonnage total de déchets collectés en France ;
- ✓ Evaluation de la proportion des flux valorisés énergétiquement ou mis en stockage. Cette fraction est en effet la plus susceptible d'être captée par les procédés de gazéification, pyrolyse, dépolymérisation ou recyclage chimique, selon les cas ;
- ✓ Aptitude du gisement de déchets considéré à être traité par les procédés étudiés, en tenant compte de facteurs intrinsèques à la nature du déchet tels que le taux d'humidité ou l'hétérogénéité matière, ou de la concurrence des autres voies de valorisation.

Pour certains gisements de déchets, nous avons limité l'analyse à l'évaluation du gisement total, les données disponibles n'étant pas suffisantes pour évaluer la part potentiellement captable.

L'analyse détaillée de chaque gisement est présentée en Annexe 5.

Tableau 6 : Estimation des gisements potentiellement captables par les procédés recensés

	<b>Gisement total (t/an)</b>	<b>Tendance à moyen terme</b>	<b>Principaux modes de valorisation du gisement</b>	<b>Gisement potentiellement captable (t/an)</b>	<b>Positionnement concurrentiel des procédés recensés par rapport à ce type de déchet (Elevé = favorable aux procédés étudiés ; Faible = défavorable aux procédés étudiés)</b>
Plastiques (déchets de production, déchets de transformation)		Décroissant	Valorisation matière, Incinération, stockage	100 000	Elevé (pour les déchets fortement mélangés, souillés ou dégradés) <sup>41</sup>
Refus de tri des recyclables légers issus de la collecte sélective		Croissant	Incinération, stockage	130 000	Elevé (pour les plastiques souillés, les papiers cartons) <sup>42</sup>
Bois usagés faiblement adjuvantés	7 000 000	Stable	Bois de chauffe		Faible (concurrence du débouché « bois de chauffe »)
Bois traités à la créosote		Stable, puis forte décroissance après 2020	Incinération	110 000	Elevé (interdiction d'utilisation comme bois de chauffe ou pour le recyclage)
Autres déchets de bois fortement adjuvantés	130 000	Forte croissance (630 000 t dans 20 ans)	Incinération, stockage		Elevé (développement de la REP « ameublement usagé »)
Ordures ménagères résiduelles	19 200 000	Décroissant	Incinération, méthanisation		Très faible (teneur en humidité élevée, hétérogénéité, concurrence de la méthanisation)
Déchets de restauration collective, galeries marchandes...	1 500 000	Croissant	Incinération, méthanisation		Très faible (teneur en humidité élevée, concurrence de la méthanisation)
Refus à haut PCI des unités de TMB		Croissant	Cimenteries en faible quantité à cause de la teneur en chlore et du PCI médiocre	40 à 300 000	Potentiellement élevé sous réserve de démonstration de la faisabilité.
Déchets des IAA	43 000 000	Stable	Incinération, méthanisation		Faible (teneur en eau élevée, concurrence de la méthanisation)
Herbe, autres déchets verts humides	16 500 000	Stable	Compostage, méthanisation		Moyen (taux d'humidité de 40 à 80%. Concurrence du compostage et de la méthanisation)
Lisiers	45 000 000	Croissant	Epannage, méthanisation		Faible : Concurrence de la méthanisation
Farines animales		Stable	Cimenteries	400 000	Faible : Concurrence des cimenteries

<sup>41</sup> Les déchets de plastiques qui ne sont ni en mélange, ni souillés, ni dégradés, seront prioritairement orientés vers le recyclage matière, et ne sont donc pas considérés comme « captables » pour ces procédés.

<sup>42</sup> Même remarque que précédemment.

	Gisement total (t/an)	Tendance à moyen terme	Principaux modes de valorisation du gisement	Gisement potentiellement captable (t/an)	Positionnement concurrentiel des procédés recensés par rapport à ce type de déchet
DIB		Stable	Incinération, stockage	3 700 000	Elevé (rendement de valorisation potentiellement élevé, capacité d'incinération disponible faible).
Cendres d'incinération	600 000		Incorporation dans les bétons et les graves		Faible (concurrence du mode de valorisation actuel)
Pneus usagés		Stable	Valorisation matière par incorporation dans les sous-couches routières	150 000	Elevé
Déchets hospitaliers non dangereux		Croissance lente	Incinération	500 000	Moyen (déchets assimilés à des ordures ménagères donc facile à traiter par incinération)
Déchets hospitaliers dangereux (Déchets d'Activités de Soins à Risque Infectieux [DASRI])		Croissance lente	Désinfection + stockage, incinération	200 000	Moyen (car ces déchets peuvent être incinérés dans les UIOM sous réserve qu'elles soient équipées d'un dispositif d'introduction ad hoc dans le four).
Boues de STEP		Stable	Epannage agricole, stockage, incinération	400 000	Elevé (bonne solution pour valoriser le contenu énergétique de ces déchets)
Déjections de poulaillers (fientes humides ou sèches)	1 200 000	Croissant	Epannage, stockage, incinération		Moyen (exutoires actuels problématiques, mais faisabilité du traitement pas les procédés recensés non démontrée)
RBA		Stable	Stockage, incinération, recyclage	200 000	Elevé
Résidu de broyage des DEEE		Forte croissance	Recyclage, incinération	50 000	Elevé

Les gisements potentiellement captables pour traitement par les procédés recensés objet de la présente étude (gazéification, pyrolyse, et dans une moindre mesure dépolymérisation, solvolysse et recyclage chimique) peuvent être estimés dans une fourchette de 1,2 à 2,5 millions de tonnes.

## 11 Atouts et handicaps des procédés recensés – Perspectives de développement

### 11.1 Préambule

Ce chapitre évalue les atouts et handicaps des procédés recensés, à travers l'analyse des thèmes suivants :

- ✓ Enjeux règlementaires
- ✓ Cadre fiscal
- ✓ Contexte économique
- ✓ Nature et disponibilité des déchets
- ✓ Capacité optimale des installations
- ✓ Coût du « ticket d'entrée » sur le marché
- ✓ Positionnement des procédés concernés dans l'échelle des priorités de valorisation des déchets

Il débouche sur des préconisations de mesures destinées à promouvoir la R&D et sur l'identification de leviers d'action à mettre en œuvre pour favoriser un développement optimum de ces procédés.

### 11.2 Enjeux règlementaires

#### Freins à surmonter – Leviers de développement

**2- D'autre part, il est nécessaire d'identifier les possibilités de sortie du statut de déchet pour les sous-produits liquides ou solides issus des procédés de gazéification et de pyrolyse, sous certaines conditions, afin de faciliter leur commercialisation et leur utilisation. Des travaux dans ce sens sont en cours au niveau du Ministère de l'Environnement (info 2013).**

**Pour faciliter ces évolutions, il apparaît important que les concepteurs de procédés communiquent sur la qualité et les compositions des liquides et gaz produits, ainsi que sur les compositions des émissions de leur procédé (gaz à effet de serre, autres polluants).**

**Enfin, un levier important du développement des procédés recensés est le refus sociétal de l'incinération, qui s'est traduit dans la Loi Grenelle 2 par la limitation des capacités d'incinération et de stockage à 60 % du gisement, et un objectif de réduire les quantités incinérées ou enfouies de 15% sur un territoire donné entre 2009 et 2012, ce qui a fréquemment été traduit dans les PREDMA et PDEDMA par une interdiction pure et simple de création de toute nouvelle capacité d'incinération. Un positionnement clair de la réglementation qui exclurait ces procédés de cette limitation favoriserait grandement le développement de ces procédés.**



### **11.2.1 La réglementation relative à l'exploitation des installations utilisant les procédés de pyrolyse et de gazéification de déchets est inadaptée**

La réglementation actuellement applicable aux procédés de gazéification et de pyrolyse est celle de l'incinération, mais celle-ci s'avère inadaptée sur plusieurs points. En effet, les liquides ou gaz combustibles produits par ces procédés peuvent être :

- 1) soit brûlés dans une chaudière in situ sur le site d'implantation du procédé lui-même ;
- 2) soit utilisés dans des moteurs pour production d'électricité. Dans ce cas, les teneurs en CO et NO<sub>x</sub> des gaz d'échappement des moteurs dépassent les valeurs limites d'émission de l'incinération, car les conditions de combustion sont moins optimales que dans un incinérateur de déchets.

A noter que ceci est vrai également lorsque ces mêmes moteurs utilisent du gaz naturel. Les principales contraintes proviennent de la teneur limite en CO (<50mg/m<sup>3</sup>) et en NO<sub>x</sub> qui, bien que similaires à celles provenant de l'utilisation de gaz naturel sur ces moteurs, dépassent significativement les limites d'émissions applicables aux incinérateurs. Les exploitants sont donc actuellement astreints à demander des dérogations au coup par coup pour obtenir un permis d'exploiter, ces dérogations étant difficiles à obtenir.

- 3) soit utilisés en substitution de carburants fossiles commerciaux dans des procédés industriels. Lorsque cette utilisation se fait en contact direct avec les produits fabriqués (ce qui est le cas dans les industries du ciment, du verre, des tuiles, briques et faïences, ...) les fumées de combustion constituent une émission du procédé de fabrication, et non du procédé amont ayant servi à produire le liquide ou le gaz ;

- 4) soit utilisés comme carburants dans des moteurs de véhicules.

Dans les cas 2) à 4), les valeurs limites sur les émissions de l'incinération ou de co-incinération s'avèrent inadaptées.

Les exploitants ont théoriquement la possibilité de demander une autorisation non pas pour l'installation complète mais pour l'installation de pyrolyse ou de gazéification considérée isolément. Dans ce cas, la difficulté provient du fait que les autorités demandent généralement que le gaz ou le liquide produit par l'installation soit codifié (au sens de la nomenclature « produits » officielle) pour accorder l'autorisation d'utilisation comme combustible ou carburant.

Cette situation contraignante prévaut dans toute l'Europe, avec des tolérances plus ou moins marquées. En Grande-Bretagne, les autorités obligent les exploitants à installer un système de post-combustion en sortie des gaz d'échappement des moteurs, afin de rebrûler ces gaz. Ce système absorbe environ 30% de l'énergie fournie par le gaz produit par le procédé, ce qui compromet fortement l'intérêt de ce type de solution.

De leur côté, les autorités américaines ont une approche plus pragmatique, non réglementaire, au cas par cas, basée sur une analyse empirique des caractéristiques du gaz ou du liquide que l'industriel envisage de produire.

La réglementation actuelle tend donc à freiner, voire à empêcher le développement de ces procédés.

Il est indispensable de faire évoluer la nomenclature ICPE et la réglementation applicable aux installations de pyrolyse et de gazéification, afin que ces procédés ne soient plus considérés au plan réglementaire comme de la co-incinération. La modification en cours des rubriques 2910 A et 2910 B de la classification ICPE, ainsi que la transposition en droit français de la directive cadre relative aux déchets (2008/98/EU) et de la directive IED (2010/75/EU) pourrait faire évoluer la situation.

Les exigences réglementaires liées aux émissions résultant de la combustion des liquides et gaz produits pourraient évoluer de la manière suivante :

Pour les paramètres qui seraient réglementés en cas d'utilisation de gaz naturel ou de fioul (lourd éventuellement), les mêmes valeurs limites d'émissions devraient être applicables aux émissions résultant de l'utilisation de gaz ou liquides produits, que si du gaz naturel ou du fioul (lourd éventuellement) aurait été utilisé.

Pour les paramètres qui ne seraient pas réglementés en cas d'utilisation de gaz naturel ou de fioul (lourd éventuellement), il s'agit, au cas par cas, de prévoir des valeurs limites d'émission qui pourraient être inspirés de la réglementation en vigueur pour la co-incinération (notamment par exemple pour les métaux lourds susceptibles d'être présents dans le gaz de synthèse ou le liquide produit.

### **11.2.2 Les liquides et les gaz fabriqués par les procédés de gazéification et de pyrolyse pourraient-ils sortir du statut de déchet ?**

Au sens de la directive 2008/98/CE43, certains déchets perdent leur qualité de déchet dès lors qu'ils ont subi une opération de valorisation et qu'ils répondent à quatre critères spécifiques :

- ✓ la substance ou l'objet est couramment utilisé à des fins spécifiques ;
- ✓ il existe un marché ou une demande pour une telle substance ou un tel objet ;
- ✓ la substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits ;
- ✓ l'utilisation de la substance ou de l'objet n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine.

La réglementation nationale existante pour le classement des ICPE et les produits qu'elles sont susceptibles de traiter est très stricte<sup>44</sup>. En ce qui concerne le traitement des déchets, le système en vigueur est basé sur des autorisations au cas par cas.

<sup>43</sup> La « sortie du statut de déchet » fait l'objet de la directive 2008/98/CE. Au niveau français, le projet de décret relatif à la sortie du statut de déchets, de substances et objets après valorisation a été émis en janvier 2012. Une commission consultative du statut de déchet devra être saisie pour avis lors de la procédure de sortie de déchet au niveau national.

<sup>44</sup> La rubrique 2910 (décret du 11 Mars 1996 modifiant la nomenclature des ICPE) vise uniquement les installations de combustion, à l'exclusion de celles visées sous la rubrique 167 C, visant l'élimination des déchets industriels provenant des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). La rubrique 2910 comporte deux sous rubriques :

- La rubrique 2910 A vise les installations utilisant des combustibles commerciaux aux caractéristiques connues (gaz, charbon, fioul, biomasse). A cet égard, un déchet de l'industrie du bois présentant des traces de colle ou tout autre produit de traitement n'est pas assimilable à de la biomasse, mais à un déchet.

- La rubrique 2910 B vise les combustibles, non classés comme déchets, et non visés en A. Elle a été créée pour permettre essentiellement l'utilisation de sous-produits issus de l'industrie du raffinage ou de la pétrochimie (CHV, les cokes de pétroles) ayant des caractéristiques proches de combustibles commerciaux, notamment pour ce qui concerne les émissions induites par leur combustion.

Un certain nombre de produits, classés aujourd'hui comme « déchets », possèdent des caractéristiques proches de combustibles commerciaux. Leur éventuelle assimilation à un combustible nécessite une connaissance parfaite de ses caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques, notamment afin de mieux connaître la composition des gaz résultant de leur combustion et cela à tout moment, ce qui implique une qualité du produit constante dans le temps. Cette connaissance passe, en particulier, par des essais (mesures des polluants dans les gaz) sur chaudières industrielles. Dès lors qu'un de ces produits présente, des caractéristiques proches d'un [Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

Le contexte pourrait toutefois évoluer à court-terme car les rubriques 2910 A et 2910 B de la classification ICPE sont en cours de modification :

- Rubrique 2910 A : une modification de la rubrique est en cours pour rendre beaucoup plus sévères les prescriptions sur les émissions.
- Rubrique 2910 B : L'objectif de la modification en cours est de clarifier la situation des autorisations et de clarifier la définition de la biomasse. Une consultation est en cours sur le futur arrêté (info début 2013). Toutefois, la question reste posée des futures logiques d'instruction des dossiers 2910 B, notamment vis-à-vis des questions de traçabilité, d'homogénéité et de constance dans le temps. Les DREAL auront à apprécier si les conditions de tri des déchets et les garanties apportées par les industriels sont suffisantes. En outre, alors que la réglementation actuelle n'impose aucune procédure dans le cas des installations <100kW et une procédure d'autorisation dans le cas des installations >100kW (avec une procédure complexe pour les DREAL basée sur la Circulaire du 11 août 1997), la nouvelle définition de 2910 B prévoit une procédure d'« enregistrement » pour les installations comprises entre 100 kW et 20 MW, et une procédure d'« autorisation » au-dessus de 20 MW. Par ailleurs, à ce stade, on ne sait pas s'il l'arrêté sera d'une portée régionale ou nationale sur les prescriptions (dans le premier cas, il pourrait y avoir un problème de disparités régionales).

**11.2.3 L'association RECORD<sup>45</sup>** a mené une étude sur les situations réglementaires atypiques liées au développement de procédés de traitements thermiques des déchets autres que l'incinération, et élaboré un certain nombre de préconisations d'évolutions réglementaires.

### ***11.2.2 Comment optimiser les débouchés des résidus solides générés par les procédés de pyrolyse et de gazéification ?***

Pour les industriels exploitant des procédés de pyrolyse ou de gazéification, la question est de savoir si les résidus solides tels que les cendres sont commercialisables en tant que sous-produits ou en tant que déchets. La directive 2008/98/CE stipule qu'une substance résultant d'un processus de production dont l'objectif premier n'est pas la production d'une telle substance peut être considérée comme un sous-produit et non comme un déchet, à condition de satisfaire quatre conditions cumulatives :

- ✓ l'utilisation ultérieure de la substance est certaine ;
- ✓ la substance peut être utilisée directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes ;
- ✓ la substance est produite en faisant partie intégrante d'un processus de production ;
- ✓ l'utilisation ultérieure est légale.

En pratique, la réponse à la question « l'utilisation ultérieure de la substance est-elle certaine ? » dépend de l'utilisation qui sera faite du déchet généré par le procédé de pyrolyse ou de gazéification. Ainsi, un résidu de pyrolyse issu de vinasse de betterave pourra être commercialisé sans problème sous la forme d'engrais, car il s'agit d'un déchet organique naturel. Au contraire, un résidu de pyrolyse des boues de STEP sera interdit à la commercialisation (sauf si les boues en question possèdent le label d'épandabilité) car le déchet résulte d'un processus de transformation physico-chimique. Dans ce cas, la seule solution est la mise en stockage.

---

combustible commercial, une proposition d'assimilation à un combustible et par conséquent d'autorisation de combustion dans une installation visée par la rubrique 2910 B peut être adressée à l'administration.

<sup>45</sup> Voir à ce sujet le rapport RECORD : « Inventaire des situations réglementaires atypiques, liées au développement de procédés de traitement thermique des déchets autres que l'incinération – Etude comparée des procédures d'autorisation des installations classées à l'international »- Octobre 2011.

La clarification du statut des sous-produits de la gazéification et de la pyrolyse donnerait aux concepteurs de ces procédés une meilleure visibilité sur les conditions de commercialisation de ces sous-produits.

#### **11.2.4 A quelles spécifications doivent satisfaire les carburants automobiles fabriqués ?**

La commercialisation de carburants essence et diesel pour véhicules routiers est encadrée par différents documents :

- ✓ La directive 98/70/CE du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants, définissant des spécifications minimales relatives à l'essence et aux carburants diesel destinés aux applications mobiles routières et non routières<sup>46</sup>.
- ✓ La norme européenne EN590 définissant la spécification détaillée des carburants diesel. Les liquides fabriqués par les procédés concernés par la présente étude doivent être en conformité avec cette norme (voir spécification détaillée en annexe 6).
- ✓ La directive 2009/30/CE du 23 avril 2009 modifiant la directive 98/70/CE, concernant les « spécifications relatives à l'essence, au carburant diesel et aux gazoles ainsi que l'introduction d'un mécanisme permettant de surveiller et de réduire les émissions de gaz à effet de serre »
- ✓ Enfin, la directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE.

Les spécifications de l'éthanol et du biodiesel (ester méthylique d'huiles végétales) sont couvertes par deux normes européennes respectives:

- ✓ EN 15376 pour le premier <http://www.plateforme-biocarburants.ch/infos/en15376.php>
- ✓ EN 14214 pour le second <http://www.plateforme-biocarburants.ch/infos/en14214.php>

Elles définissent les caractéristiques que doivent respecter ces deux biocarburants pour être incorporés dans les carburants fossiles pour usage routier ou non routier (gazole).

Les carburants additivés (carburant fossile + biocarburants) doivent également respecter les plages de spécification propres respectivement à l'essence et au gazole. Certaines caractéristiques techniques (telles que le PCI, la reprise d'eau de l'éthanol, et l'agressivité de l'éthanol sur les matériaux composites des durites ou réservoirs) empêchent d'utiliser les biocarburants purs dans les moteurs classiques.

L'utilisation d'un carburant majoritairement à base d'éthanol nécessite de fonctionner avec des moteurs adaptés (dit à carburant modulable ou flexfuel) qui intègrent des réglages différents à l'allumage selon la teneur en éthanol pour mieux gérer la différence de PCI. Les véhicules flexfuel ont également fait l'objet de modifications sur les tuyauteries plastiques pour ne pas avoir de dégradation avec les carburants avec un fort taux d'éthanol comme l'E85.

Toutefois, la teneur maximum autorisée en éthanol (sous forme pure ou ETBE) dans les carburants dits banalisés disponibles était jusqu'en 2009 de 5% en volume. Depuis 2009 et l'arrivée du SP 95 E10, elle est passée à 10%. Aux Etats-Unis, le taux de 15% a été autorisé. Au-delà d'une certaine teneur en éthanol, les constructeurs automobiles n'assurent plus la garantie constructeur pour des moteurs classiques.

<sup>46</sup> Les principaux extraits de cette directive en rapport avec le développement des biocarburants sont présentés en annexe 7.

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

Pour le biodiesel (ester méthylique), le PCI est plus proche de celui du diesel (37,2 contre 43,2). Toutefois, le diesel disponible à la pompe n'en contient pas plus de 7% en volume. Les taux de 30% en volume (B30 disponible en France pour flotte captive) ne sont pas compatibles avec les moteurs de nombreux véhicules diesel en circulation. Pour les taux de 100% (opérations expérimentales), un moteur doit y être dédié. Comme pour l'éthanol, on retrouve les questions de maintien de la garantie constructeur pour des taux élevés en biodiesel.

Les carburants comme les huiles végétales hydrotraitées ont quant à eux, des caractéristiques physico-chimiques plus proches de celles des produits pétroliers, notamment le PCI. De même, les biocarburants BtL (diesel Fischer-Tropsch) sont quasiment identiques aux carburants pétroliers et ne poseraient sur le principe pas de problème de substitution complète.

Des évolutions techniques pour les moteurs, et les spécifications normatives correspondantes, restent nécessaires pour envisager des taux d'incorporation de ces carburants à des taux supérieurs aux pratiques actuelles.

### **11.2.5 La réglementation relative aux quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>**

La réglementation actuelle relative aux quotas d'émission de CO<sub>2</sub> est de nature à favoriser le développement des procédés étudiés<sup>47</sup>. En effet, les procédés de gazéification et de pyrolyse pour la production de combustibles et de carburants ont un impact positif en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans les cas où ils utilisent des déchets d'origine biogénique.

Les concepteurs de procédés devraient remédier au manque flagrant de données relatives aux bilans d'émissions de gaz à effet de serre et plus généralement des polluants émis par les procédés concernés.

### **11.2.6 Les risques de formation de dioxines et de furannes**

Les procédés de pyrolyse et de gazéification fonctionnant en conditions réductrices, ils ne devraient donc en principe pas générer de dioxines, furannes, ni autres polluants organiques persistants.

Cependant, plusieurs travaux de recherche semblent attester du contraire : En effet, à l'occasion de leur étude sur un système allemand de gazéification de déchets fonctionnant par pyrolyse, Mohr et al. (1997) ont découvert que des dioxines et des furannes se formaient au cours du processus avec des concentrations particulièrement élevées dans les résidus liquides. Weber et Sakurai (2001) ont étudié la formation de dioxines et furannes au cours de la pyrolyse et ont conclu qu'ils se formaient

<sup>47</sup> La directive n°2003/87 du 13 octobre 2003 a établi un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (GES) dans la Communauté européenne. Elle a été transposée en France aux articles L 229-5 à L 229-19 et R 229-5 à R 229-37 du Code de l'environnement. Ce système consiste à attribuer des quotas d'émission aux entreprises les plus fortement émettrices de GES. Les entreprises concernées sont des ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) produisant ou transformant des métaux ferreux, produisant de l'énergie, produisant des produits minéraux, produisant du papier ou de la pâte à papier et répondant aux critères fixés par le Code de l'environnement au titre de leurs rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Les Etats membres établissent et actualisent un Plan national d'allocation des quotas (PNAQ) précisant la quantité de quotas d'émission octroyée à chaque installation. La liste des exploitants auxquels sont affectés des quotas pour la période 2008-2012 a été fixée par l'arrêté du 31 mai 2007.

précisément dans des déchets contenant du chlore et du cuivre. Plusieurs autres chercheurs sont arrivés à des résultats similaires à partir d'une série de déchets ordinaires, démontrant clairement que les dioxines, furannes et éventuellement d'autres polluants organiques persistants pouvaient se former dans les systèmes de pyrolyse ou de gazéification.

Ces résultats de recherche sont d'autant plus étonnants qu'aux températures de gazéification, qui sont a minima équivalentes à celles de l'incinération, les dioxines et furannes sont détruites. Pour mémoire, la présence potentielle de ces polluants en incinération résulte des risques de formation « de novo » de dioxines et furannes au cours du refroidissement des fumées.

Ces informations apparemment contradictoires ne permettent pas d'établir avec certitude si les procédés de pyrolyse et de gazéification risquent de générer des dioxines, des furannes et d'autres polluants organiques persistants. Le débat reste ouvert sur ce point qui mériterait des clarifications de la part des concepteurs de procédés.

### **11.2.7 La réglementation relative à l'énergie produite à partir de sources renouvelables**

La Directive 2009/28/CE<sup>48</sup> définit un objectif d'au moins 10% d'EnR dans la consommation finale d'énergie du secteur des transports en 2020. Dans ce contexte, elle met également en avant les biocarburants produits à partir de déchets de biomasse<sup>49</sup>. Elle stipule notamment que :

- ✓ La production de biocarburants doit être durable pour que ceux-ci soient pris en compte pour contribuer à l'atteinte des objectifs nationaux obligatoires d'au moins 10% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie des transports et puissent bénéficier d'aides publiques éventuelles.
- ✓ Lorsqu'ils élaborent leurs régimes d'aide, les États membres pourraient prévoir d'encourager l'utilisation de biocarburants apportant des effets bénéfiques supplémentaires - notamment la diversification résultant de la fabrication de biocarburants à partir de déchets, en prenant dûment en compte la différence de coûts entre la production d'énergie à partir de biocarburants traditionnels, d'une part, et à partir d'autres biocarburants apportant des avantages supplémentaires.
- ✓ Aux fins de démontrer le respect des obligations nationales imposées aux opérateurs en matière d'énergie renouvelable (...) la contribution apportée par les biocarburants produits à partir de déchets, de résidus, de matières cellulosiques d'origine non alimentaire et de matières ligno-cellulosiques compte double au niveau énergétique dans l'atteinte de l'objectif obligatoire de 10% d'EnR dans les transports.

<sup>48</sup> Cette directive a été transposée dans le droit national par l'article 2 de la loi n° 2011-12 du 5 janvier 2011 « portant diverses dispositions d'adaptation de la législation au droit de l'Union européenne et habilitant le Gouvernement à prendre les dispositions législatives nécessaires à la transposition des directives communautaires 2009/28/CE et 2009/30/CE, complétée par l'ordonnance n°2011-1105 du 14 septembre 2011 et le décret n°2011-1468 du 9 novembre 2011.

<sup>49</sup> « Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009, relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE ». Des extraits pertinents par rapport au sujet de la présente étude sont cités en Annexe 8.

## 11.3 Cadre fiscal

La fiscalité sur les carburants constitue un atout pour les procédés de gazéification, de pyrolyse et de dépolymérisation dont l'objectif est de fabriquer de carburants, sous réserve que les déchets utilisés soient issus de la biomasse<sup>50</sup>.

### 11.3.1 La défiscalisation partielle des biocarburants

Les biocarburants bénéficient d'une exonération partielle de la taxe intérieure de consommation (TIC), qui compense partiellement le surcoût de production par rapport aux carburants d'origine fossile<sup>51</sup>. Elle est accordée aux biocarburants produits par des unités de production agréées.

- ✓ L'éthanol incorporé dans l'essence sous forme pure ou d'ETBE et les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) incorporés dans le gazole bénéficient de cette réduction de fiscalité.
- ✓ Depuis 2006, les esters éthyliques d'huiles végétales (EEHV), les esters méthyliques d'huiles animales (EMHA), les esters méthyliques d'huiles usagées (EMHU) et le gazole de synthèse bénéficient aussi d'une défiscalisation.

Cette défiscalisation accordée aux biocarburants a représenté un montant global de 521 M€ en 2009.

Tableau 7 : Taux de défiscalisation pour l'année 2012 (en €/hl)

Type de biocarburant <sup>52</sup>	€/hl
ETBE	14
Ethanol	14
Biodiesel	8
EEHV	14
EMHA et EMHU	8
Biogazole de synthèse	8

L'article 16 de la loi de finances pour 2009 instaure une diminution progressive de la défiscalisation applicable aux biocarburants entre 2009 et 2011. En effet, la viabilité de la filière biocarburants est désormais assurée par le mécanisme de la TGAP qui incite à l'incorporation de biocarburants dans les filières supercarburants et gazole.

### 11.3.2 La taxe générale sur les activités polluantes

Chaque année, un taux obligatoire d'incorporation de biocarburants est imposé aux distributeurs de carburants (enseignes pétrolières, grandes surfaces et indépendants). Les distributeurs qui mettent à la consommation des carburants contenant une proportion de biocarburants inférieure à ce taux obligatoire annuel d'incorporation doivent acquitter un prélèvement supplémentaire de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP). Le distributeur n'a pas à acquitter ce supplément de TGAP s'il atteint ce taux.

<sup>50</sup> La défiscalisation ne s'applique pas dans le cas des carburants produits à partir de déchets plastiques.

<sup>51</sup> La défiscalisation est conforme à la directive européenne 2003/96/CE sur la fiscalité de l'énergie, qui permet aux États membres d'avoir une fiscalité spécifique pour les biocarburants afin d'en assurer le développement et la promotion.

<sup>52</sup> EMHU : esters méthyliques d'acides gras (EMAG) obtenus à partir d'huiles végétales alimentaires usagées et récupérées par un circuit de collecte identifié ; on parle alors d'EMHU (ester méthylique d'huile usagée)  
EMHA : esters méthyliques d'acides gras (EMAG) obtenus à partir de graisses animales ; on parle alors d'EMHA (ester méthylique d'huile animale)  
[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

### 11.3.3 Fiscalisation des carburants produits à partir des déchets d'origine fossile

Les carburants générés à partir de déchets d'origine fossile tels que les plastiques notamment, permettent d'économiser des ressources fossiles qui auraient été nécessaires pour produire ces mêmes carburants s'ils avaient été produits directement à partir de ressources fossiles. En effet, dans le cas de déchets transformés en carburants, la ressource fossile initiale rend un double service :

- celui du produit (plastique par exemple),
- puis celui de carburant généré à partir du produit arrivé en fin de vie.

Bien que ce carburant ne soit pas un « biocarburant » (puisque pas d'origine renouvelable), l'économie de ressources fossiles résultant de la production de carburant à partir de déchet, pourrait justifier d'une exonération partielle de la taxe applicable aux carburants d'origine fossile.

## 11.4 Contexte économique

Les informations liées à l'économie des procédés, aux coûts d'investissements et aux coûts opératoires doivent être utilisées avec une extrême prudence.

En effet :

- Les niveaux de détail des informations collectées sont très variables selon le procédé considéré.
- Il existe un écart de maturité important entre une technique très éprouvée telle que l'incinération, et des techniques encore émergentes telles que la pyrolyse et la gazéification dont les coûts incluent le financement des travaux de recherche. De plus, la robustesse des données économiques collectées au cours de cette étude, est sujette à caution d'une part à cause du manque de retour d'expérience sur des unités industrielles, d'autre part à cause de l'imprécision pouvant exister sur ce que recouvrent les informations de coût, avec suffisamment de précision. Par exemple, selon le niveau d'exigence de préparation des déchets, et selon que les coûts correspondants ont été ou non inclus dans les coûts indiqués, les chiffres sont à interpréter de manière très différente. C'est pourquoi, afin d'éviter de diffuser des chiffres peu robustes, il a été décidé de retirer toute tentative d'élaboration d'un modèle économique pour ces procédés à ce stade. Ce travail d'élaboration d'un modèle économique (ou de différents modèles économiques) a été pris en charge par un sous-groupe du Groupe de Travail « PyroGaz », GT qui est lui-même un sous-groupe du COSEI VID<sup>53</sup>. Une nouvelle version du présent rapport devrait pouvoir être élaborée en prenant en compte ce travail, en début d'année 2015.

Quelques constats d'ordre général peuvent néanmoins être avancés à ce stade :

- Les coûts dépendent fortement de la nature et du degré de préparation des déchets traités et de la capacité de l'unité.
- Les niveaux de développement sont très variables selon les procédés. Pour les procédés en phase de laboratoire ou même pilote, les rendements sont généralement peu optimisés et on dispose de peu de retours d'expérience en matière de coûts.
- Les capacités sont très variables selon les procédés.
- Les informations disponibles correspondent à des années différentes. L'impact de ce critère peut être important, en particulier du fait des fluctuations de coûts des déchets et de l'énergie.
- Les limites de périmètres des coûts sont variables (préparation, services, assurances...).
- La modularité (c'est-à-dire petites unités standards, éventuellement juxtaposées selon la capacité totale souhaitée) présente plusieurs avantages (cf. paragraphe 4.7) tels que la flexibilité de l'investissement, la flexibilité opératoire et la souplesse en matière de déchets traités. Elle permet

---

<sup>53</sup> COmité Stratégique des filières Eco-Industries « Valorisation Industrielle des Déchets »  
Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre



en outre de réduire les risques liés aux grandes capacités unitaires, par exemple les risques d'étanchéité liés à l'utilisation de très gros fours. A contrario, cette modularité peut avoir des effets négatifs en termes de coûts d'investissement et de coûts de maintenance.

Il est donc indispensable que les atouts et handicaps de la modularité des installations fassent l'objet d'une réflexion d'ensemble afin d'optimiser les orientations de la R&D. Un équilibre doit être trouvé, afin que les atouts incontestables liés à la modularité ne soient pas contrebalancés par des surcoûts d'investissement excessifs.

Enfin, un autre élément important est la répartition géographique des gisements, qui tend à favoriser les petites unités pour limiter le transport des déchets entrants, mais qui impacte les coûts (d'investissement et de fonctionnement) ramenés à la tonne traitée. Là encore, un approfondissement des réflexions est indispensable afin de définir des pistes d'optimisation aux plans local, régional et national.

### 11.5 Nature et disponibilité des déchets

#### Freins à surmonter - Leviers de développement

**Les pistes les plus prometteuses en termes de déchets à traiter sont :**

- les bois usagés, et plus généralement les déchets industriels banals, ainsi que certaines fractions issus des déchets ménagers, dans le cas des procédés de gazéification<sup>54</sup>,
- les déchets plastiques et les pneus usagés dans le cas des procédés de pyrolyse et de dépolymérisation thermique.

**Pour les procédés de traitement en milieu sub- ou supercritique, leur développement est trop préliminaire pour pouvoir dégager des pistes suffisamment robuste, en matière de déchets à traiter en priorité.**

**La nécessité de disposer d'un flux de déchets pérenne et régulier en qualité et en quantité pour une installation de valorisation des déchets constitue une contrainte majeure à laquelle sont confrontés les procédés étudiés. Pour les exploitants et les collectivités locales, la contrainte de disponibilité des déchets conduit à trois conséquences importantes :**

- d'une part, les capacités de traitement ne doivent pas excéder les flux de déchets disponibles localement. Le choix de la capacité optimale est étroitement lié à la question de la modularité des procédés. Les questions de l'optimum de capacité et de la pertinence de la modularité sont des thèmes de réflexion prioritaires.
- d'autre part, les procédés destinés à la fabrication de carburants automobiles par synthèse Fischer et Tropsch en aval de la gazéification ne sont rentables que pour des capacités supérieures à 100 000 t/an de déchets traités.<sup>55</sup> Les flux de déchets disponibles

<sup>54</sup> La nature des déchets ménagers acceptés est variable selon le procédé. Quelques procédés revendiquent la possibilité de traiter des OMR brutes sans prétraitement de la charge, mais ils restent des exceptions. La plupart des procédés traitent des déchets préalablement traités, principalement constitués d'une fraction plastique issue de la collecte sélective (refus de tri) ou de la fraction haut PCI issue d'unités de TMB.

<sup>55</sup> Ce propos est à moduler, suite à l'apparition sur le marché du procédé Fischer & Tropsch sous forme d'unités modulaires très compactes, destinées à effectuer la synthèse F&T pour de très faibles capacités. L'état de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

localement permettront difficilement d'atteindre un point d'équilibre économique pour ce type d'unité. Ceci renforce l'intérêt de promouvoir la R&D sur deux autres voies de valorisation en carburants : le traitement des huiles de pyrolyse en raffinerie et l'utilisation directe des huiles de pyrolyse pour des moteurs lents et moins exigeants que les moteurs d'automobiles (moteurs marins, moteurs agricoles).

- Enfin, dans le cas d'une l'utilisation des liquides ou des gaz produits comme combustible dans des installations fixes en substitution de combustibles fossiles (par exemple dans un précalcinateur ou dans un four principal de cimenterie), il est indispensable que l'installation soit implantée à proximité (voire dans le périmètre) du site utilisateur. Dans ce cas, l'aire de chalandise des déchets utilisés doit être suffisamment proche afin de ne pas pénaliser le coût d'approvisionnement des déchets.

#### **11.5.1 La contrainte de disponibilité des déchets**

Nombre de projets ont achoppé sur le problème de la disponibilité des déchets, se traduisant par la fermeture pure et simple des unités (ou leur déménagement dans le cas d'unités de démonstration). En effet, si les ressources en déchets sont théoriquement abondantes, leur apport doit être continu et homogène, ce qui s'avère délicat lorsque les filières d'approvisionnement sont saisonnières ou insuffisamment structurées. En particulier, pour une collectivité locale ou un industriel souhaitant investir, il est important de considérer la disponibilité en déchets à l'échelle locale (50 à 100 km de rayon), sachant que la distance entre les ressources et l'unité de valorisation ne doit pas être trop élevée sous peine de remettre en question le bilan économique de l'installation.

#### **11.5.2 Types de déchets les plus utilisés**

L'analyse effectuée au chapitre 10 a montré que les procédés recensés sont capables de traiter une grande diversité de déchets.

**Dans le cas des procédés de gazéification**, les catégories de déchets les plus utilisées sont :

- ✓ Les bois usagés, sachant toutefois que l'application bois de chauffe (installations de combustion) constitue un débouché concurrent sérieux dans le cas des déchets pas ou faiblement adjuvantés. La modification en cours de la clause 2910 B de la nomenclature ICPE devrait acter ce point.
- ✓ Les boues de STEP
- ✓ Les CSR
- ✓ Les déchets verts de préférence quand ils ne sont pas trop humides.

Il existe également un marché potentiellement intéressant pour la gazéification sur des gisements de déchets plus restreints en volume, tels que les RBA, et les déchets dangereux.

Est fréquemment revendiqué le traitement par gazéification des déchets ménagers, sous des formes variées selon le procédé concerné, depuis des déchets relativement homogènes comme les refus de tri d'unités de TMB, les refus de tri de déchets d'emballages plastiques, jusqu'à certains procédés revendiquant la possibilité de traiter des ordures ménagères brutes. Toutefois, particulièrement dans

---

(Fischer & Tropsch microchannel technology). NOTA : les performances de ces unités ne sont pas connues des auteurs de la présente étude.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

ce dernier cas, la crédibilité de la revendication doit être questionnée, notamment parce que les spécifications d'admission des déchets dans les procédés de gazéification peuvent entraîner des coûts prohibitifs de préparation des ordures ménagères brutes compte-tenu de leur hétérogénéité. De plus, la teneur élevée en humidité de ces déchets fait de la méthanisation un concurrent sérieux ;

**Dans le cas des procédés de pyrolyse et de dépolymérisation**, les plastiques et les pneus usagés sont les déchets les plus fréquemment utilisés.

**Dans le cas des procédés de solvololyse**, pour les déchets propres en PET (corps creux), les procédés de polycondensation en phase solide et d'extrusion /réaction sont plus compétitifs que les procédés de recyclage chimique<sup>56</sup> ;

Pour les déchets souillés en PS, des solutions se dessinent à travers les innovations récentes en matière de solvololyse, pour le recyclage des flux de déchets de barquettes issus de l'extension de la consigne de tri sélectif des emballages

---

<sup>56</sup> Ces procédés ont atteint un stade de développement industriel. Ils permettent, à partir des paillettes de PET, de fabriquer des granulés aptes aux applications avec contact alimentaire, notamment des bouteilles pour boissons. Il s'agit en particulier des procédés de polycondensation en phase solide (Supercycle) et des procédés basés sur l'extrusion/réaction à 200°C (URCC, RMA,...). Dans les deux cas, on obtient des granulés d'une grande pureté, dont les qualités sont équivalentes à celles de la résine vierge (contrairement au polyéthylène, le taux de migration des bouteilles recyclées en PET est en effet du même ordre que celui du verre).

**Dans le cas des procédés utilisant des fluides sub ou supercritiques,** le stade de développement des procédés est trop préliminaire pour pouvoir dégager des pistes en matière de déchets à traiter en priorité.

Le premier tableau ci-après récapitule la fréquence d'utilisation de chaque catégorie de déchets dans les installations industrielles, pilotes et démonstrateurs existants. Le second compare la fréquence d'utilisation des déchets par les procédés recensés et les gisements potentiellement captables.

Tableau 8 : Types de déchets utilisés par les procédés recensés, par technologie

	Gazéification	Pyrolyse	Dépolymérisation thermique	Solvolyse
Tous types de déchets	3			
Plastiques	5	8	7	1
Papier	1			
Bois usagé	10			
Déchets ménagers	8	1		
Déchets de cantines	1			
Déchets des IAA	1			
Herbe, autres déchets verts humides	4			
Lisier	1			
Farines animales	2			
Déchets industriels dangereux	4	1		
Autres DIB	4			
Cendres volantes	1			
Pneus	3	6		
DEEE		1	1	
Déchets hospitaliers	3	1	2	
PCB	1			
Boues de STEP	9	1		
Boues de papeteries	2			
Déjections de poulaillers	1			
RBA	3	2		
CSR	7			
Peintures	1			
Composites	1			1
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>2</b>

Note : La nature des déchets ménagers acceptés est très variable selon le procédé considéré. Quelques procédés revendiquent la possibilité de traiter des OMR brutes sans prétraitement de la charge, mais ils restent l'exception. La plupart des procédés traitent des déchets préalablement traités, principalement constitués d'une fraction plastique issue de la collecte sélective (refus de tri) ou de la fraction haut PCI issue d'unités de TMB.

Tableau 9 : Comparaison entre la fréquence d'utilisation des déchets par les procédés recensés et les gisements potentiellement captables

Déchets	Fréquence d'utilisation dans les procédés recensés	Volume du gisement potentiellement captable
Plastiques (déchets de production, déchets de transformation)	●	○
Refus de tri des recyclables légers	●	○
Bois usagés faiblement adjuvés	●	●
Bois usagés créosotés	●	○
Autres déchets de bois fortement adjuvés	●	○
Ordures ménagères (voir note en bas de page)	●	●
Déchets de cantines	○	●
Déchets des IAA	○	●
Herbe, autres déchets verts humides	○	●
Lisier	○	●
Farines animales	○	○
Déchets industriels dangereux	○	●
Autres DIB	○	●
Cendres d'incinération	○	○
Pneus	○	○
Déchets hospitaliers non dangereux	○	○
Déchets hospitaliers dangereux	○	○
Boues de STEP	○	○
Déjections de poulaillers	○	●
RBA	○	○
Résidu de broyage des DEEE	○	○
<b>Légende:</b>		
●	Elevé	
○	Moyen	
○	Faible	

Note : La nature des déchets ménagers acceptés est très variable selon le procédé considéré. Quelques procédés revendiquent la possibilité de traiter des OMR brutes sans prétraitement de la charge, mais ils restent l'exception et de telles revendications sont sujettes à caution. La plupart des procédés traitent des déchets préalablement traités, principalement constitués d'une fraction plastique issue de la collecte sélective (refus de tri) ou de la fraction haut PCI issue d'unités de TMB.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## 11.6 Capacité optimale et modularité des installations

### Freins à surmonter - Leviers de développement

La plage de capacité comprise entre 20 000 et 50 000 t/an de déchets traités semble correspondre au meilleur compromis permettant de concilier compétitivité économique et disponibilité des flux de déchets à traiter.

Les enjeux liés à la modularité des installations sont également essentiels : d'un côté la modularité permet d'améliorer la flexibilité. A contrario, elle engendre des surcoûts d'investissement et de fonctionnement. La capacité des concepteurs à réduire leurs coûts de production grâce aux économies engendrées par la standardisation des équipements et par la taille des séries fabriquées pourrait compenser partiellement ces surcoûts.

Trois options s'offrent aujourd'hui aux concepteurs de procédés de gazéification, de pyrolyse ou de dépolymérisation, en matière de capacité de traitement :

- ✓ Soit développer des unités de très petite taille (< 5000 T/an de déchets traités) avec des installations basées sur des équipements robustes, répondant à des besoins d'utilisateurs privés, en particulier dans les pays en voie de développement ;
- ✓ Soit développer des unités de capacité moyenne (20 000 à 50 000 t/an de déchets traités), capables de traiter des charges variées, afin de répondre aux attentes des détenteurs de déchets disposant de flux de déchets limités en quantité, pour le marché européen ou pour les pays en voie de développement ;
- ✓ Soit développer des unités de grande capacité (200 000 à 300 000t/an) capables de produire des tonnages suffisants de carburants pour amortir des unités aval de production de carburant diesel par synthèse Fischer et Tropsch. La fabrication de carburants par ce procédé se heurte toutefois à des contraintes techniques et économiques majeures : d'une part les exigences de pureté du gaz de synthèse destiné à alimenter ce type d'unité sont très fortes car il s'agit d'un procédé catalytique. D'autre part ce procédé est très coûteux et nécessite pour être économiquement viable des unités de grande capacité (traitement de quelques centaines de milliers de tonnes de déchets/an<sup>57</sup>).

<sup>57</sup> Source : Tâche 39 de l'AIE « Bioenergy », année 2009.

A noter : Comme évoqué précédemment, ce propos est à moduler, suite à l'apparition sur le marché du procédé Fischer & Tropsch sous forme d'unités modulaires très compactes, destinées à effectuer la synthèse F&T pour de très faibles capacités (Fischer & Tropsch microchannel technology). NOTA : les performances de ces unités ne sont pas connues des auteurs de la présente étude.

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)

Tableau 10 : Atouts et handicaps des unités de production selon leur capacité

Capacité (t/an de déchets traités)	Atouts	Cibles	Handicaps
< 5000	Equipements robustes  Technologies rudimentaires	Pays en voie de développement en priorité	Coûts de production très élevés  Pas de possibilité de fabriquer des combustibles, des carburants aux normes ou de l'électricité à un coût compétitif
20 000 à 50 000	Modulaires  Capables de traiter des charges variées	Détenteurs de déchets disposant de flux de déchets relativement restreints en quantités.  Marché européen et pays en voie de développement	Coûts de production élevés par rapport aux technologies concurrentes utilisant les mêmes types de déchets
200 000 à 300 000	Capables de produire des tonnages suffisants pour espérer pouvoir amortir des unités aval de production de biocarburant diesel (synthèse Fischer et Tropsch).	Industriels pays européens	Fortes difficultés pour trouver des sources de déchets à la fois pérennes et régulières en qualité et en quantité.  Coût prohibitif du carburant fabriqué

### 11.7 Coût du « ticket d'entrée » sur le marché

#### Freins à surmonter - Leviers de développement

En France, les développements dans le domaine des procédés recensés sont nombreux mais dispersés. Il est indispensable d'aider les acteurs industriels et de la R&D ayant des profils complémentaires (en taille, en expertise) à regrouper leurs efforts.

Cela suppose :

- une implication accrue des grands acteurs du secteur privé pour accompagner la maturation de la filière ;
- un financement plus important des programmes de R&D ;
- un soutien financier aux projets nationaux pilotes, démonstrateurs ou industriels les plus prometteurs, afin de leur permettre de développer au moins une référence crédible dans la durée.



Depuis 2 à 3 ans, en France comme à l'étranger, on observe un vif intérêt de la part des grands acteurs du traitement des déchets pour le développement des procédés de gazéification et de pyrolyse, principalement pour produire de la chaleur, de l'électricité ou des gaz ou liquides combustibles. C'est un signe positif car cela signifie que ces acteurs perçoivent ces technologies comme étant capables d'apporter des réponses à des attentes fortes de plusieurs profils d'acteur :

- ✓ Pour les collectivités locales, ces technologies peuvent constituer une alternative à l'incinération pour un large spectre de déchets (avec les réserves évoquées précédemment pour le traitement des ordures ménagères en mélange). Elles ont des attentes fortes en matière d'information ;
- ✓ Pour les industriels, la gazéification et la pyrolyse se posent en alternatives intéressantes pour la production de combustibles et de carburants, du fait de leur impact favorable en termes de préservation des ressources naturelles et de lutte contre le réchauffement climatique, mais surtout du fait de la perspective de s'affranchir des fluctuations du coût des énergies primaires dont l'évolution à moyen ou long termes est anticipée comme étant en hausse.
- ✓ Les concepteurs de procédés sont conscients qu'il existe un important marché potentiel. Toutefois, ils soulignent trois freins majeurs à surmonter par tout détenteur de procédé souhaitant percer sur le marché :
  - Le procédé doit avoir au moins une référence qui donne satisfaction dans la durée ;
  - Le procédé doit être validé par les organismes nationaux de contrôle indépendants ;
  - Les demandes de permis, études d'impact, allongent fortement les délais.

En outre, nous avons vu précédemment qu'il existe un frein lié à l'absence de réglementation adaptée : Les arrêtés relatifs à l'incinération sont les réglementations applicables, mais ne conviennent pas bien, notamment par rapport aux fumées, ou aux résidus solides.

### **11.8 Positionnement des procédés recensés dans l'échelle des priorités de valorisation des déchets**

#### **Freins à surmonter - Leviers de développement**

**La priorité est de diffuser auprès des acteurs concernés (industriels, sociétés de gestion des déchets, collectivités locales) une information objective sur les créneaux sur lesquels les procédés étudiés ont vraiment un rôle à jouer, et sur la complémentarité réelle que représentent les procédés étudiés par rapport aux autres voies de valorisation. En particulier il serait nécessaire, dans la continuité de la présente étude :**

- **d'approfondir les limites des plages de capacités à l'intérieur desquelles ces procédés sont susceptibles d'être compétitifs,**
- **d'établir une hiérarchie des types de déchets à traiter en fonction de leurs atouts et inconvénients respectifs.**

**Il faudrait également inciter les pouvoirs publics à positionner clairement les procédés concernés comme des voies à part entière dans l'échelle des priorités de valorisation des déchets.**

L'absence de positionnement des procédés concernés en termes de hiérarchie européenne de valorisation des déchets constitue un problème, dont la clarification suppose tout d'abord une vraie volonté politique. Dans le contexte économique actuel, le risque est de voir les pouvoirs publics écarter ces voies de valorisation des secteurs d'investissement prioritaire, sachant que les procédés ne sont aujourd'hui pas rentables, et favoriser des filières mieux connues et pour lesquelles le retour sur investissement est plus facilement quantifiable.

D'autre part, il est indispensable que les gestionnaires de déchets (sociétés de gestion des déchets, collectivités locales) soient informés de façon objective sur la complémentarité réelle que représentent les procédés étudiés par rapport aux autres voies de valorisation, en particulier en termes de capacités et de types de déchets à traiter.

### ***11.9 Synoptique des besoins d'aide à la R&D et des leviers d'amélioration***

Le tableau de la page suivante met en perspective les atouts et les freins au développement des procédés étudiés. Les procédés potentiellement concurrents tels que la méthanisation, le recyclage mécanique ou l'extrusion réactive sont également inclus dans ce tableau car ils sont en mesure de traiter efficacement certains types de déchets entrant dans le champ de l'étude.

Tableau 11 : Mise en perspective du positionnement des procédés étudiés par rapport aux autres procédés en concurrence

		Gazéification	Pyrolyse	Dépolymérisation thermique	Solvolyse	Méthanisation	Recyclage mécanique	Extrusion/réaction, polycondensation en phase solide	Incinération	Raffinage, vaporéformage
Gisements de déchets potentiellement captables	A valoriser en priorité	- Bois usagés '- Déchets ménagers (fractions haut PCI issues des unités de TMB, refus de tri d'emballages...) '- Boues de STEP '-RDF '-DIB	Plastiques Pneus usagés	Plastiques non mélangés	Déchets de PET souillés Polystyrène	Déchets verts, OMR	Plastiques	Déchets PET très propres	Tous déchets	Sans objet
	Autres gisements intéressants	- Déchets verts	RBA	Déchets de PET souillés Déchets hospitaliers DEEE						
	Commentaires	Teneur en humidité : 10 à 20% Déchets à faible teneur en soufre et en chlore				Déchets à forte teneur en humidité				
Produits finaux	A court terme	- Electricité / chaleur '- Liquide ou gaz combustible pour cimenteries ou autres procédés énergivores '- Liquide ou gaz combustible pour chaudières et moteurs industriels.	Huile combustible pour moteurs Combustibles liquides pour chaudières (en substitution du fuel ou du gaz naturel) Kérosène		Monomères	Méthane	Granulats recyclés	Paillettes recyclées	Electricité / chaleur	Essence, naphta, diesel, gazole
	A moyen terme	Ethanol	Carburant diesel ou essence pour véhicules à moteurs thermiques (post-traitement par distillation)							
Plage de capacité optimale		20000 à 50000 t/an de déchets traités	5000 à 15000 t/an de déchets traités						150000 à 300000 t/an	
	Commentaires	Possibilité de systèmes modulaires								
Dioxines/furannes (+ = pas de risque de formation de ces produits)		(à confirmer)	(à confirmer)	+	+	+	+	+	+	+
Emissions de CO <sub>2</sub> (+ = impact positif sur les émissions d'origine fossile)		+	+	+	+	+	+	+	-	-
Réglementation ICPE (+ = peu contraignante)		-	-	+	+	+	+	+	-	-
Coûts de production (+ = faibles)		-	+ : Gaz combustibles pour moteurs thermiques '- : carburants pour véhicules à moteur thermique	+ : Huile combustible pour moteurs thermiques '- : carburants pour véhicules à moteur thermique	-	+	+	+	+	+
Fiscalité (+ = favorable)	Exonération partielle TIC	+	+ (uniquement pour les carburants)						-	-
	TGAP	+	+	+	-	+	-	-	-	-
Positionnement dans l'échelle des priorités de valorisation des déchets ('+ = positionnement clair)		-	-	-	+ (valorisation matière)	+	+	+	+	Sans objet

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## 12 Conclusion

Les procédés thermiques utilisant des déchets autres que de la biomasse propre, qui produisent des liquides ou des gaz combustibles ou utilisables par l'industrie chimique, suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant de la part des collectivités locales, des industriels et des détenteurs de déchets.

Sur les 48 procédés recensés dans cette étude (les procédés de gazéification étant nettement majoritaires) l'étude a mis en évidence 17 procédés ayant un degré d'intérêt élevé et dont l'évolution mérite d'être suivie attentivement, dont 5 en France.

Plusieurs facteurs contribuent à expliquer l'intérêt croissant des industriels pour ce type de procédé :

- l'évolution prévisible à la hausse sur le moyen et le long terme des coûts des énergies fossiles
- les limitations mises en place dans de nombreux pays sur la mise en décharge (critères d'admissibilité des déchets ou taxation dissuasive)
- les objectifs de valorisation de nombreuses catégories de biens d'équipements en fin de vie
- les limitations sur les capacités d'incinération et de mise en décharge imposées en France par le Grenelle de l'Environnement, ainsi que le refus sociétal de l'incinération, et plus récemment, l'objectif de réduction de 50 % les tonnages enfouis à l'horizon 2025, par rapport à 2010
- les objectifs de préservation des ressources énergétiques et de limitation des émissions de gaz à effet de serre
- la recherche de voies de valorisation énergétique des déchets les plus performantes possible
- la disponibilité de grandes quantités de déchets à fort PCI non encore valorisés à ce jour.

Malgré ces facteurs favorables, peu de procédés thermiques ont réussi, en France, à percer de façon décisive au plan industriel. La situation est similaire dans les autres régions du monde mais est susceptible d'évoluer rapidement dans les mois et années à venir compte tenu des très nombreux projets en cours et du dynamisme du secteur.

Plusieurs leviers ont été identifiés pour favoriser le développement de ces procédés en France :

- l'évolution de la réglementation relative aux ICPE
- des aides financières aux projets les plus prometteurs au stade du pilote industriel ou du démonstrateur
- inciter les concepteurs et les utilisateurs de procédés à fédérer leurs efforts afin de trouver des solutions pour surmonter le manque de compétitivité économique de ces procédés lors des premières réalisations, par rapport aux voies alternatives ayant au haut degré de maturité, en particulier l'incinération des déchets.

## **Annexe 1 : Caractéristiques de base des procédés identifiés**

Les procédés sont présentés dans l'ordre alphabétique.

Tableau 12 : Caractéristiques clés des procédés recensés

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests (au labo ou sur pilote)	Déchets envisagés mais non validés	
Gazéification	Advanced Plasma Power (APP)	GB	Pilote	1,8		RDF, déchets ménagers, DIB, RBA, déchets dangereux, boues de STEP		Gaz synthèse --> électricité
Gazéification	Agilyx	USA	Pilote	10		Plastiques		Huile + gaz synthèse
Dépolymérisation	Alphakat GmbH	Allemagne (non vérifié)	Industriel	2 à 5	Plastiques ménagers DEEE CSR			Carburant
Gazéification	Alter-NRG	Canada	Industriel	40	RBA, déchets ménagers, boues de STEP			Ethanol
Pyrolyse	Alpha-Recyclage	France	Démonstrateur (en construction)	20 à 25			Pneus	Fioul + noir de carbone
Dépolymérisation	Anhui oursun environmental technology Co.,Ltd	Chine	Démonstrateur	25		Plastiques		Huile

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Gazéification	Basse-Sambre	Belgique	Industriel	34	Déchets ménagers Déchets hospitaliers Peintures		Déchets de cantines (unité arrêtée)	Electricité + chaleur
Gazéification avec torche à plasma	Bellwether	Allemagne	Industriel (non confirmé)	300			Non spécifié	n.r
Pyrolyse	n.r	Biélorussie	Industriel	20 à 25	Pneus usagés			Fioul + noir de carbone
Gazéification	SM Bioleum Resources Pvt Ltd	Inde	Laboratoire	n.r			Déchets industriels Déchets ménagers Boues de STEP (degré d'avancement non spécifié)	Gaz synthèse --> carburant diesel + électricité
Pyrolyse flash	Bio-Oil Holding NV	Pays-Bas	Pilote	30		Déchets plastiques mélangés à des ordures ménagères brutes		Huile combustible pour chaudières (ou pour moteurs lents après raffinage)

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Pyrolyse, gazéification et méthanation	Bio-3d / Méthanation	France	Pilote	0,4		Pneus, boues de STEP, lisiers, farines animales, ordures ménagères, déchets spéciaux, DIB, bois pollués		Gaz synthèse
Pyrolyse	Carbon Green / CBp Carbon	USA / Slovaquie	Industriel	30	Pneus usagés			Fioul + noir de carbone
Solvolyse	Ceremap, RECCO (ICMCB), AERDECO (Plastipolis)	France	Laboratoire			Composites		Diols, polyols
Pyrolyse / dépolymérisation thermique	Climax Global Energy, Inc	USA	Pilote	3		Plastiques		Huile
Pyrolyse	Cynar / Suez	GB	Démonstrateur	20		Plastiques		Carburant diesel

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre



Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Pyrolyse	Deusa	Allemagne	Pilote (arrêté)			Plastiques		n.r
Gazéification	Ecoloop	Allemagne	Démonstrateur (en construction)	115			Plastiques RDF	Gaz synthèse -> électricité
Gazéification	Enéria	France	Démonstrateur	20		Bois usagé Boues de papeterie CSR		Gaz synthèse --> électricité + chaleur
Gazéification	Enerkem	Canada	Démonstrateur  Unité industrielle en construction	40-45  300		Déchets plastiques, papier, bois usagé, déchets ménagers, RDF, CSR, déchets de cantines, déchets des IAA, déchets verts humides, pneus, liqueur noire, boues de STEP, déjections de poulaillers, RBA.		Méthanol, éthanol

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Dépolymérisation thermique	Envion	USA	Démonstrateur	10		Plastiques		Huile
Gazéification	Envirotherm	Allemagne	Industriel	500	Bois usagé	Boues de STEP Boues de papeteries RDF		Gaz synthèse → Fours de cimenteries, chaudières
Gazéification	Europlasma	France	Démonstrateur (en construction)	170			Refus de tri de DIB Bois	Gaz synthèse --> électricité
Gazéification	Finaxo	France	Pilote	20		Pneus, boues de STEP, bois usagés, farines animales, vinasses, refus de tri de déchets domestiques		Gaz synthèse --> vapeur + électricité
Gazéification	Global Clean Energy Inc. (GCEI)	USA	Pilote	n.r		Déchets plastiques Déchets municipaux Herbe Bois usagé		n.r

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Gazéification	InEnTec	USA	Pilote	n.r		Déchets ménagers, DID, DIB, cendres volantes, déchets hospitaliers, PCB		Gaz synthèse
Gazéification	Inéos Bio	Suisse	Pilote	n.r		Bois usagé	Fraction organique des déchets municipaux et commerciaux, déchets verts, déchets des IAA.	Ethanol
Gazéification	Inter Engineering / Solventure	Allemagne	Laboratoire	n.r		Tous types de déchets Déchets hospitaliers		
Pyrolyse	Klean Industries Inc.	Canada	Industriel	3-100	Plastiques issus des déchets ménagers, DIB, déchets agricoles, pneus, DEEE RBA			Gaz synthèse --> moteurs industriels

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Gazéification	Kopf GmbH	Allemagne	Démonstrateur	7		Boues de STEP		Gaz synthèse --> électricité
Dépolymérisation catalytique	Logmed Corp.	Allemagne	Laboratoire	1		Plastiques Déchets hospitaliers Huiles usées		Huile lourde + gaz synthèse + naphta
Gazéification	Milena - ECN – (Energy Research Centre of The Netherlands)	Pays-Bas	Pilote	3,8		Bois usagé Déchets verts (herbe..) Boues de STEP		Gaz synthèse --> électricité
Pyrolyse	Nill-Tech GmbH	Allemagne	Démonstrateur	10		Plastiques		Gazole après raffinage
Gazéification	Litélis	France	Pilote	0,5		Bois usagé		Gaz synthèse --> électricité
Gazéification	Plasco Energy Group	Canada	Démonstrateur	100		Plastiques + déchets ménagers		Gaz synthèse --> électricité
Gazéification	Plasma Power	Allemagne	Industriel	n.r	n.r			

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Dépolymérisation catalytique et thermique	Plastic Advanced recycling Corp.	USA	Industriel	10 à 35	Plastiques, déchets hospitaliers			Huile
Fluides supercritiques	Pôle Fibres Lorraine	France	Petit pilote (en construction)	n.r				n.r
Pyrolyse	Pyrum SAS + Pyrum GmbH	(Allemagne / France)	Démonstrateur (en construction)	1		Plastiques Pneus et autres caoutchoucs, biomasses		Huile + gaz + coke + noir de carbone
Gazéification	Rentech-SilvaGas	USA	Démonstrateur (arrêté)	350		Bois usagé et déchets ménagers (unité arrêtée)	Déchets verts (herbe...)	Gaz synthèse
Gazéification	Solena Group	USA	Pilote	n.r		Tous types de déchets de biomasse, incluant les déchets municipaux solides, les déchets forestiers, agricoles		Carburant aviation + électricité

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Pyrolyse	Sapporo Plastic Recycling Co./Toshiba	Japon	Industriel	50	Plastiques			Huile --> raffinage + électricité
Pyrolyse	Tree Power	USA	Pilote	1,5 à 6		Boues de STEP		Huile --> fioul lourd moteurs
Dépolymérisation catalytique et thermique	T-Technology	Hongrie	n.r	n.r	Plastiques (non vérifié)			Carburant
Dépolymérisation thermique	Vadxx Energy	USA	Démonstrateur	n.r		Plastiques Déchets textiles Pneus Déchets hospitaliers RBA	Projet avec déchets ménagers	Huile

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Type de procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement	Capacité (t/jour) des unités	Types de déchets			Produits fabriqués (ou énergie produite)
					Déchets utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés	
Gazéification à lit fixe	Wartsila	Finlande	Pilote	n.r		Bois usagé Boues de STEP RDF		Gaz synthèse --> moteurs
Gazéification	Xylowatt	Belgique	Pilote	0,8	Déchets de biomasse propre	Déchets de bois usagé (plaquettes issues de traverses de chemin de fer....)		Gaz synthèse --> moteurs
Dépolymérisation	Confidentiel	Belgique	Pilote (en construction)	n.r			Plastiques (PS)	Huile --> pétrochimie

## Annexe 2 : Tableaux détaillés de dénombrement des procédés

**Tableau 13 : Dénombrement des procédés identifiés par catégorie de procédé et par degré de développement**

	Industriel	Démonstrateur	Pilote	Laboratoire	Non renseigné	Total
Gazéification	5	7	12	2		26
Pyrolyse	4	4	3			11
Dépolymérisation	2	3	2	1	1	9
Solvolyse				2		2
Fluides supercritiques				1		1
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>49</b>

Installations à l'arrêt: 1 démonstrateur gazéification, 1 pilote pyrolyse

Installations en construction: 2 démonstrateurs gazéification, 2 démonstrateurs de pyrolyse, 1 pilote de dépolymérisation.

**Tableau 14 : Dénombrement des projets et procédés par pays, selon le degré de développement**

(le pays indiqué est celui du développeur du procédé)

	Industriel	Démonstrateur	Pilote	Laboratoire	Non renseigné	Total
Allemagne	4	4	1	2		11
Belgique	1		2			3
Biélorussie	1					1
Canada	2	2				4
Chine		1				1
Finlande			1			1
France		3	3	3		9
Grande-Bretagne		1	1			2
Hongrie					1	1
Inde				1		1
Japon	1					1
Pays-Bas			2			2
Suisse			1			1
USA	2	3	6			11
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>49</b>

Installations en construction: 1 démonstrateur gazéification en Allemagne, 1 démonstrateur de pyrolyse en Allemagne, 1 démonstrateur de pyrolyse en France, 1 démonstrateur gazéification en France, 1 pilote dépolymérisation en Belgique.

Installations à l'arrêt: 1 démonstrateur aux USA, 1 pilote en Allemagne.



**Tableau 15 : Répartition des procédés selon le type de déchet et selon le type d'utilisation**  
(industriel, tests, projet...)

	Déchets effectivement utilisés au niveau industriel	Déchets validés au niveau des tests	Déchets envisagés mais non validés
Tous types de déchets		3	
Plastiques	4	13	2
Papier		1	
Bois usagé		8	1
Déchets ménagers (1)	4	7	
Déchets de cantines			
Déchets des IAA			
Herbe, autres déchets verts humides		2	2
Lisier		1	
Farines animales		2	
Déchets industriels dangereux		4	
Autres DIB		4	1
Cendres volantes		1	
Pneus	3	4	1
DEEE	2		
Déchets hospitaliers	2	4	
Boues de STEP		8	1
Boues de papeteries		2	
Déjections de poulaillers			
RDF		4	
RBA	2	2	
CSR	1	1	
Huiles usées, huiles de transfos		1	
Peintures	1		
Composites		1	
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>73</b>	<b>8</b>

(1) La nature des déchets ménagers acceptés est très variable selon le procédé considéré. Quelques procédés revendiquent la possibilité de traiter des OMR brutes sans prétraitement de la charge, mais ils restent l'exception et de telles revendications sont sujettes à caution. La plupart des procédés traitent des déchets préalablement traités, principalement constitués d'une fraction plastique issue de la collecte sélective (refus de tri) ou de la fraction haut PCI issue d'unités de TMB.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Tableau 16 : Répartition des produits fabriqués selon le type de technologie et le degré d'avancement des procédés utilisés

	Gazéification	Pyrolyse	Dépolymérisation	Solvolyse
Gaz de synthèse	17	5	4	
dont gaz de synthèse apte à une utilisation dans un moteur à gaz	13	1		
Huile (usage non spécifié)		4	4	
Carburant auto (diesel ou essence) en mélange	2	2		
Carburant pour moteurs lents		3	1	
Carburant éthanol, méthanol	3		1	
Fioul + noir de carbone		4		
Diols, polyols				1
Intrant pour la pétrochimie			1	

	Industriel	Démonstrateur	Pilote	Labo
Gaz de synthèse (usage non spécifié)	3	5	8	
dont gaz de synthèse apte à une utilisation dans un moteur à gaz	2	4	6	
Huile (usage non spécifié)	1	1	3	2
Carburant auto (diesel ou essence) en mélange		2	1	1
Carburant pour moteurs lents	5			
Carburant éthanol, méthanol	1	1	1	
Fioul + noir de carbone	3		1	
Diols, polyols				1
Intrant pour la pétrochimie	1			

Note: les unités en construction sont incluses dans les tableaux ci-dessus.

## Annexe 3 : Liste des procédés exclus du champ de l'étude

**Tableau 17** : Procédés ne traitant que des déchets de biomasse propre

**Tableau 18** : Procédés exclusivement destinés à produire directement de la chaleur ou de l'énergie

**Tableau 19** : Procédés dont la température opératoire est inférieure à 100°C

**Tableau 20** : Procédés abandonnés (ou pour lesquels aucune activité concrète n'a été identifiée depuis plusieurs années)

**Tableau 21** : Procédés dont les produits sortants sont solides

Tableau 17 : Procédés ne traitant que des déchets de biomasse propre

Type de procédé	Nom du procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement
Gazéification	RENUGAS	Carbona Oy (subsidiary of Andritz)	Finlande	
Gazéification		Leroux & Lotz	France	R & D
Gazéification		Karlsruhe Institute of Technology (FZK/KIT), with Siemens/ Future Energy and Lurgi	Allemagne	
Gazéification		S3d (Solutions Déchets et Développement Durable	France	R & D
Gazéification		Ecole des Mines (Nantes)	France	Laboratoire
Gazéification	BioTfuel PRENFLOTM™	Uhde	Allemagne	Démonstrateur
Gazéification		PTI (Pearson Technology Inc.)	USA	Pilote
Gazéification		REPOTEC/ TUV (Vienna University of Technology)	Autriche	
Gazéification	Prenflo	Uhde	Allemagne / Espagne	Industriel (projet?)
Gazéification	Carbo V	Choren	Allemagne	Industriel
Gazéification	K2	Range Fuels.	USA	Industriel: déchets de biomasse propre Tests sur autres déchets
Pyrolyse	Fast Pyrolysis	Dynamotive Energy Systems	Canada	
Gazéification		CEA Contact: Sylvie Rougé: 04 38 78 50 50	France	Pilote
Gazéification	Taylor Gasification Process: same technology as SilvaGas.	Taylor Biomass Energy	USA	

Type de procédé	Nom du procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement
Gazéification		Mitsubishi Heavy Industries	Japon	
		M-Real Hallein AG	Autriche	
Pyrolyse		Dynamotive Energy Systems	Canada	
Pyrolyse	Procédé PyroVac		Canada	Pilote
Gazéification	Artfuel	CUTEC Institute	Allemagne	Pilote
Pyrolyse			Pays-Bas	
	Pyros	Faculty of Engineering Technology Laboratory of Thermal Engineering	Pays-Bas	
Gazéification		Stora/Enso / Neste-Oy/Foster Wheeler	Finlande	Démonstration

Tableau 18 : Procédés exclusivement destinés à produire directement de la chaleur ou de l'électricité

Type de procédé	Nom du procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement
Gazéification	TwinRec	Ebara	Japon	Japon : Industriel Europe : Néant
Gazéification		ENERGOS / ENER-G Group	GB	Industriel
Gazéification	PAG (Plasma Assisted Gasifier)	Plasma Environmental Technology	CAN	
Gazéification		Foster Wheeler	Finlande	
Gazéification	Shell Coal Gasification Process (SCGP)	Shell	Pays-Bas	Industriel
Gazéification		Foster Wheeler Energy		
Gazéification		ThermoChem Recovery International (TRI)	USA	
Gazéification		Ze-gen (Massachusetts)	USA	Démonstrateur (1 t/h)
		MaxWest		
Gazéification		Lurgi	Pays-Bas	
Gazéification		GTI U-GAS	Danemark	
Gazéification		GE-Texaco	USA	
Gazéification		Cosmo Powertech PVT. LTD.	Inde	
Gazéification	PyroAI	OP Systèmes	France	Pilote à Lacq
		Enviromondial		
		Babcock & Wilcox Volund		
		Nippon Steel	Japon	Industriel
		Kobelco	Japon	
	4 HT (For Hydrogen Technology)	Newgens (Suisse)	Suisse / Italie	Pilote industriel (projets industriels au Kenya et Arabie Saoudite)
Gazéification	Thermoselect	JFE	SUI	Industriel au Japon (performances ?) Echec en Europe

Tableau 19 : Procédés dont la température opératoire est inférieure à 100°C

Type de procédé	Nom du procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement
		Ten Kate Vetten	Pays-Bas	Industriel
Fermentation / distillation	ATENEA Project	IMECAL	Espagne	Pilote
Fermentation / distillation	Perseo project	IMECAL	Espagne	
Hydrogénation / estérification		BioValue	Pays-Bas	Industriel
Fermentation		Vierhouten Vet BV (Biodiesel Kampen BV)	Pays-Bas	Industriel?
Fermentation		Ecoson Vion	Pays-Bas	Industriel
Dégradation contrôlée de polydiènes			France	R & D (thèse SADAKA Faten - année 2007) / Université
Electrolyse	Hydropolis – Projet labellisé par Capénergies	CNIM	France	

Tableau 20 : Procédés abandonnés (ou pour lesquels aucune activité concrète n'a été identifiée depuis plusieurs années)

Type de procédé	Nom du procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement
Glycolyse du PET		Hoechst	ALL	
Gazéification		Iowa State University	USA	
Gazéification		Okadora	Japon	Pilote?
Gazéification	CHRISGAS	Växjö Värnamo Biomass Gasification Center	Finlande	
Gazéification		Fraunhofer Institute	Allemagne	
Gazéification	Ecogas	Foster Wheeler Energy		Industriel
Gazéification		Emery Energy	USA	
Gazéification	EUP	Ube/Ebara	Japan	Industriel
Pyrolyse		Biotherm Technologie AG à un accord commercial avec Clyvia mais pas de procédé en propre. Clyvia est le concepteur du procédé	Suisse	Pilote? (pas d'informations nouvelles depuis 2006)
Pyrolyse	Thide		France	Industriel
	Thermolysef			Abandonné?
Glycolyse du PET		DuPont	USA	Industriel
Glycolyse du PET		Eastman Chemical Company (ECC)	USA	Industriel
Glycolyse du PET		Shell Chemical Company	USA	
Glycolyse du PET		Petcore	USA	Industriel
Hydrolyse du polyamide		Zimmer + Lurgi	Allemagne	Industriel
Gazéification	WGS	Thalès	France	
Gazéification	Procédé Plasma Power	Plasma Power PP Renat GmbH, & Co. KG est l'agent de la société Plasma Power Holding BV en Allemagne	All et Pays-Bas	Pilote
Pyrolyse	ThermoFuel	Ozmotech	Australie	Pilote (pas d'informations depuis 2006)
Cracking catalytique		University of Kitakyushu	Japan	Laboratoire



Tableau 21 : Procédés dont les produits sortants sont solides

Type de procédé	Nom du procédé	Porteur du procédé	Pays	Stade de développement
	KIT TerraNova Energy CS Carbon Solutions AVA-CO2		France	
Pyrolyse	RMD	Pyreco	Espagne	
Polycondensation en phase solide	Supercycle Ecoclear URRC	Amcor (Supercycle)		Industriel
Glycolyse/méthanolyse du PET	EcoPET	Teijin	Japon	Industriel

## Annexe 4 : Fiches « Procédés »

Sauf mention explicite, l'unité utilisée pour caractériser la capacité de traitement d'une unité de gazéification est le nombre de tonnes de déchets traités par an, en équivalent matière sèche (« oven dried tonnes (odt) of biomass input »). Ce tonnage peut-être converti en équivalent énergétique en utilisant le PCI du déchet. Par exemple, le PCI du bois étant égal à 18 GJ/tonne sèche, une unité de gazéification d'une capacité de 48 t/j de bois traite un charge de 10MWth.

Les informations relatives à certains procédés présentés dans les fiches sont basées sur les affirmations des constructeurs ou plus généralement des personnes contactées ou sites Internet. Ces informations ne sauraient engager ni l'ADEME, ni AJI Europe, et que le fait que les procédés soient mentionnés dans cette étude ne présage en rien des performances voire même de la viabilité techniques, économiques et environnementales des procédés évoqués.

Pour plusieurs procédés, l'information relative à certaines rubriques n'a pas pu être obtenue, même à travers des contacts directs (information considérée comme confidentielle, pas de réponse des interlocuteurs...). Dans ce cas, les rubriques concernées ont été supprimées. La numérotation des rubriques a toutefois été maintenue à l'identique dans toutes les fiches.

## 1 Advanced Plasma Power (Gasplasma)

**Procédé : Gasplasma**

**Porteur du procédé : Advanced Plasma Power (Grande Bretagne)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
<b>Pilote</b>	<b>Biomasse propre (bois, déchets agricoles)</b> <b>Déchets municipaux</b> <b>DIB</b> <b>RBA</b> <b>RDF</b> <b>Déchets dangereux</b> <b>Boues de STEP</b>	<b>Gaz de synthèse → électricité</b>

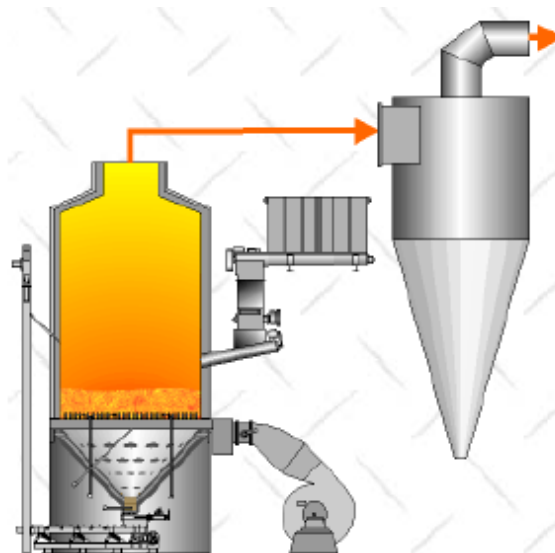
### 1- Caractéristiques de base du procédé

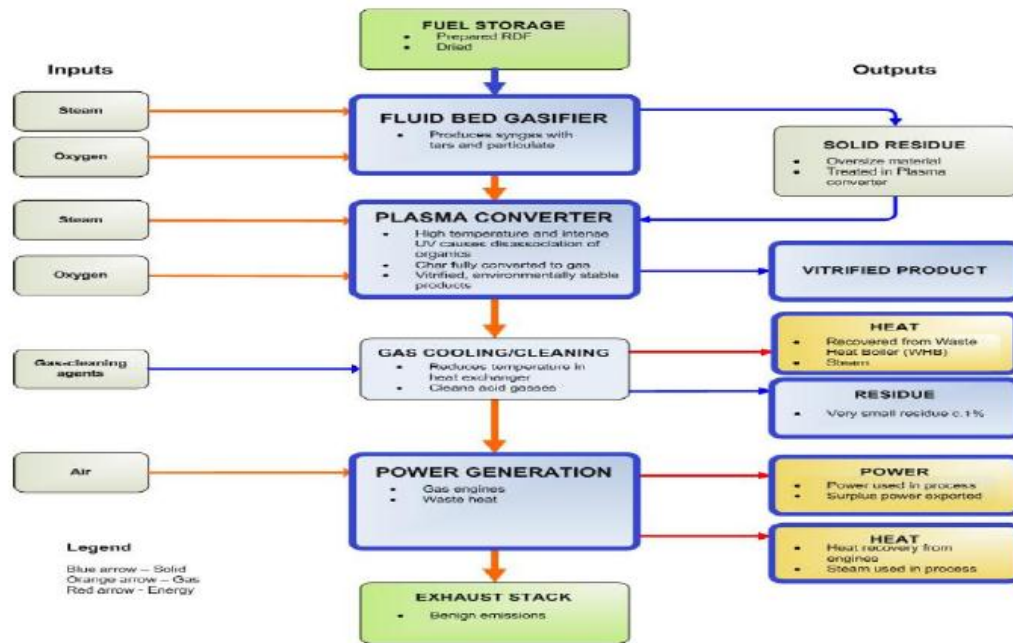
Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification en lit fluidisé bouillonnant (lit de sable).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Température possible : 540-980°C.</li> <li>- Température optimale : 590-650°C</li> <li>- Pression : 19-31bars</li> </ul> <p>Une torche à plasma de conception Tetronics est utilisée pour craquer les goudrons et les suies contenus dans le syngas, et pour vitrifier les cendres en « Plasmarok ».</p> <p><u>Etape 1</u> : Les déchets sont préalablement triés pour enlever la majeure partie des inertes non combustibles puis sont broyés à une granulométrie de 80 mm environ et séchés jusqu'à environ 12 % d'humidité en utilisant une partie de la vapeur basse pression produite par l'installation.</p> <p><u>Etape 2</u> : Les déchets sont introduits dans un four de gazéification à lit fluidisé.</p> <p><u>Etape 3</u> : Le syngas produit est envoyé dans un four séparé où il traverse un plasma d'air produit par une torche à plasma. Dans le même four sont également introduits les déchets solides de la gazéification (cendres et charbon) où ils sont vitrifiés. Les électrodes en graphite peuvent être changées sans arrêter l'installation.</p>
-------------------------------	--

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

	<p><u>Etape 4</u> : Post-traitement : Le gaz sort du four à 1 200 °C, est refroidi à 200 °C puis filtré, à nouveau refroidi et neutralisé. un filtre qui réduit la teneur en poussières.</p> <p><u>Etape 5</u> (optionnelle) : Production d'électricité.</p>
<p>Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité</p>	<p>Pilote : 1,8 t / jour de déchets.</p> <p>Une unité industrielle standard Gasplasma® est conçue pour traiter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 150 000 t/an de déchets ménagers ou de DIB</li> <li>- 90 000 t/an de RDF</li> </ul>

- Schéma général du procédé





## 2- Références

### Installations en fonctionnement

### Unité pilote

La société Advanced Plasma Power (Grande Bretagne) a construit et exploite une unité pilote basée sur le procédé Gasplasma à Faringdon, (Oxfordshire, Grande-Bretagne).

Déchets: RDF. Tests effectués sur des déchets municipaux, DIB, bois, RBA, déchets dangereux.

Produits: Solides vitrifiés (Plasmarok) + syngas.

Le syngas est utilisé comme combustible pour un moteur thermique afin de produire de l'électricité et de la chaleur (60 à 80 kW).

L'unité a ensuite été déplacée à Marston Gate (Swindon) et complétée en aval.

Démarrage: 2008

Déchets : RDF

Capacité: 1/80 de l'unité industrielle envisagée, soit 75kg/hr (1,8t/jour, or 1,60dt/jour sur la base d'un taux d'humidité de 10%).

En outre, il semble que des gazéificateurs de la société Energy Products of Idaho équipent 3 autres unités exploitées par la société Advanced plasma Power en Grande-Bretagne, en combinaison avec des torches à plasmaTetronics, mais aucun détail n'a pu être obtenu.

	<p><u>Les autres unités construites sont des centrales électriques intégrées</u></p> <p>1982: centrale de 16MW en Californie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production: 20,5 t/h de vapeur 19 bars</li> <li>- Déchets : 77 t/jour de déchets agricoles.</li> </ul> <p>Unité arrêtée.</p> <p>1985: centrale de 28MW, utilisant des copeaux de bois, à Bloomfield (Missouri)– « operational status unknown »</p> <p>1986: centrale 6MWe dans l’Oregon. Capacité: 27t/hr (648t/day) de déchets de biomasse propre et de déchets industriels.</p> <p>1992: centrale de 0,75MWe pour un électricien du New Jersey. Fermée.</p>
--	--

Installations en construction ou en projet	Advanced Plasma Power a un projet en partenariat avec la société Machiels (Belgique) pour construire une unité à Limburg (25 MW) en 2013, sous réserve de l’obtention du financement et des autorisations.
--	--

### 3- Caractéristiques des intrants

Besoins de préparation de la charge	<p>Elimination du verre, des métaux, des plastiques rigides, des pierres et autres objets durs.</p> <p>Déchets acceptés jusqu’à 55% d’humidité et 25% de teneur en cendres.</p> <p>Granulométrie : &lt; 5 cm.</p> <p>Les mélanges de déchets de biomasse sont acceptés.</p> <p>Les mélanges de déchets biomasse et non biomasse sont acceptés.</p>
-------------------------------------	--

### 4- Caractéristiques des produits sortants

Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Gaz de synthèse : 36% H<sub>2</sub>.</p> <p>Le gaz de synthèse est utilisable dans des moteurs à combustion interne (turbine à gaz) d’une puissance unitaire de 1,5 MW. Une unité standard produit 16MW d’électricité 23MW de chaleur.</p> <p>Le gaz de synthèse est suffisamment pur pour fabriquer des</p>
---------------------------------------	---

Etat de l’art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

	carburants en aval (mais APP ne fournit pas le procédé) ou alimenter des piles à combustible.
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	Toutes les cendres sont vitrifiées sous forme de Plasmarok®, composé de silice, calcaire et d'alumine + quelques oxydes métalliques.

<b>Caractéristiques du syngas</b>	
Température	> 1500°C (plasma)
H2, CO (% en vol)	H2 : 37,5% CO : 40% Ratio 0,94
CO2 (% en vol)	15%
H2O (% en vol)	3,2%
N2, HCN, NH3, NOx	3,3% N2

<b>6- Bilan énergétique</b>	Les centrales APP ont un rendement énergétique de 35-40%.  Environ 1/3 de l'électricité produite est utilisée en interne pour les besoins du process.
-----------------------------	---

<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Gasplasma® est breveté au plan international par Advanced Plasma Power Ltd.
--	---

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Investissement estimé par APP: ~50M£, y compris préparation, broyage et séchage du déchet.  Coûts opératoires: 6,2 M€ (4,8M£).
---	--

<b>10- Stratégie commerciale</b>	La société Advanced Plasma Power a été créée en 2005 pour commercialiser la technologie Gasplasma développée à l'origine par Tetronics Ltd.  L'entreprise s'appuie sur les savoir-faire de Tetronics (plasma) et de Energy Products of Idaho, Inc. ("EPI") pour le four à lit fluidisé.
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
<p>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</p>	<p>Stephen Gill (Directeur des ventes)</p> <p>Advanced Plasma Power Limited</p> <p>Unit B2, Marston Gate</p> <p>Stirling Road</p> <p>South Marston Business Park</p> <p>Swindon , SN3 4DE, Grande-Bretagne</p> <p>Tél: +44 (0)1793 838660</p> <p>Mobile: +44 7557 377801</p> <p><a href="mailto:stephen.gill@app-uk.com">stephen.gill@app-uk.com</a></p> <p><a href="http://www.advancedplasmapower.com">www.advancedplasmapower.com</a></p> <p>Energy Products of Idaho</p> <p>3568 W Industrial Loop</p> <p>Coeur d'Alene, Idaho, USA</p> <p>83815-6016</p> <p>Tél : (208) 765-1611</p> <p><a href="mailto:epi2@energyproducts.com">epi2@energyproducts.com</a></p> <p><a href="http://www.energyproducts.com/">http://www.energyproducts.com/</a></p>



## 2 Agilyx

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Agilyx (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Déchets plastiques	Huile + gaz de synthèse

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Procédé breveté de transformation sous vide des déchets plastiques broyés, en huile :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etape 1: Chauffage des déchets plastiques : Les cartouches remplies de déchets sont placées dans une enceinte de traitement avec circulation d'air chaud, afin de fondre puis vaporiser la charge.</li> <li>- Etape 2 : Gazéification</li> <li>- Etape 3: Condensation : Les gaz sont refroidis et condensés en huile de synthèse. Les impuretés sont éliminés et les incondensables sont séparés.</li> </ul> <p>Le système est capable de transformer 10 tonnes de plastiques en 60 barils d'huile par jour.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	Technologie modulaire (modules de 10 t/jour).

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

### 2- Références

Installations en fonctionnement	<p>Une unité en opération depuis 2006, à Tigard (Oregon, USA)</p> <p>Capacité de l'installation: 10t/jour soit 3,500 t/an</p>
---------------------------------	---

Installations en construction ou en projet      Aucune.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	Le système est assez polyvalent pour traiter tous les types de plastiques.
Déchets mélangés acceptés ?	Le système peut traiter des déchets ayant tous les niveaux de contamination en métaux, verre, aliments, papier et eau.
Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?	Agilyx a traité sans difficulté une charge contenant 50% de fer. Toutefois, le rendement diminue avec le taux d'impuretés.

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Produit similaire à du pétrole brut : 80%. C'est l'équivalent d'un pétrole à faible teneur en soufre, qui peut par la suite être raffiné soit sur place via une technologie standard de micro raffinage ou bien dans des raffineries extérieures.  Gaz naturel: 12% de la production totale.  En moyenne, le procédé consomme entre 8,5 et 10 livres de plastiques par gallon d'huile fabriquée. Cela dépend beaucoup du type de déchet plastique.
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>5- Déchets et effluents</b>	Les incondensables sont traités et rejetés.
--------------------------------	---

<b>10- Stratégie commerciale</b>	Agilyx souhaite vendre sa technologie directement ou céder sa licence à des grands producteurs et/ou recycleurs de déchets plastiques.  L'huile produite est vendue à des raffineurs / pétrochimistes ou bien consommée sur site.
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Chris Ulum  7904 SW Hunziker St., Tigard, OR 97223  www.agilyx.com  Tél: 503-217-3160  <a href="mailto:culum@agilyx.com">culum@agilyx.com</a>

### 3 Alphakat

**Procédé : Dépolymérisation catalytique et thermique + fractionnement mécanique**

**Porteur du procédé : Alphakat (Allemagne)**

Approche intéressante (dépolymérisation thermo-mécanique) mais aucune évidence du caractère opérationnel du procédé.

Impossibilité de confirmer l'existence ou le caractère opérationnel des références revendiquées.

Les expertises externes effectuées mettent fortement en doute les possibilités d'atteinte des objectifs annoncés.

Alphakat n'a pas été capable jusqu'à présent de justifier de façon claire le degré de développement de ce procédé.

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	Déchets ménagers, CSR, DEEE	Carburant

#### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Procédé en continu comportant 4 étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépolymérisation catalytique dans un bain d'huile à 200°C. Les papiers-cartons se désagrègent rapidement, le bois plus lentement</li> <li>- Filtration en sortie de cuve</li> <li>- Passage dans une turbine à friction pour y subir un fractionnement mécanique (fractionnement des chaînes moléculaires des plastiques, élastomères, gommés...). Le processus dégage une énergie de liaison et le mélange est porté de 200 à 280°C</li> <li>- Distillation finale pour ajuster la spécification du produit. Le résidu de distillation est réinjecté dans le bain de départ.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>0,1 à 0,25 t/h (estimation).</p> <p>Capacité de production de carburant diesel :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- KDV150 : 1 000 t/an (soit environ 3 t/jour)</li> <li>- KDV250 : 1 600 t/an (soit environ 5 t/jour)</li> </ul>

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

- Schéma général du procédé

Non disponible.

<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	<p>Une unité de démonstration KDV150 est installée dans l'usine Alphakat d'Eppendorf (Allemagne).</p> <p>Capacité de production de carburant diesel : 1 000t/an.</p> <p>Alphakat revendique par ailleurs une dizaine d'installations en fonctionnement dans le monde :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 1 chez SANEA (Espagne), sur CSR issu des déchets ménagers (50% plastiques, 40% cellulosiques ; teneur en humidité : 15%). Production de 550l de carburant / tonne de CSR traité (dont 50l sont utilisés pour les besoins du process).</li> <li>✓ 1 chez COVENTA (filiale de Waste Management Inc.) aux USA, fonctionnant sur déchets ménagers bruts. (Production de 280l de carburant / tonne de déchet.</li> <li>✓ 1 en Finlande, chez LHJ Group</li> </ul> <p>- une unité fonctionnant sur DEEE, en Ontario (Canada) pour le groupe irlandais GEEP.</p> <p>Ces sociétés utilisent la production comme carburant pour leurs flottes de véhicules de collecte. D'après Alphakat, la qualité du carburant diesel est supérieure aux carburants vendus aux stations-service.</p> <p>- Une unité à Mexico, sur huiles usées</p> <p>- Une unité en Malaisie, sur huile de palme. Capacité : 60l/h (utilisée par un agriculteur pour alimenter ses engins).</p> <p>Une unité KDV 1000 serait en construction en Pologne (sur déchets de paille) pour un démarrage en 2012.</p>
Installations en construction ou en projet	Pas de projet identifié.

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Pour une unité KDV 150 : 4,5 M€ (pour la partie dépolymérisation), hors bâtiment, hors cuve de stockage en sortie, hors stockeur/déstockeur automatique à l'entrée).
---	--

<b>10- Stratégie commerciale</b>	Procédé inventé par Koch lorsqu'il travaillait chez Siemens.  Politique basée sur la vente de petites unités.
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
<b>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</b>	ALPHAKAT GmbH, Freiburgerstrasse 222, 09575 EPPENDORF  Société BVA, Prof. Dr. sc. Horst Heimbürge, Questenberger Weg 38 a ; 01662 Meißen ; Tél. (03521) 45 72 11 Fax (03521) 45 91 15 Portable 0172 3592582.  Représenté en France par société ROCANDA AG, Jérôme CHACHAY, portable : 06 46 41 51 35 mail : jerome.chachay@yahoo.fr, Adresse : 444, rue la Croix, 45450 Donnery

## 4 Alpha-Recyclage

**Procédé : Vapo-thermolyse (pyrolyse)**

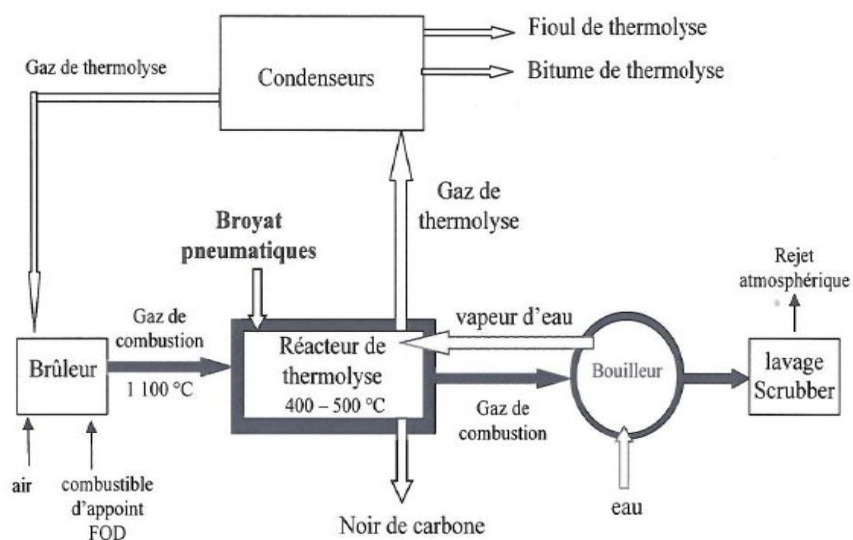
**Porteur du procédé : Alpha-Recyclage Franche Comté (France)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur (en construction)	Pneumatiques usagés	Fuel et noir de carbone

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Transformation du caoutchouc à 500°C en l'absence d'oxygène en noir de carbone et en fioul.</p> <p>Principales étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vapothermolyse</li> <li>- Condensation</li> <li>- Traitement des solides</li> <li>- Traitement des liquides et des gaz de combustion.</li> </ul>
Plage de capacité	16 000 t/an de pneumatiques usagés.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

2- Références	
Installations en fonctionnement	Non

Installations en construction ou en projet	<p>Lieu : Brévans (39)</p> <p>Capacité : 16 000 tonnes /an</p> <p>Degré de développement : Industrialisation en cours</p> <p>Année de démarrage prévue : 2014</p> <p>Types de déchets traités : Pneumatiques usagés : déchets effectivement utilisés au niveau industriel</p> <p>Type(s) de produit(s) fabriqué(s) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fioul TBTS</li> <li>○ Noir de carbone de qualité industrielle</li> </ul> <p>Alpha-Recyclage a reçu en janvier 2012 l'autorisation de construction au titre des installations classées.</p> <p>Ce projet a reçu le soutien d'OSEO innovation.</p> <p><u>Note</u> : Une unité industrielle est en exploitation depuis 2008 à Taiwan, basée sur le même procédé. Elle a été vendue par l'entreprise biélo-russe auprès de qui Alpha-Recyclage a acheté la licence pour l'Europe de l'ouest. En 2010, par suite de difficultés d'exploitation, l'entreprise taiwanaise a décidé de ne plus utiliser de vapeur et de revenir à une exploitation du type pyrolyse classique. La production a été de ce fait divisée par deux, à environ 7 000 t/an de pneus usagés. L'unité en construction, d'Alpha-Recyclage tient compte des enseignements issus de l'unité taiwanaise. Compte-tenu des modifications apportées au procédé, l'unité en construction en France est considérée comme un « démonstrateur ».</p>
--	---

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	Broyat de pneumatiques, propre.
Déchets mélangés acceptés ?	Granulométrie : 50mm x 50mm.
Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?	Les déchets mélangés ne sont pas acceptés. La charge ne peut pas être constituée d'un mélange de déchets biomasse et non biomasse. Pas d'additif nécessaire.

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Fioul TBTS, conforme à la classification douane. Noir de carbone de qualité industrielle
Co-produits et résidus de fabrication	Ferrailles (300 t/an) en valorisation matière

<b>5- Déchets et effluents</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bitume : 43 t/an vers valorisation énergétique en cimenterie</li> <li>- Boues des séparateurs débourbeurs : 20 t/an curage puis envoi vers incinération.</li> <li>- Effluents aqueux issus du laveur de gaz (sulfates, nitrates) vers le réseau local d'assainissement (36 m<sup>3</sup>/j)</li> <li>- Rejet des gaz de combustion à l'atmosphère après lavage (20 000 Nm<sup>3</sup>/h)</li> </ul>
--------------------------------	--

<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>Procédé autotherme.</p> <p>Electricité</p> <p>Fioul pour démarrage (faible).</p> <p>Performance énergétique <math>\geq 65\%</math> (énergie contenue dans les produits – Consommation) / énergie contenue dans le broyat initial</p>
-----------------------------	---



<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	<p>Maitrise de l'utilisation de la vapeur dans le procédé.</p> <p>Installations soumises à la réglementation sur les installations classées.</p> <p>Soumise à autorisation</p>
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevets et accords de transfert de technologies
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Investissement : 8 000 000 €.
<b>10- Stratégie commerciale</b>	Alpha-Recyclage a acquis la licence du procédé pour l'Europe de l'ouest, auprès de l'entreprise biélo-russe ayant conçu le procédé.
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Société familiale</p> <p>Jean-Louis PECH</p> <p>Gérant</p> <p>Tél : 06 82 66 45 49</p>

## 5 Alter-NRG (PGVR)

**Procédé : Plasma Gasification Vitrification Reactor (PGVR)**

**Porteur du procédé : Alter-NRG (Canada)**

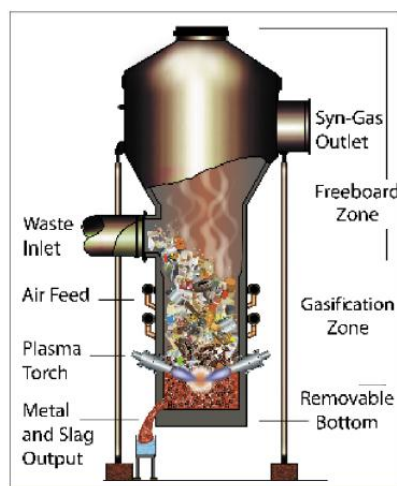
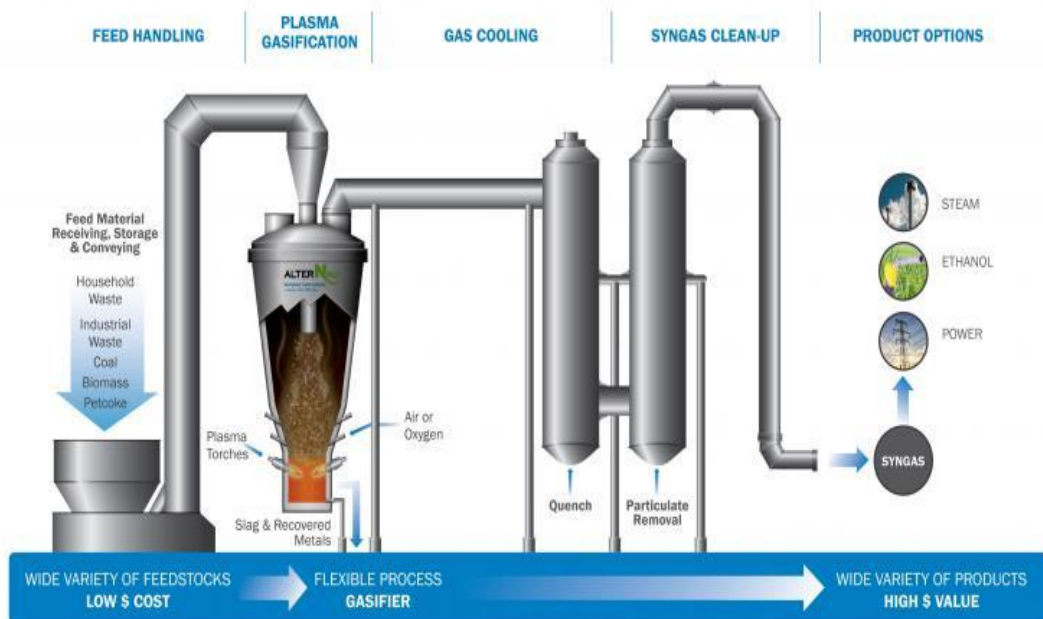
Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	Déchets ménagers RBA	<b>Gaz de synthèse → éthanol ou électricité + chaleur</b>  Le procédé s'arrête à la production du gaz de synthèse. Deux industriels ont développé des unités de production d'électricité et de chaleur. Un industriel a développé une installation de production d'éthanol.

### 1- Caractéristiques de base du procédé

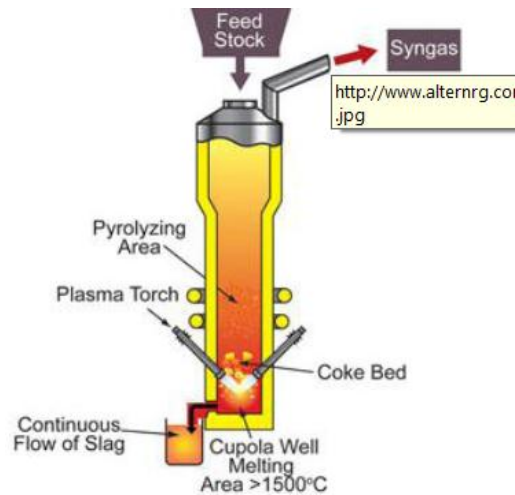
Principe et étapes du procédé	<p>La technologie utilisée (Westinghouse Plasma Corporation) est basée sur une coupole de gazéification à contre-courant alimentée par des torches à plasma.</p> <p>La torche contribue à la gazéification elle-même (les déchets sont en contact avec le plasma) de telle sorte que la température des gaz en sortie du four permet le craquage des goudrons (voir note).</p> <p>Le procédé comporte 3 étapes :</p> <p><u>1- Préparation des déchets</u> : réduction et homogénéisation de la granulométrie et séchage des déchets les plus humides.</p> <p><u>2- Gazéification</u> : Le four de gazéification est alimenté par batch. Température de sortie des gaz : 1 000 °C.</p> <p><u>3- Post-traitement</u> : Le gaz est refroidi dans un « quench » qui élimine également la majeure partie des poussières. Puis il passe dans un scrubber où les acides sont éliminés. En option AlterNRG propose une chaudière pour refroidir les gaz en sortie du four jusqu'à 400 °C et produire de la vapeur qui sera turbinée.</p> <p><u>Note</u> : dans les procédés Plasco et APP, au contraire, la torche est réservée au craquage des gaz (il s'agit d'augmenter la température des gaz au-dessus de la température de gazéification pour assurer la destruction des goudrons).</p>
-------------------------------	---

<p>Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité</p>	<p>Les fours sont construits en 3 tailles : 75 t/j, 150 t/j et 500 t/j (pour les unités destinées à produire de l'électricité)</p> <p>Environ 40 t/j pour les unités de production d'éthanol.</p>
---	---

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre



<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>Une unité a été démarrée par Hitachi Metals à Yoshii (Japon) en 1999, pour le traitement de déchets ménagers (capacité : 30 t/h). Elle a été stoppée définitivement en 2004 du fait de sa capacité trop faible.</p> <p>L'unité de Mihama-Mikata a démarrée en 2002, avec une capacité de 24 t/jour de déchets ménagers et de 4 t/jour de boues de STEP. Du fait de sa faible capacité, l'unité est orientée vers la production de chaleur et d'électricité.</p> <p>L'unité d'Utashinai (Japon) a également démarré en 2002. Initialement conçue avec une capacité de 170 t/jour de déchets ménagers et de résidus de broyage automobile (RBA), elle traite aujourd'hui 300 t/jour de déchets et produit jusqu'à 7,9 MWh d'électricité, vendant environ 4,3 MWh au réseau.</p> <p>Depuis 2009, la société Coskata exploite une unité de 2 t/h à Madison (Pennsylvanie) dans laquelle le gaz de synthèse est transformé en éthanol. Des charges variées ont été testées.</p> <p>Deux usines ont été construites en Inde, pour traiter des déchets dangereux.</p>

<b>Installations en construction ou en projet</b>	<p>Alter-NRG se dit en mesure de concevoir une unité industrielle pour tout type de déchet.</p> <p>Plusieurs projets, en Israël, en Russie et à Sainte-Lucie.</p>
---	---

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<b>Besoins de préparation de la charge</b>	<p>Aucun besoin de préparation.</p> <p>Possibilité d'utiliser aussi bien du charbon que de la biomasse.</p>

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>			
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	Pour un même four (le plus gros modèle proposé) les rendements indiqués par AlterNRG sont les suivants :		
		Gazéification à l'air	Gazéification à l'oxygène
	Flux de déchets		
	t/heures	21	31
	PCS kcal/kg	2 664	2 664
	Puissance du plasma kW	2,92	3,18
	Ajout de coke kg/h	833	1 480
	Air à 23 % d'O <sub>2</sub> kg/h	32 600	
	Air enrichi à 93 % d'O <sub>2</sub> kg/h	9 961	
	Gaz produit		
	kg/h	51 215	37 667
	PCI kcal/kg	728	2 207
	La combustion dans un moteur est très problématique, voire impossible, en raison d'un PCI trop faible. Le gaz ne peut qu'être brûlé dans une chaudière. Pour la combustion en turbine, ce gaz demanderait à être mélangé à du gaz naturel, ce que recommande également Alter NRG.		
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>			

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Alter-NRG revendique des coûts de production aux Etats-Unis de 3 à 4 \$/MMBTU pour la gazéification, contre plus de 24 \$/MMBTU pour l'incinération (5 \$/MMBTU en 2005, 14 \$/MMBTU en 2006).  (1 BTU = 1060 Joules ou $2,93 \times 10^{-4}$ kWh)
---	--

<b>10- Stratégie commerciale</b>	Alter NRG a racheté la compagnie Westinghouse Plasma Corporation en 2006. Elle utilise la technologie de cette dernière. Le savoir faire a été initialement développé pour le traitement des déchets spéciaux de la métallurgie. Puis la technologie a été testée au début des années 90 avec des déchets ménagers dans le centre de recherche de Westinghouse à Madison (Pennsylvanie).
----------------------------------	--

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Alter-NRG 215, 4000 - 4th Street SE Calgary, Alberta T2G 2W3, Canada Téléphone: 403.806.3875 <a href="mailto:info@alternrg.ca">info@alternrg.ca</a> <a href="http://www.westinghouse-plasma.com/">http://www.westinghouse-plasma.com/</a> <a href="http://alternrg.ca/gasification/commercial.html">http://alternrg.ca/gasification/commercial.html</a>

## 6 Anhui Orsun environmental technology

**Procédé :** Dépolymérisation catalytique et thermique

**Porteur du procédé :** Anhui Orsun environmental technology Co. Ltd (Chine)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
L'entreprise revendique deux démonstrateurs en fonctionnement depuis 7 ans à EFEI, Anhui (Chine)	Déchets plastiques (PE, PE, PET, HDPE, LDPE, PP, PS)	85% d'une huile similaire à du pétrole brut.

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Non spécifié.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	8000 t/an

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

### 11- Contacts

Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Bill Fang <a href="mailto:bill@plastic-oil.com">bill@plastic-oil.com</a>
---	---

## 7 Basse-Sambre (PIT-Pyroflam)

**Procédé : PIT-Pyroflam (pyro-gazéification)**

**Porteur du procédé : Basse-Sambre (Belgique)**

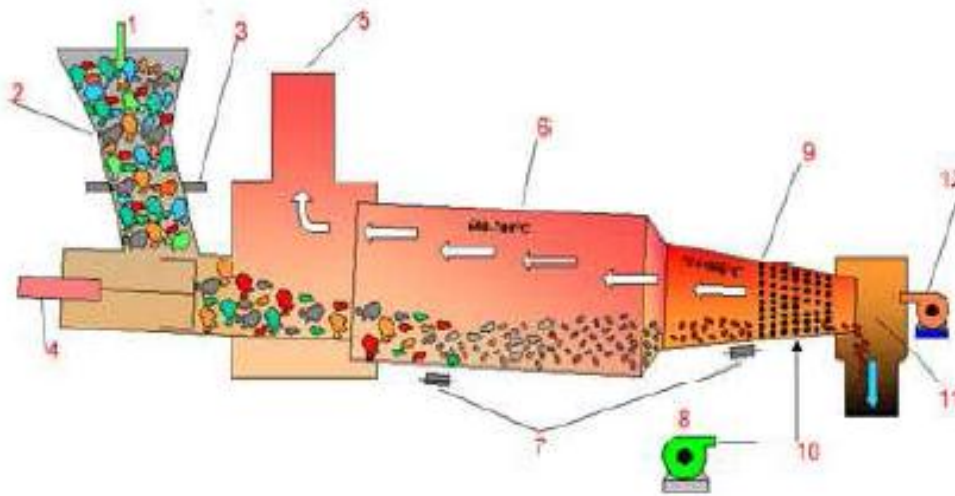
Degré de développement	Déchets traitées	Produits sortants
Industriel	Ordures ménagères	<p><b>Gaz de synthèse, transformé in situ en électricité et chaleur.</b></p> <p><b>Perspectives de développement vers l'utilisation en gaz combustible.</b></p>

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>La charge entrante est d'abord pyrolysée puis gazéifiée. Le gaz de synthèse produit est ensuite brûlé, en phase homogène, en chambre de postcombustion. La valorisation énergétique des déchets est réalisée par une chaudière de récupération disposée en aval, sur les fumées issues de la postcombustion du gaz de synthèse, la conversion électrique étant assurée par un groupe GTA.</p> <p>Les fumées sont refroidies par dilution à l'air, avant d'entrer dans un dispositif de traitement de fumées par voie sèche (bicarbonate + charbon actif), puis un filtre à manches décolmatable, avant d'être rejetées à l'atmosphère.</p> <p>La gazéification des déchets est réalisée à une pression proche de la pression atmosphérique.</p> <p>Le procédé comprend une étape intégrée de production de chaleur ou de vapeur. Pour l'instant, le gaz de synthèse est trop chargé en particules solides pour pouvoir être brûlé à l'extérieur.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Actuel : 1,7 t/h</p> <p>En développement : 3,5 à 4 t/h.</p>



• Schéma général du procédé



- 1 = chargement
- 2 = trémie
- 3 = volet
- 4 = poussoir
- 5 = gaz de pyrolyse et gazéification du coke vers valorisation
- 6 = cellule de pyrolyse ;
- 7 = galets supports
- 8 = air de process
- 9 = cellule de gazéification
- 10 = résidu solide inerte
- 11 = cendrier
- 12 = brûleur de préchauffage

**2- Références**

<p><a href="#">Installations en fonctionnement</a></p>	<p>Unité de pyro-gazéification d'ordures ménagères - Reykjavik (Islande), site de Kalka.</p> <p>Année de mise en service : 2004.</p> <p>Déchets traités : ordures ménagères (PCI : 12 217 kJ/kg), déchets industriels, déchets hospitaliers, peintures...).</p> <p>Capacité : 1,6 t/h.</p> <p>Production d'électricité et de chaleur.</p> <p>L'unité mise en service à l'aéroport de Budapest pour traiter les déchets de catering a été arrêtée. Sa capacité s'est avérée trop élevée au regard de la disponibilité en déchets.</p>
--	--

Installations en construction ou en projet	Non.
--	------

### 3- Caractéristiques des intrants

L'installation permet de traiter des déchets bruts, sans nécessité de mettre en place une plateforme de préparation poussée des OM en entrée de four.

### 4- Caractéristiques des produits sortants

Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Gaz de synthèse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO: 301 kg/h</li> <li>- H<sub>2</sub>: 24,96 kg/h</li> <li>- Méthane: 60,67 kg/h</li> <li>- Ethylène : 39,34 kg/h</li> <li>- Acétylène: 10,61 kg/h</li> </ul> <p>Le gaz produit est un gaz combustible pauvre, de PCIGP = 897,63 kcal/Nm<sup>3</sup>, soit : PCIGP = 3,76 MJ/ Nm<sup>3</sup>.</p> <p>Le carbone contenu dans le déchet entrant est transféré en phase gaz combustible avec une efficacité massique de conversion thermochimique du carbone de 99 %.</p>
Co-produits et résidus de fabrication	

### 5- Déchets et effluents

	<p>Débit spécifique moyen des cendres : 23,19 kg/t OM.</p> <p>L'unité de traitement des fumées en sortie chaudière, par voie sèche permet de satisfaire les normes actuelles concernant les rejets atmosphériques des installations de traitement thermique des déchets, sur l'ensemble des polluants particuliers et gazeux, à l'exception des dioxines et furanes.</p>
--	--

<p><b>6- Bilan énergétique</b></p>	<p>Le procédé est auto-thermique. La demande en énergie calorifique du procédé (séchage, dévolatilisation) est entièrement assurée par une combustion partielle de la charge entrante.</p> <p>Le rendement énergétique de conversion thermochimique des déchets entrants en gaz de synthèse est de 82,7%.</p> <p>Le rendement énergétique global de conversion du pyro-gazéifieur (chaleur sensible + contenu thermochimique) est de 95,2%.</p> <p>Le rendement potentiel de valorisation thermique de l'installation, est de : 86,76 %, mais son rendement effectif de valorisation énergétique, n'est que de : 65%, compte tenu des performances médiocres de la chaudière de récupération installée sur site.</p> <p>Les consommations spécifiques en électricité des auxiliaires, sont respectivement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Pour le pyrolyseur : 1,11 kWh/ t OM</li> <li>o Pour la chaudière : 0,045 kWh/ t OM</li> <li>o Pour le traitement des fumées : 6,62 kWh/ t OM</li> </ul>
------------------------------------	--

<p><b>9- Aspects économiques et financiers</b></p>	<p>Le coût d'exploitation (net) est de l'ordre de 80 à 90 €/t (pour une unité de 1,7 t/h).</p>
--	--

<p><b>10- Stratégie commerciale</b></p>	<p>L'entreprise réfléchit aux développements possibles vers l'utilisation directe des gaz par des cimentiers (au moyen d'unités situées dans l'enceinte de la cimenterie), sachant que les cimentiers ont tendance à être saturés en CSR solide.</p>
---	--

<p><b>11- Contacts</b></p>	
<p>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</p>	<p>TPF-BASSE SAMBRE est un bureau d'engineering belge, membre du groupe TPF, spécialisé dans l'étude et la réalisation de projets industriels clé en mains et dans le domaine de la consultance internationale.</p> <p>Mr Thibaut – Directeur du Département Environnement.</p> <p>Place de la gare 13, B-5190 Moustier-sur-Sambre, Belgique. Tél : +32 (0)71 78 60 31</p> <p><a href="mailto:p.thibaut@tpf-bs.be">p.thibaut@tpf-bs.be</a></p>

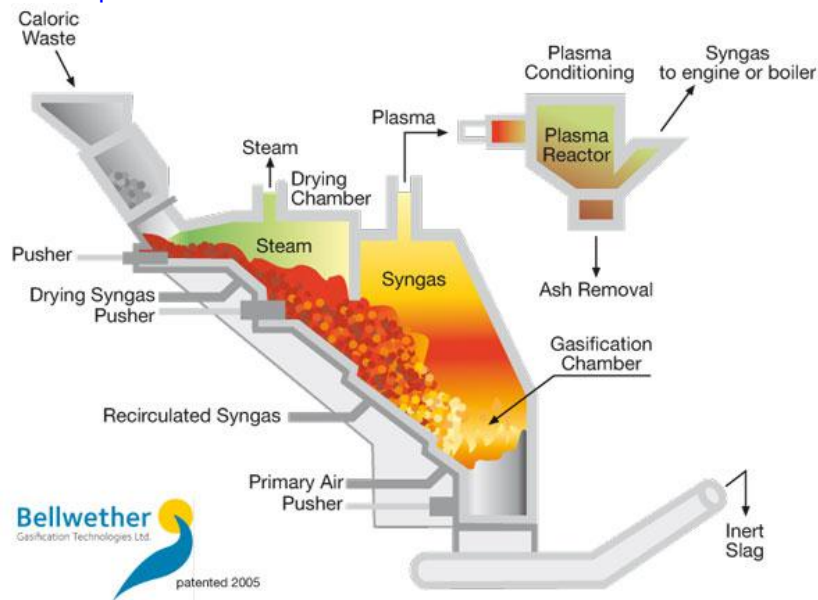
## 8 Bellwether (IMG)

<b>Procédé : IMG (gazéification)</b>
<b>Porteur du procédé : Bellwether (Allemagne)</b>

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
n.r L'entreprise revendique une référence industrielle en Roumanie, mais il n'a pas été possible de valider cette information.	n.r	n.r

1- Caractéristiques de base du procédé	
Principe et étapes du procédé	Gazéification multi-étagée, suivie d'un traitement du gaz de synthèse par plasma.  La technologie IMG permet de vitrifier le résidu solide.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	

- Schéma général du procédé



<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>L'entreprise revendique une référence à Brasov (Roumanie).</p> <p>Démarrage : décembre 2008.</p> <p>Capacité : 100 000 t/an.</p> <p>Client: Dunarea S.A.</p>

<b>Installations en construction ou en projet</b>	Aucune.
---	---------

<b>11- Contacts</b>	
<b>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</b>	<p>Bellwether Gasification Technologies Limited</p> <p>Eduard Maurer Strasse 13</p> <p>D-16761 Hennigsdorf</p> <p>Tél.: +49-(0) 3302 – 200134</p> <p>Fax: +49-(0) 3302 – 200167</p> <p>E-Mail: <a href="mailto:info@bgt-online.com">info@bgt-online.com</a></p> <p>Internet: <a href="http://www.bgt-online.com">www.bgt-online.com</a></p>

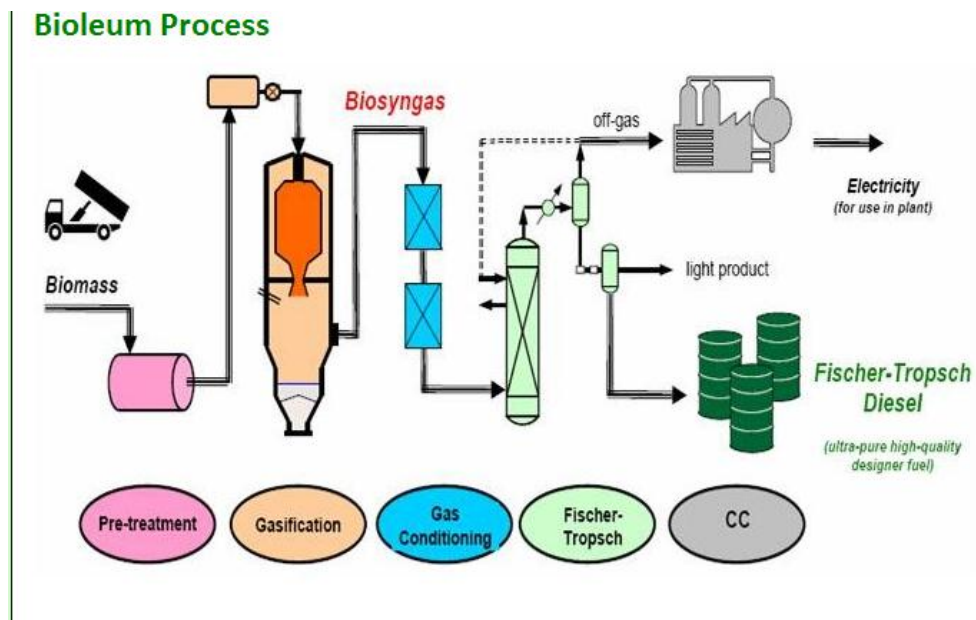
## 9 Bioleum

<b>Procédé : Bioleum (gazéification)</b>
<b>Porteur du procédé : SM Bioleum Resources (Inde)</b>

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Non spécifié	<p><b>Biomasse propre (résidus agricoles)</b></p> <p><b>Résidus industriels</b></p> <p><b>Déchets ménagers</b></p> <p><b>Boues de STEP</b></p>	<p><b>Electricité</b></p> <p><b>Carburant diesel</b></p>

1- Caractéristiques de base du procédé	
Principe et étapes du procédé	Gazéification suivie d'une synthèse Fischer & Tropsch.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	Système modulaire, destiné à équiper les zones rurales et les industriels recherchant une bonne flexibilité.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	Information non disponible.
Installations en construction ou en projet	Information non disponible.
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	Bioleum peut utiliser n'importe quel déchet organique : biomasse propre, résidus agricoles, résidus industriels, déchets ménagers, boues de STEP.
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Electricité ou carburant diesel.
Co-produits et résidus de fabrication	
<b>10- Stratégie commerciale</b>	Bioleum est une société de développement technologique qui s'est développée dans le cadre du « Science and Technology Park » de l'Université de Poona. Son développement est soutenu par le « Department of Science and Technology » indien.
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	17, Sarang Society, Pune, 411009, India CEO : Sachin Joshi <a href="mailto:sachin@bioleum.in">sachin@bioleum.in</a> CIO: Santosh Gondhalekar <a href="mailto:santosh@bioleum.in">santosh@bioleum.in</a>

## 10 Bio Oil

**Procédé : Bio Oil (pyrolyse)**

**Porteur du procédé : Bio Oil Holding NV (Pays-Bas)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Tous types de déchets organiques	<p>Huile utilisable soit comme combustible pour chaudières, soit comme carburant pour moteurs diesel lents après raffinage</p> <p>Gaz</p> <p>Résidu carboné</p>

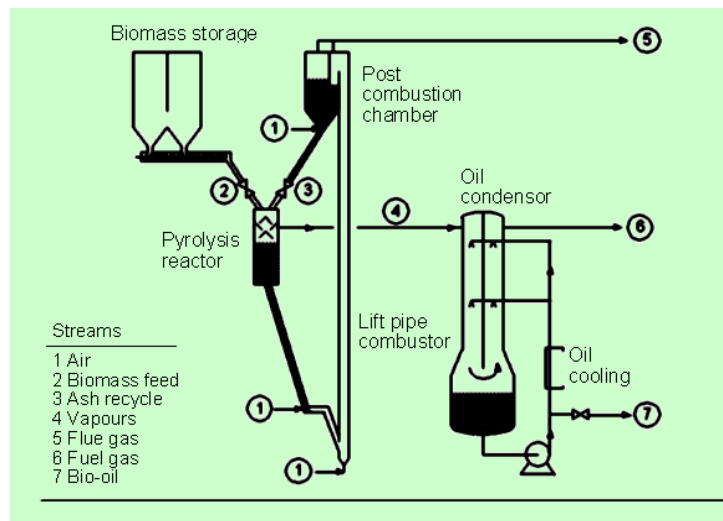
#### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Pyrolyse flash à 500-700°C en mélange avec du sable, en absence d'oxygène. Outre une huile, le procédé fabrique également un gaz et un résidu solide. Le gaz et l'huile sont refroidis. Le sable utilisé est éliminé avec le résidu solide, séparé puis réinjecté.</p> <p>1 tonne de déchet fournit 0,7 t d'huile, 0,15t de gaz et 0,15 t de résidu solide (carboné).</p> <p>Le résidu solide est utilisé pour fournir l'énergie nécessaire au procédé.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	



- Schéma général du procédé

Schéma du procédé du pilote de Tessenderlo (Belgique)



## 2- Références

<p><b>Installations en fonctionnement</b></p>	<p>Pilote de 1,5 t/h de déchets traités, à Tessenderlo. Tests effectués en coopération avec Caterpillar, pour des essais sur différents moteurs. Cette unité pilote va être déplacée vers le site de Brandenburg (Allemagne) car elle est pénalisée par sa situation en zone urbaine.</p>
<p><b>Installations en construction ou en projet</b></p>	<p>Un pilote de 5 t/h est en construction à Tessenderlo. Projet d'unité à Delftzij Accord récent pour la construction d'une unité en Chine.</p>

## 3- Caractéristiques des intrants

<p><b>Besoins de préparation de la charge</b></p>	<p>Au départ, Bio Oil a commencé par utiliser des déchets de biomasse propre (déchets de tournesol, de pâte à papier, de copeaux de bois...).</p> <p>Puis ils ont basculé vers différents types de déchets de biomasse, mélangés à des déchets plastiques. Les déchets de biomasse sont des déchets ménagers bruts, dont ont été éliminés les gros morceaux métalliques et les inertes, afin de ne pas endommager les systèmes à vis d'introduction de la charge.</p> <p>Tous types de déchets organiques, sous réserve d'être finement broyés.</p>
---	---

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Huile de pyrolyse: L'huile fabriquée est très acide (pH compris entre 2 et 3) et contient une forte proportion d'eau (30%) de cendres (10%). Son PCI est d'environ moitié de celui d'un carburant diesel automobile (voir tableau ci-dessous). Elle ne peut être utilisée comme combustible que dans des chaudières. Un raffinage ultérieur permet d'obtenir une qualité appropriée pour une utilisation dans des moteurs diesel lents (type moteur marin), hors période de démarrage du moteur.</p> <p>Gaz de synthèse.</p> <p>Résidu carboné solide (30% réutilisé par combustion pour les besoins du procédé).</p>
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>Table 1: Compared properties</b>	<b>Bio Oil</b>	<b>Light Fuel Oil</b>	<b>Heavy Fuel Oil</b>
Viscosity (centistokes) 50°C	7	4	50
Viscosity (centistokes) 80°C	4	2	41
Ash % by weight	<0.02	<0.01	0.03
Sulphur % by weight	Trace	0.15 to 0.5	0.5 to 3
Nitrogen % by weight	Trace	0	0.3
Pour Point °C	-33	-15	-18
Turbine NOx g/MJ	<0.7	1.4	N/A
Turbine SOx g/MJ	0	0.28	N/A

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Marinus van Stijn</p> <p>General Manager Bio-Oil-Holding nv</p> <p>Industrieterrein Ravenshout</p> <p>Zone 3 - nr 3154</p> <p>B-3980 Tessenderlo (Belgique)</p> <p>Tél: +32 89 567 037</p> <p><a href="mailto:info@bio-oil-holding.eu">info@bio-oil-holding.eu</a></p>

## 11 Bio 3d / Méthanation

**Procédé :** Pyrolyse, gazéification et méthanation

**Porteur du procédé :** Bio 3d / Méthanation (France)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	<p><b>Bois (biomasse propre)</b></p> <p><b>Pneus</b></p> <p><b>Boues de STEP</b></p> <p><b>Lisiers</b></p> <p><b>Farines animales</b></p> <p><b>Ordures ménagères</b></p> <p><b>Déchets spéciaux</b></p> <p><b>DIB</b></p> <p><b>Bois pollués</b></p> <p><b>Huiles de transformateurs ...</b></p>	<b>Méthane, hydrogène, gaz de synthèse, ...</b>

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Le procédé consiste à transformer des matières organiques carbonées humides en méthane de synthèse à haut rendement, avec les étapes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Séchage</li> <li>- Torréfaction</li> <li>- Pyrolyse</li> <li>- Gazéification</li> <li>- Méthanation.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	60 000 t/an de déchets (50% d'humidité sur masse brute).

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	Pilote laboratoire en fonctionnement, d'une capacité de 20 kg/h. Tests effectués d'abord sur de la biomasse propre, puis sur divers déchets de biomasse, dont des boues de STEP et des déchets provenant d'un sidérurgiste.
Installations en construction ou en projet	Démonstrateur d'environ 200 kg/h en construction.
<b>6- Bilan énergétique</b>	86% de rendement.
<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Deux brevets déposés et acquis.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Investissement : Environ 8 M€ pour 5 MWh électrique.
<b>10- Stratégie commerciale</b>	La société Méthanation a conclu une convention de licence avec Bio 3D, afin d'utiliser le brevet de Bio 3D pour développer un pilote industriel.  Méthanation prévoit de commercialiser ses premières unités industrielles à l'horizon 2013.
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Méthanation 5 rue d'Auteuil 75016 Paris Tél : 06 89 56 51 03 <a href="mailto:sebastien.roux.bio3d@gmail.com">sebastien.roux.bio3d@gmail.com</a>

## 12 Carbon Green

**Procédé : Pyrolyse**

**Porteur du procédé : Carbon Green (Slovaquie)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	Pneumatiques usagés	Fuel et noir de carbone

On dispose de très peu d'informations sur le procédé et sur l'unité en fonctionnement à Chypre.

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Broyage des pneus usagés. Pyrolyse Séparation.
Plage de capacité	10 000 t/an de pneumatiques usagés.

- Schéma général du procédé  
Non disponible

### 2- Références

Installations en fonctionnement	Une unité industrielle en fonctionnement à Chypre, depuis 2010.
---------------------------------	---

Installations en construction ou en projet

Carbon Green envisagerait de développer deux unités aux USA.

### 4- Caractéristiques des produits sortants

Produits gazeux ou liquides fabriqués	Selon Carbon Green, le produit solide fabriqué a été testé et reconnu conforme à la norme N660 du noir de carbone par la « Cooper-Standard Automotive ». La société aurait signé un contrat de fourniture de noir de carbone sur 20 ans avec un grand fabricant indonésien de produits à base d'élastomères.  Le gaz et l'huile produits sont en partie utilisés pour alimenter l'unité en électricité, tandis que l'excédent d'électricité est vendu à l'extérieur.
---------------------------------------	--

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Selon certains interlocuteurs, le coût d'investissement de l'unité de Limassol (Chypre) atteindrait 22 M\$ (environ 17 M€).
---	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Carbon Green</p> <p>John Novak (Président).</p> <p>10001 Woodloch Forest Drive, Suite 325</p> <p>The Woodlands, TX 77380</p> <p>United States</p> <p>Tél: 832-436-2710</p> <p><a href="http://www.carbongreennainc.com">www.carbongreennainc.com</a></p>

### 13 Climax Global Energy

**Procédé : Dépolymérisation thermique**

**Porteur du procédé : Climax Global Energy Inc. (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Déchets plastiques (PE, PET, HDPE, LDPE, PP, PS)	Huile

#### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Procédé de dépolymérisation par micro-ondes, à pression atmosphérique et environ 430°C.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	3 t/jour de déchets.

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

#### 2- Références

Installations en fonctionnement	Unité semi-commerciale d'une capacité de 3t/jour située en Caroline du sud (USA).
---------------------------------	---

Installations en construction ou en projet	Projet de construction d'une nouvelle ligne sur le même site.
--	---

#### 3- Caractéristiques des intrants

Besoins de préparation de la charge	Déchets plastiques propres.
-------------------------------------	-----------------------------

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Environ 75% du flux de sortie est composé d'une huile ayant les caractéristiques d'un pétrole brut.
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Contact: John Griffith</p> <p>450 Springfield Ave, Suite 201, Summit, NJ 07901</p> <p>Tél: (908) 277-2227</p> <p><a href="mailto:johngriffith@climaxglobalenergy.com">johngriffith@climaxglobalenergy.com</a></p> <p>Tél: 803-584-7035</p> <p><u>Autres dirigeants</u></p> <p>Mr. Omar Al-Midani (Chief Executive Officer)</p> <p>Mr. Travis W. Honeycutt (Founder)</p> <p>Mr. Thomas Pinto (Chief Operating Officer).</p> <p>Pas de représentant en France.</p>



## 14 Cynar / Sita

**Procédé : EPLD (End of Life Plastic to Diesel) (pyrolyse)**

**Porteur du procédé : Cynar plc (Grande Bretagne)**

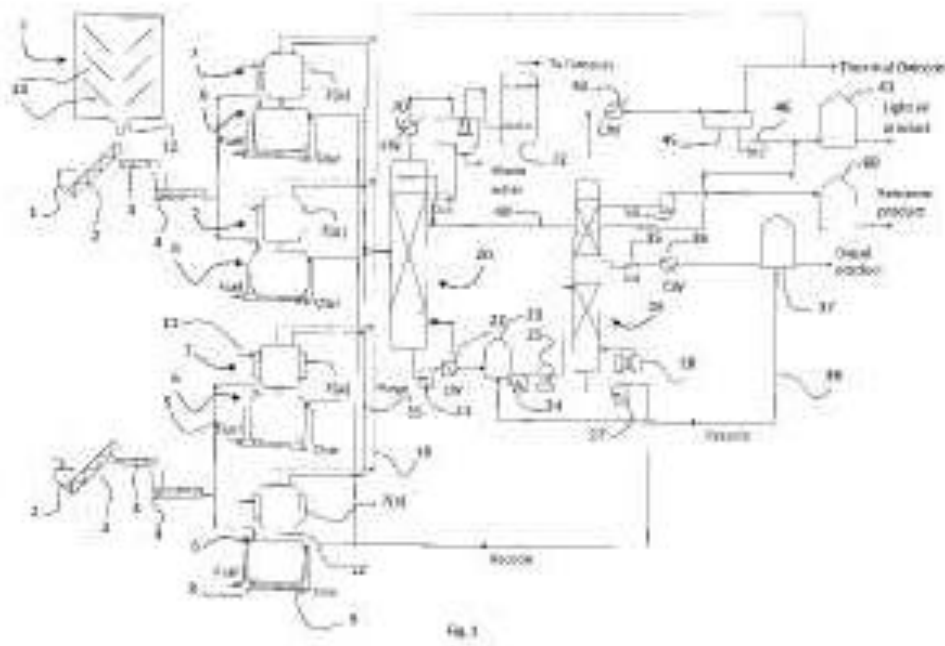
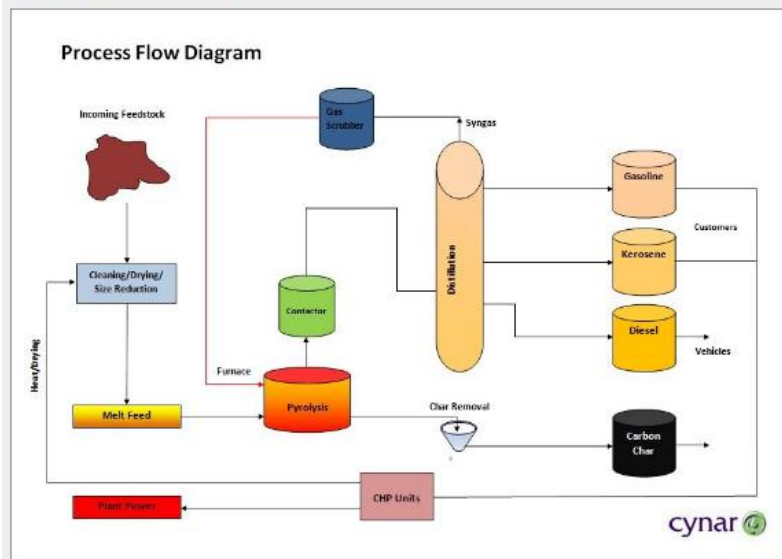
Degré de développement	Déchets traitées	Produits sortants
L'entreprise revendique un démonstrateur en exploitation.	Déchets plastiques	Carburant diesel

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Procédé en trois étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pyrolyse en continu à 370°C-420°C (les déchets non plastiques tombent au fond de la chambre de pyrolyse)</li> <li>- Condensation des gaz en un liquide similaire à un distillat pétrolier</li> <li>- Distillation</li> </ul> <p>L'un des aspects innovants du procédé est son aptitude à chauffer la charge uniformément et rapidement, ce qui permet un craquage homogène de la charge.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	Chaque module peut produire environ 19 m <sup>3</sup> /jour de carburant de qualité à partir de 20 tonnes de déchets plastiques, avec un taux de conversion de 95%. Cela correspond à une capacité de production de l'ordre de 6 000 t/an.

- Schéma général du procédé

Cynar ELP Technology - Process Flow Diagram



<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	Une unité industrielle ayant reçu toutes les autorisations nécessaires est en exploitation en Irlande.

Installations en construction ou en projet	<p>Plusieurs projets sont à l'étude, dont :</p> <p>Une unité à Avenmouth (Bristol – Grande-Bretagne). Capacité : 4,2 millions de litres de carburant diesel , à partir de 6 000 t/an de déchets plastiques. Déchets : plastiques triés (pots de yaourts, barquettes de viande..).</p> <p>Une unité de gazéification à Recovery Park. Capacité : 100 000 t/an. Déchets : bouteilles en plastique.</p>
--	--

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	Déchets plastiques mélangés.

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Sita UK revendique la production d'un carburant propre, dont la teneur en soufre est plus faible et dont l'indice de cétane est plus élevé que ceux du carburant diesel commercial, sans preuves analytiques ou certification à l'appui.
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Un accord d'exclusivité a été établi entre Sita (GB) et Cynar pour l'utilisation de la technologie Cynar de pyrolyse et de distillation. Un contrat exclusif a été signé pour la réalisation de 10 unités, pour une valeur estimée de 70M£</p> <p>Le fond d'investissement « Blue Orange » géré par le groupe Suez finance la construction des unités.</p> <p>Cynar a signé un accord de coopération avec la Loughborough University (GB) afin de poursuivre les travaux d'optimisation de la technologie Cynar et d'étendre ses applications à d'autres types de plastiques en fin de vie.</p>
----------------------------------	--

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Cynar plc            2nd Floor, Berkeley Square House, Berkeley Square, London W1J 6BD            Tél: +44 (0)207 8876130</p> <p><a href="mailto:info@cynarplc.com">info@cynarplc.com</a></p>
Coordonnées des exploitants ou des propriétaires des unités	<p>Sita UK (Maidenhead, GB)</p> <p><a href="http://www.sita.co.uk">www.sita.co.uk</a></p> <p>David Palmer-Jones, chief executive of SITA UK</p>

## 15 Deusa

**Procédé : Pyrolyse**

**Porteur du procédé : Deusa (Allemagne)**

La société Deusa a réalisé en 2005 une unité pilote de thermolyse des déchets plastiques. Cette unité n'a jamais fonctionné correctement, du fait d'importants problèmes au niveau de l'installation de lavage des gaz. Deusa considère qu'une révision complète de la conception serait nécessaire, pour un coût estimé de 10 M€. Le ministère allemand de l'environnement va financer le projet pour environ 2 M€. En novembre 2011, le financement n'était toujours pas bouclé.

Le procédé a été présenté à diverses conférences mais sans jamais de détails (type de réacteur...).

Deusa réalise des efforts pour faire fonctionner le procédé. Il faudra toutefois attendre la fin du projet pour pouvoir apprécier les performances réelles.

### 11- Contacts

Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France

Deusa International GmbH  
 Nordhaeuser Str. 2  
 99752 Bleicherode/Germany  
 Mr. Michael Pfeiffer, General Manager  
 michael.pfeiffer@deusa.de, tel. +49-36338-670

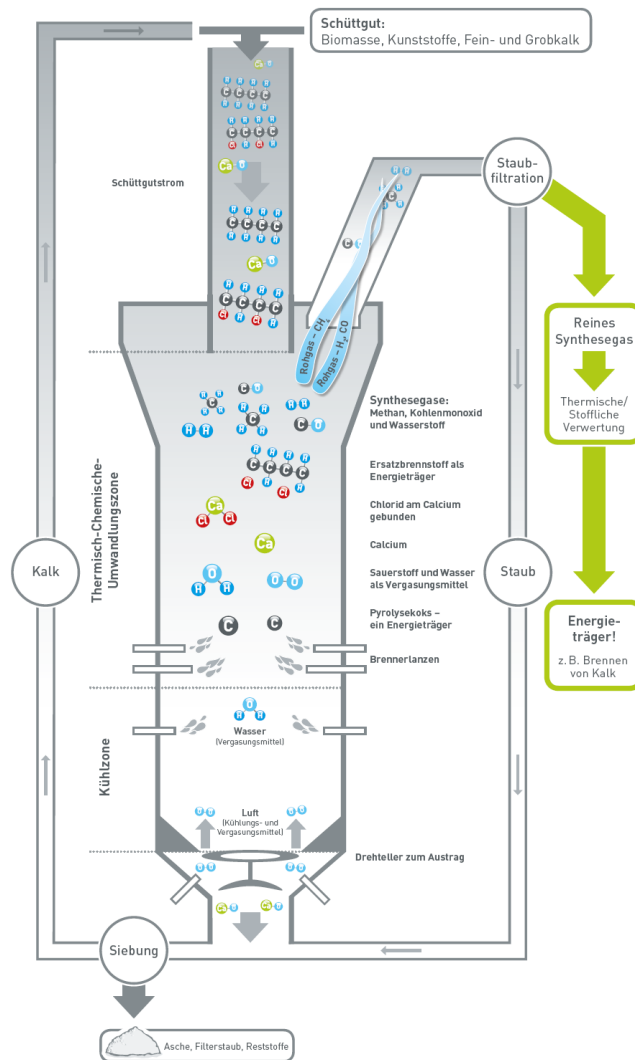
## 16 Ecoloop

<b>Procédé : Gazéification</b>
<b>Porteur du procédé : Ecoloop GmbH (Allemagne)</b>

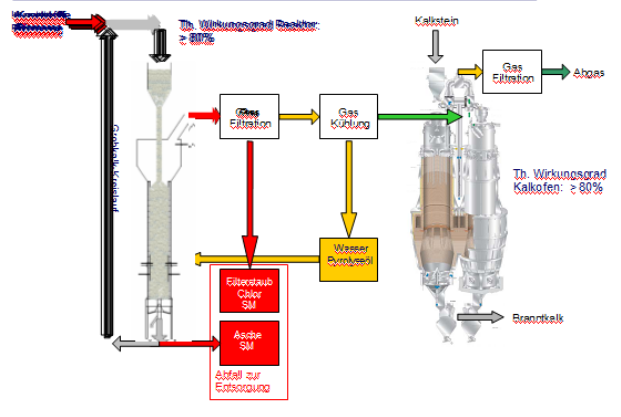
Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur en construction	Déchets plastiques, RDF, biomasse solide	Gaz de synthèse → électricité

1- Caractéristiques de base du procédé	
Principe et étapes du procédé	Gazéification à contre-courant, avec lit circulant. Filtration et refroidissement du syngas.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	35 à 40 000t/an, pour une production électrique de 32MW.

- Schéma général du procédé



**Grundzüge des Verfahrens**



<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	Aucune.
Installations en construction ou en projet	Démonstrateur de 32 MW en construction (prévu en février 2012).
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	PCI mini: 15 MJ/kg.
Déchets mélangés acceptés ?	Granulométrie: 2-8 cm
Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?	Teneur en chlore <10% si possible Additif: chaux (0,7t/h pour 4,5t/h de RDF traité).
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Syngas : CO: 16,3-24,5% H2: 13,3-19,9% CH4: 6,6-9,8% N2: 43-62% CO2: 1,1-1,7% PCI: 2,2-2,4kW/Nm <sup>3</sup> Utilisable partiellement dans le four à chaux et en minorité comme combustible pour moteur thermique.
Co-produits et résidus de fabrication	
<b>5- Déchets et effluents</b>	Pour l'unité de 32 MW en construction : - Cendres, poussières: 0,4t/h - Eaux usées: 0,3t/h
<b>6- Bilan énergétique</b>	Le procédé est quasi auto-thermique.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre



<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevet sur le type de réacteur et le réfractaire.
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Le procédé a été développé conjointement par Ecoloop GmbH et l'Université Technique de Clausthal.</p> <p>Les investissements sont autofinancés.</p> <p>Prévoit la vente de la licence et la participation aux études de base.</p>
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p><a href="mailto:roland.moeller@ecoloop.eu">roland.moeller@ecoloop.eu</a></p> <p>Kalkwerk Kaltes Tal, kaltes Tal 1a</p> <p>38875 Elbingerode (Allemagne)</p> <p>tel. +49-39454-58410</p> <p>Pas de contact en France.</p>

## 17 Eneria

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Eneria (France)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur	Bois vierge Bois usagé Boues de papeteries CSR	Gaz de synthèse purifié (transformé in situ en électricité et chaleur)

## 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	En sortie de gazéifieur, le gaz est purifié (élimination des goudrons par craquage thermique à haute-température) et filtrage des huiles, puis envoyé vers un moteur thermique couplé pour produire de l'électricité.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	1 à 6 MWe (8 000 à 50 000 t/an de déchets traités).

- Schéma général du procédé  
Non disponible

## 2- Références

Installations en fonctionnement	Eneria a démarré en 2006 une « Plateforme Mutualisée pour l'Innovation » (PFMI) à Moissannes (à coté de Limoges) afin de tester des déchets divers de biomasse pour le compte d'industriels ayant des projets (fonderies, papeteries, CEA...).
	Capacité : 1 t/h de déchet (soit 1 MWe).
Installations en construction ou en projet	Projet en Haute-Loire. La chaleur excédentaire issue de la gazéification est utilisée pour déshydrater de la luzerne (ou de l'argile pour la litière pour chats).

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	<p>La composition du gaz fabriqué n'est pas adaptée à une synthèse Fischer et Tropsch en aval.</p> <p>Pas de déchets mélangés.</p> <p>Pas de déchets biomasse / non biomasse en mélange.</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Le gaz produit ne peut pas être racheté par EDF car il est beaucoup trop pauvre en méthane.</p> <p>Possibilité d'implanter l'unité sur le site d'un industriel (cimentier...) pour combustion dans l'installation.</p>
Co-produits et résidus de fabrication	
<b>6- Bilan énergétique</b>	
	<p>Le rendement électrique est de 25 à 26% (37% pour le rendement du moteur thermique).</p> <p>Le rendement global dans le cas où on récupère la chaleur pour déshydrater (luzerne..) est proche de 80%.</p>
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	
	<p>Plateforme mutualisée de Moissannes : 14 M€</p> <p>Investissement moyen : 4 à 5000 €/kW installé, selon la capacité (une unité de 1 MW coûte environ 5 M€).</p>
<b>10- Business model</b>	
	<p>Eneria conçoit, réalise, conduit et maintient des centrales produisant l'électricité à partir de la gazéification de la biomasse.</p> <p>L'objectif d'ENERIA est de développer un procédé simple, robuste et exportable, pouvant utiliser les déchets les moins chers possibles.</p> <p>Supervision d'unités clés en main, en partenariat avec des sociétés d'ingénierie (royalties sur la vente).</p> <p>ENERIA et XYLOWATT développent en partenariat les marchés belge et français de la cogénération biomasse, dans une gamme de puissance comprise entre 1 et 5 MWe.</p>

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Eneria : 6 Rue Longpont 91310 Monthéry Tél : 01 69 80 22 55 Thierry FICHEUX (resp. « Eneria renouvelables ») <a href="mailto:tficheux@eneria.com">tficheux@eneria.com</a> Patrick DUCHE (ingénieur projets spéciaux) <a href="mailto:pduche@eneria.com">pduche@eneria.com</a> David MOURRE <a href="mailto:dmourre@eneria.com">dmourre@eneria.com</a>

## 18 Enerkem (Biosyn)

**Procédé : Biosyn (gazéification + conversion catalytique)**

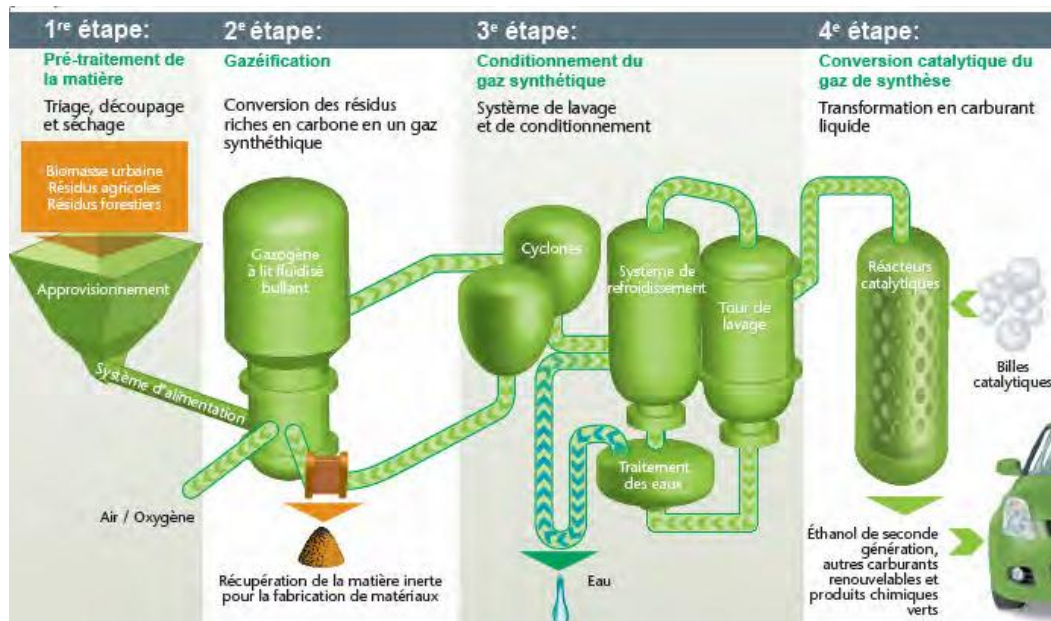
**Porteur du procédé : Enerkem (Canada)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur (2009)  Unité industrielle (en construction)	Déchets de biomasse propre, déchets plastiques, papier, bois traité (créozote), déchets ménagers, emballages de distribution, RDF, CSR, déchets de cantines, déchets des industries agro-alimentaires, déchets verts humides, pneus, liqueur noire, boues de STEP, déjections de poulaillers, RBA.	Méthanol  Ethanol

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Porteur du projet ou du procédé	Enerkem
Etapes du procédé	<p>Le procédé comprend trois sections distinctes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gazéification (réacteur à lit fluidisé bouillonnant, environ 700°C, 5 atm) + nettoyage du gaz de synthèse</li> <li>- Synthèse de l'éthanol : deux réacteurs de conversion catalytique (carbonylation et hydrogénolyse) + sept colonnes de purification + section de séparation des gaz.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs)	<p>Design modulaire.</p> <p>Une unité industrielle est basée sur un volume annuel de 100000t/an de matières premières et 36000m<sup>3</sup>/an d'éthanol. Pas de limite supérieure de capacité. En pratique, selon le taux d'humidité de la charge, cela correspond à un tonnage réel de déchets de 150 à 200000 t/an.</p>

- Schéma général du procédé



## 2- Références

### 2A- Installations en fonctionnement

Un démonstrateur fonctionne depuis 2009 avec une production de 5000m<sup>3</sup>/an d'éthanol. Tests effectués avec des déchets de biomasse propre, déchets plastiques, papier, bois traité (créozote), déchets ménagers, emballages de distribution, RDF, CSR.

Un pilote fonctionne depuis 2003 avec des déchets de cantines, déchets des industries agro-alimentaires, déchets verts humides, pneus, liqueur noire, boues de STEP, déjections de poulaillers, RBA.

### 2B- Installations en construction ou en projet

2012 : Unité commerciale à Westbury (Québec), d'une capacité d'environ 40 t/jour de déchets traités, soit 5000m<sup>3</sup>/an de méthanol et d'éthanol.

Unité industrielle en construction à Edmonton (Alberta), d'une capacité de 36000m<sup>3</sup>/an d'éthanol carburant. Le démarrage est anticipé prochainement. Fonctionne sur des refus de tri de déchets municipaux, industriels et commerciaux.

Unité industrielle en projet dans la région de Montréal (Québec) (demande de permis en cours).

Unité industrielle en projet dans l'état du Mississippi (USA) (demande de permis en cours)

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	<p>Selon la nature des déchets, il faut prévoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Un séchage partiel au moyen de la chaleur de récupération (le taux d'humidité des déchets entrants doit être d'environ 20%)</li> <li>✓ Un tri éventuel des PVC, métaux, verres, inertes...</li> <li>✓ Un broyage (granulométrie : morceaux de 3cm au maximum).</li> </ul>
(La charge peut-elle être constituée de plusieurs types de déchets mélangés ?	Le procédé accepte tous les types de déchets dès lors que la teneur en carbone est suffisante. Il est possible de changer de type de déchet d'une benne à l'autre.
La charge doit-elle (ou peut-elle) être constituée d'un mélange de déchets biomasse et non biomasse ?	Oui

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Composition des produits gazeux ou liquides fabriqués / classification réglementaire / classification douanière	<p>Gaz de synthèse: H<sub>2</sub> : 2-10%; CO : 12-30%; CO<sub>2</sub>: 16-30%; N<sub>2</sub> : 30-55%</p> <p>Méthanol (CAS 67-56-1) et éthanol (CAS 64-17-5)</p>
Nature et quantités de coproduits et de résidus de fabrication	Résidu pulvérulent (combustible d'appoint pour cimenterie) et résidus granuleux (matériau de construction). Le volume des résidus se situe entre 10 et 15% du poids des matières premières entrantes.

<b>5- Impact environnemental</b>	
Nature, quantités et destinations des déchets et effluents émis par le procédé	n.c

<b>6- Bilan énergétique</b>	
Bilan énergétique	<p>Récupération de la chaleur du gaz de synthèse pour le séchage des matières premières.</p> <p>Processus auto-thermique.</p> <p>Des apports d'oxygène, d'électricité et d'eau sont nécessaires.</p> <p>Du gaz naturel est requis lors du démarrage de l'unité de gazéification pour préchauffer l'équipement et la tuyauterie. Le procédé utilise également de l'électricité pour alimenter les compresseurs et les pompes qui fonctionnent à différents stades du processus.</p>

**7- Contraintes et limites du procédé**

Inconnues liées au passage à l'échelle industrielle, flexibilité par rapport aux variations de la charge, freins administratifs ou réglementaires

Enerkem n'a pas rencontré de contraintes ou de limites lors du passage de l'échelle pilote à l'échelle de démonstration.

**8- Niveau de propriété industrielle****9- Aspects économiques et financiers**

Coût d'investissement : environ 60-75M€ (base : 1€ = 1,35 US\$) pour une unité de production de 36000m<sup>3</sup>/an d'éthanol. Ce coût ne comprend pas l'installation de pré-traitement éventuellement nécessaire.

**10- Stratégie commerciale**

Enerkem est une société privée, dont Waste Management et Valero (Ultramar) sont actionnaires.  
Offre basée sur des contrats « Build, Own and Operate ».

**11- Contact(s)**

Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France

Pas de représentant en Europe.

Coordonnées de l'exploitant (ou des exploitants) ou du (des) propriétaires (s) des unités



## 19 Envion

**Procédé : Envion Oil Generator™ (Dépolymérisation thermique)**

**Porteur du procédé : Envion (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur (statut incertain)	Déchets plastiques	Huile

## 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Dépolymérisation thermique de déchets plastiques à basse température et sous vide.</p> <p>Pas d'utilisation de catalyseur.</p> <p>Le réacteur utilise un système de chauffage par infrarouge qui convertit le plastique en huile.</p> <p>Le procédé peut fonctionner en continu ou en mode séquentiel. L'absence de formation de coke dans le réacteur permet d'opérer l'unité sur des périodes prolongées, avec des temps d'arrêt courts.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Système modulaire. L'unité est montée sur une plateforme mobile de 14,3 m sur 4 m. L'augmentation de capacité nécessite seulement l'installation de réacteurs supplémentaires. Un module Envion permet de traiter jusqu'à 10 000 tonnes de déchets plastiques par an.</p> <p>Un module Envion est capable de produire de 3 à 5 barils de pétrole raffiné par tonne de déchet plastique.</p>

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>Unité de démonstration à Montgomery County (USA)</p> <p>Capacité: 3000 t/an.</p> <p>Il était prévu de déplacer l'unité fin 2011, mais la compagnie ne connaît pas encore la nouvelle localisation.</p> <p>Déchets testés : bouteilles de sodas en plastiques, pots de crème vides et les grands gobelets de type « Big Gulp ». Les polymères suivants sont acceptés : PET,PEBD, PEBDL, PP, PS, PVC, PSE, PA...</p> <p>Un prototype utilisant des anciennes versions de la technologie de la société était en opération en Corée mais a été démantelé</p>
<b>Installations en construction ou en projet</b>	Aucune.
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<b>Besoins de préparation de la charge</b>	Aucune opération manuelle de tri préalable n'est nécessaire, ni de nettoyage et de séchage.
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Huile légère émulsionnée, pouvant faire l'objet d'un raffinage pour produire des carburants commerciaux (essence, kérosène, jet fioul, diesel).</p> <p>La composition du produit est équivalente à 70% de pétrole brut à faible teneur en soufre et &lt;1% de sédiments, et 15% de gaz naturel.</p> <p>L'huile peut-être transformée en carburant commercial (essence, kérosène, carburant pour l'aviation et gazole) par traitement aval. Cette valorisation n'est toutefois pas mise en œuvre concrètement par un client ou par Envion.</p>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	<p>Deux sous-produits :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- résidus plastique, transformés en émulsion de pétrole lourd</li> <li>- gaz évacués, recyclés au sein d'une unité de production d'électricité.</li> </ul> <p>Ces deux sous-produits permettent de fabriquer de l'électricité.</p>

<b>5- Déchets et effluents</b>	Emissions en totale conformité avec les normes de l'EPA.
<b>6- Bilan énergétique</b>	Le rendement thermique est potentiellement > 80%.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	<p>La future version de 10 000 t/an de capacité permettra de produire jusqu'à 60 000 barils avec un coût de construction de 6 à 7 million de dollars.</p> <p>Le coût de transformation des déchets plastiques en huile est d'environ 10\$ par baril (actuellement le pétrole brut se vend 70\$ le baril).</p>
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Création de la société en 2002.</p> <p>La société est financée par la famille Han -ancien banquier d'affaire qui travaillait avec Lehmann Brothers depuis plus d'une décennie- ainsi que par des « Business angels». Envion emploie actuellement 46 salariés.</p> <p>La famille Han est composée essentiellement d'ingénieurs. La technologie Envion a été initialement conçue par son oncle, qui vit en Corée et en Chine.</p> <p>Envion souhaite céder sa licence sur cette technologie à des municipalités, d'abord aux USA, puis dans d'autres pays.</p>
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Tél: +1 202 965 5030</p> <p>info@envion.com <a href="mailto:pgoco@envion.com">pgoco@envion.com</a></p>

## 20 Envirotherm

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Envirotherm GmbH (Allemagne)**

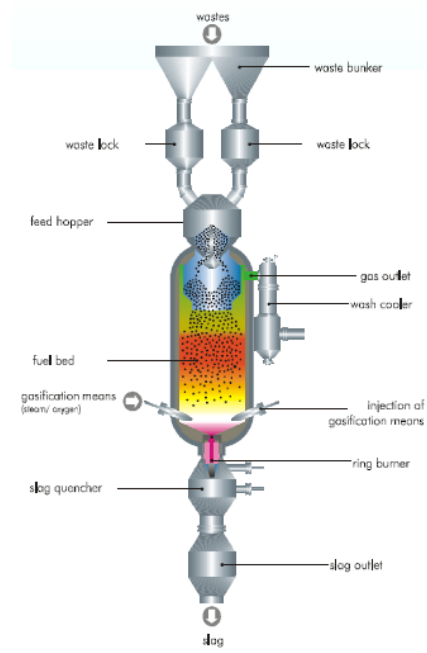
Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	RDF, bois contaminé, boues de STEP, effluents de papeteries	Gaz de synthèse → Fours de cimenteries, chaudières

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification air/vapeur à lit fluidisé atmosphérique circulant (CFB).</p> <p>Pression: &lt; 1.5 bar</p> <p>Température du lit fluidisé: 800-950°C.</p> <p>Après passage dans le réacteur, le gaz de synthèse est refroidi puis nettoyé par passage dans un cyclone.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Jusqu'à 500 t/j de déchets (100 MWe).</p> <p>L'application du procédé à des capacités plus faibles correspondant aux besoins des collectivités locales est possible (6-10MW électrique/30MW thermique).</p>

- Schéma général du procédé

**Lurgi Gasifier BGL**



**British Gas - Lurgi Gasification (BGL)**

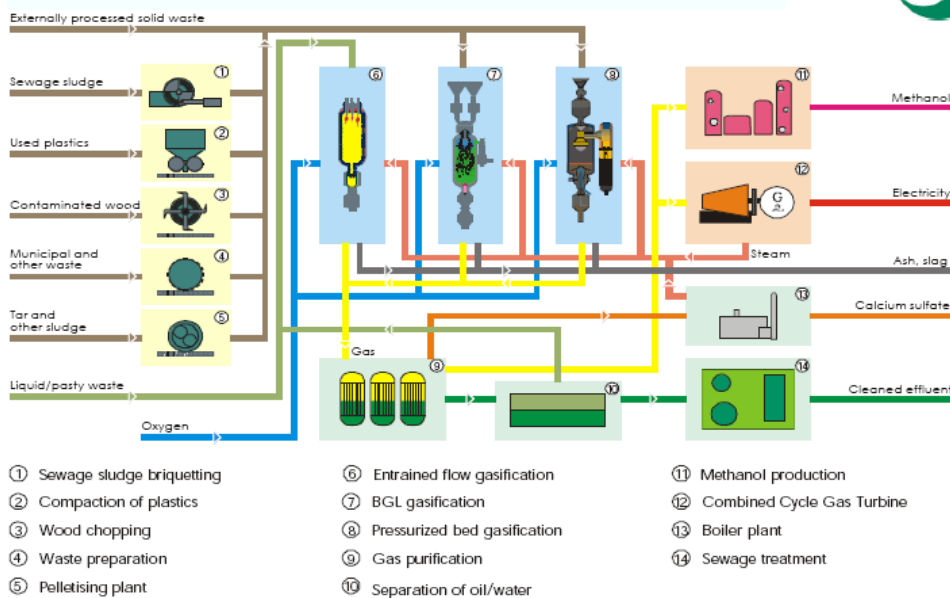
**System datas**

- Diameter 3.6 m
- Pressure 25 bar
- Double jacket water cooled
- Inlet of gasification mean by jets
- Fluid slag outlet with quenching system

**Operation datas**

- Throughput 35 t/h
- Series of input 6 - 9 /h
- Gas quantity 35,000 Nm<sup>3</sup>/hr
- Temperature 1,600 °C
- Oxygen 6,000 Nm<sup>3</sup>/hr
- Steam 6-9 t/hr
- Slag ≤ 7.5 t/hr
- Gas outlet 500-700 °C
- temperature after scrubbing < 200 °C

**Treatment of solid and liquid waste**



<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>Cimenterie de Rudersdorf (Allemagne). Le gaz de synthèse est injecté dans le précalcinateur.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité: 25t/h, 100MW<sub>thermique</sub></li> <li>- Démarrage: 1996</li> <li>- Diamètre du réacteur: 3,5 m; hauteur: 23,5m.</li> </ul> <p>Geertruidenberg (Pays-Bas). Le gaz de synthèse est utilisé pour alimenter une chaudière.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déchets: Bois classe B</li> <li>- Capacité : 21t/h</li> <li>- Démarrage: 2000</li> <li>- Production: 50,000m<sup>3</sup>/h de gaz de synthèse.</li> </ul>
<b>Installations en construction ou en projet</b>	Non
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<b>Besoins de préparation de la charge</b>	<p>Teneur limite en chlore : 1%.</p> <p>Déchets mélangés acceptés (par exemple mélange papier / RDF, boues de STEP).</p> <p>Le procédé accepte sans limites les mélanges de déchets biomasse et non biomasse.</p> <p>Autres intrants : sable (lit fluidisé), dolomite (désulfuration).</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	Le gaz sortant doit être traité pour pouvoir être utilisé dans un moteur thermique.
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	Les cendres de fond de réacteur peuvent être utilisées comme matériau de construction.
<b>5- Déchets et effluents</b>	
	Les eaux résiduaires doivent être nettoyées lorsqu'on utilise certains procédés de lavage du gaz.

<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Envirotherm GmbH a récupéré les brevets de Lurgi.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Investissement: 10 à 25 M€, selon les installations nécessaires de pré-traitement, de traitement des effluents gazeux et de lavage du gaz de synthèse.
<b>10- Business model</b>	Enginnering détaillé, construction et supervision.
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Envirotherm GmbH</p> <p>Mr. Hansjobst Hirschfelder</p> <p>Ruhrallee 185</p> <p>45136 Essen (Allemagne)</p> <p>tel. +49-201-6346-604</p> <p>email <a href="mailto:hansjobst.hirschfelder@envirotherm.de">hansjobst.hirschfelder@envirotherm.de</a></p> <p>Pas de contact en France.</p>
Coordonnées des exploitants ou des propriétaires des unités	<p>CEMEX Ruedersdorf/Germany Frankfurter Chausse, 15558</p> <p>Rudersdorf tel. +49-33638-540</p> <p>RWE-Essent Geertruidenberg Amerweg, 4931 NC</p> <p>Geertruidenberg tel. +31-88-8511000</p>

## 21 Europlasma (CHO Power)

**Procédé :** « CHO Power » (gazéification + torche à plasma)

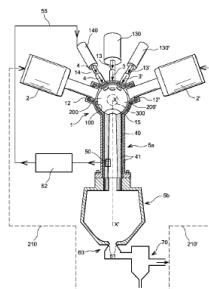
**Porteur du procédé :** Europlasma (France)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur (en construction)	Refus de tri de DIB Bois	Gaz de synthèse → électricité

### 1- Caractéristiques de base du procédé

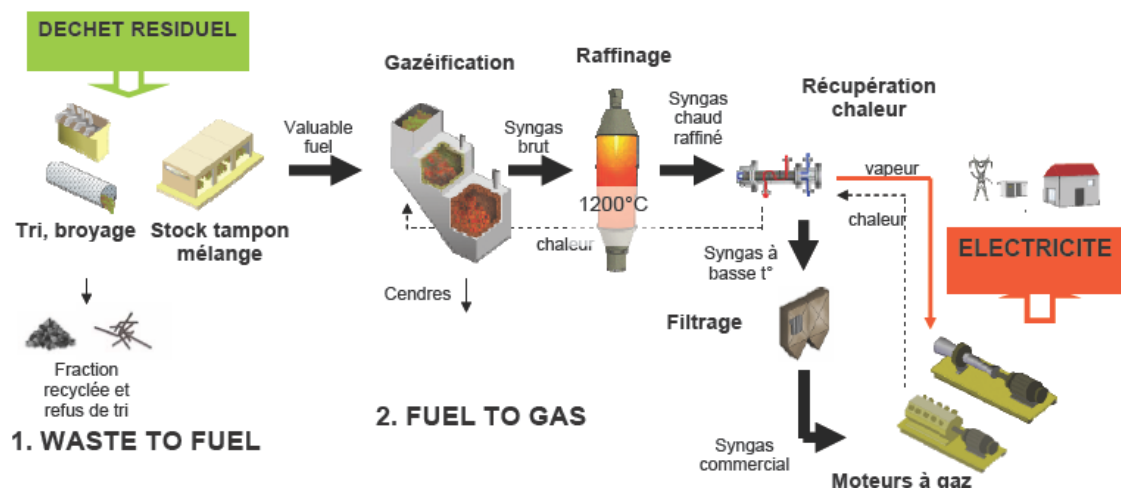
Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification des déchets assistée par des torches à plasma.</p> <p>Après gazéification, le gaz produit est envoyé dans un réacteur vertical à flux descendant muni d'une torche de 2 MW. Une petite partie du gaz brûle dans le flux d'air apporté en partie par la torche, ce qui contribue à augmenter la température tout en limitant la puissance délivrée par la torche à 1,4 MW.</p> <p>On obtient un gaz pouvant être utilisé dans un moteur ou une turbine à gaz dans le but de produire de l'électricité.</p> <p>Le résidu solide est également soumis à une torche à plasma afin de le vitrifier, ce qui le transforme en un matériau inerte et compact pouvant être réutilisé, entre autres dans la construction de routes.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	55 000 tonnes/an.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre





2- Références	
Installations en fonctionnement	Par le passé, Europlasma a acquis de l'expérience en matière de gazéification, en exploitant une torche installée sur la plateforme d'essai de la société Eneria à Moissannes (Limousin).
Installations en construction ou en projet	<p>Europlasma a lancé la construction de sa première unité semi-industrielle à Morcenx (Landes) en décembre 2010.</p> <p>Mise en opération de l'usine prévue pour mi-2012.</p> <p>Capacité de l'installation : 55 000 t/an</p> <p>Puissance : 12 MW</p> <p>Déchets utilisés : refus de tri de DIB et de bois.</p>

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	Les déchets sont broyés à une granulométrie de 6 x 6 cm et le flux est soigneusement homogénéisé.
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Syngas chaud riche en CO et H <sub>2</sub> et chargé en goudrons + vitrifiat inerte.
Co-produits et résidus de fabrication	Les goudrons peuvent être « craqués » tout en maximisant la quantité de gaz de synthèse produite. Ce gaz ainsi épuré peut être utilisé pour produire de l'électricité par moteur à gaz ou pour d'autres valorisations énergétiques ou chimiques.
<b>6- Bilan énergétique</b>	
	Les rendements énergétiques annoncés résultent d'un calcul théorique. Ils sont caractéristiques d'une installation parfaitement réglée. Les principaux rendements par rapport à l'énergie des déchets sont les suivants : '- Gazéificateur : supérieur à 95 % '- Avant entrée dans les moteurs : 77 % '- Energie électrique avec moteur seul : 28 % '- Energie électrique avec moteur et turbine à vapeur : 33 %
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	
	Brevet: BR PI0617386 (A2) / BR PI0617386 (A2) (26/07/2011)
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	
	Investissement pour l'usine de Morcenx : 40 millions d'euros.  Une analyse des consultants du cabinet SCS pour l'implantation d'une usine en Iowa aux Etats-Unis permet d'estimer le coût de construction à 77 dollars par tonne de déchets traités.  Europlasma a signé un tarif de rachat à 12,5 c€/kWh avec EDF, ainsi qu'une obligation de rachat sur vingt ans. Ce tarif de rachat représente plus du double de celui des unités d'incinération et devrait permettre à la technologie d'être rentable.

<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Europlasma a signé des accords-cadres avec Véolia et Sita, entreprises responsables de la collecte et du tri.</p> <p>Le projet CHO Power consiste à proposer une usine complète aux collectivités locales. Dans un premier temps, les actionnaires ont décidé de financer la construction d'une unité industrielle sur le site de Morcenx. Une fois l'installation mise au point avec des refus de tri de DIB et de bois, Europlasma prévoit d'appliquer le procédé au traitement d'autres types de déchets dont les DMA.</p> <p>Europlasma a décidé de sauter l'étape de l'installation pilote. Les risques de l'investissement industriel sont relativement limités par des spécifications d'entrée des déchets assez restrictives.</p>
----------------------------------	--

<b>11- Contacts</b>	
<p>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</p>	<p>Europlasma</p> <p>21 rue Daugère</p> <p>33 520 Bruges - France</p> <p>Tél : + 33 (0)5 56 49 70 00</p> <p>Contact: Marc Lefour (directeur commercial)</p> <p><a href="mailto:mlefour@europlasma.fr">mlefour@europlasma.fr</a></p> <p>Tél : 05 56 74 73 75.</p>

## 22 Finaxo (Pyrobio)

**Procédé : Pyrobio (pyro-gazéification)**

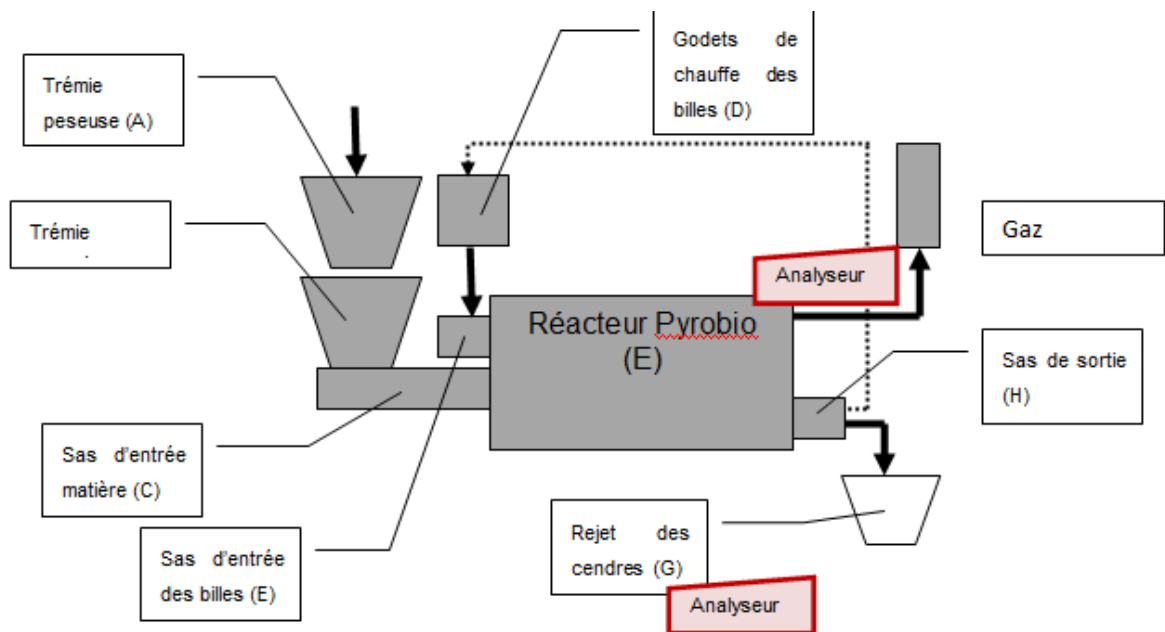
**Porteur du procédé : Finaxo**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	<p><b>Pneus</b></p> <p><b>Boues de STEP</b></p> <p><b>Bois</b></p> <p><b>Farines animales</b></p> <p><b>Vinasses</b></p> <p><b>Refus de tri déchets domestiques</b></p>	<p><b>Gaz → vapeur/chaueur</b></p> <p><b>Electricité</b></p>

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>L'originalité du procédé réside dans l'utilisation d'un media caloporteur circulant en boucle, constitué de billes d'acier inox (+/- 20mm de diamètre) préchauffées à haute température. L'avantage principal est la faible consommation d'énergie, ainsi que la faible proportion de cendres en sortie.</p> <p>Une phase de pyrolyse flash (entre 600° et 1000°) réalise une première transformation suivie d'une phase gazéification. Le gaz est extrait du four et les cendres se déposent dans un réceptacle. Le procédé complet prend entre 12 et 15 min.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Système modulaire de 1 à 100 t/j de déchets.</p> <p>Plusieurs systèmes peuvent être regroupés pour créer de grands systèmes.</p>

• Schéma général du procédé



**2- Références**

Installations en fonctionnement	Depuis 2010, un pilote de 1t/h est opérationnel chez Finaxo.
Installations en construction ou en projet	<p>Finaxo va démarrer en février 2012 l'exploitation d'un pilote industriel sur le site de la station d'épuration de Fismes, pouvant traiter 250 kg/h de boues de STEP.</p> <p>Finaxo vient de signer commande pour deux unités de traitement de vieux pneus en Belgique chez WEA, pour alimenter une centrale électrique par deux Pyrobio. Capacité de traitement : 2 t/h Le choix de la technologie concernant la valorisation énergétique n'ayant pas encore été arrêté par le client final les fours sont en attente de lancement.</p> <p>Un projet de 4MW a été signé avec une société agricole du sud de l'Italie. Une première phase de 500 kg/h est en cours de développement. L'installation traitera des résidus de bois, des résidus de la production d'huile d'olives et d'autres biomasses agricoles.</p>

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	<p>Les intrants doivent avoir une dimension de +/- 15mm mais n'ont pas besoin de traitement particulier (ni nettoyage, ni traitement chimique). Bien que PYROBIO puisse traiter des matières ayant jusqu'à 50% d'humidité il est préférable d'utiliser un degré d'humidité de moins de 30%.</p> <p>Le mélange de déchets est possible mais pourra avoir un effet sur la composition du Syngaz et rendre plus complexe sa transformation en électricité.</p> <p>Pas d'additif nécessaire.</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Production de syngas.</p> <p>La composition du gaz variera selon la composition de l'intrant, la température et la présence d'eau.</p> <p>Actuellement, tous les projets sont destinés à produire de l'électricité ou de la vapeur.</p>
Co-produits et résidus de fabrication	<p>La part de carbone non transformé ne devrait pas dépasser 10%.</p> <p>FINAXO travaille en ce moment à l'utilisation des cendres dans d'autres filières métallurgique, agricoles.</p>
<b>5- Déchets et effluents</b>	
	<p>La composition des cendres varie selon la matière entrante.</p> <p>Le gaz est produit sans présence d'oxygène ce qui évite la production de dioxine et permet la production d'un gaz ayant très peu de polluant. Lors de la combustion du gaz la presque totalité des composants volatile et autres polluants est détruite et leurs composants sont très en deçà des normes Européennes.</p>
<b>6- Bilan énergétique</b>	
	<p>L'apport énergétique nécessaire correspond à une consommation de +/- 10% de la production de gaz (peut être remplacé par du gaz naturel ou de l'électricité).</p> <p>Rendement énergétique : de 800KWh à 2,5MWh par tonne de matière.</p>

<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	<p>Le traitement des OMR est un problème complexe. Les tentatives aux USA pour produire de l'huile à partir de MSW il y a quelques années par distillation destructrice ont échouées. Il se forme des goudrons.</p> <p>Tous les gaz de synthèse fabriqués se trouvent confrontés au problème de l'utilisation de moteur pour la production d'électricité car la présence des goudrons oblige au lavage du gaz. FINAXO travaille à une solution moteur qui permettra de consommer le gaz à haute température +/- 400° ce qui évite de laver les gaz.</p>
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevets déposés dans plusieurs pays.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	<p>Le coût d'une installation type d'une tonne heure est de +/- 2M€ pour la partie production du gaz. Selon la performance recherchée pour la production électrique le coût du matériel avl sera très variable de 800,000€ à 3M€ le MWh. Ces coûts diminuent fortement sur de grosse exploitation.</p> <p>Le coût de la production du Kwh électrique est de 0,06€ à 0,18€ selon l'intrant.</p>
<b>10- Stratégie commerciale</b>	
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Finaxo Environnement</p> <p>Pascal Colignon</p> <p>Tél : 06 07 54 94 51 / 03 26 48 01 47</p> <p><a href="mailto:pascalcolignon@finaxo.fr">pascalcolignon@finaxo.fr</a></p>

## 23 Global Clean Energy

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Global Clean Energy Inc. (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Déchets plastiques Déchets municipaux Herbe Bois usagé	Non spécifié

Schéma général du procédé

Non disponible.

### 2- Références

Installations en fonctionnement	<p>Une unité fonctionne depuis décembre 2009 sur un site de la ville de Salaberry-de-Valleyfield (Québec). Des tests ont été effectués pendant 5 mois entre mars et juillet 2010, avec charbon, déchets plastiques, déchets municipaux, herbe et bois usagé.</p> <p>Cette unité est mise à disposition d'industriels souhaitant tester leurs déchets.</p>
---------------------------------	---

Installations en construction ou en projet	L'objectif est de construire rapidement une unité pilote de 20-25 t/jour.
--	---

10- Stratégie commerciale	GCE voudrait acquérir des technologies innovantes et mettre à profit son réseau de clients pour développer des projets.
---------------------------	---

### 11- Contacts

Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Global Clean Energy, Inc. 1241 South Parker Rd, Suite #201 Denver, Colorado 80231 Tél: 303.522.8449 Bureaux à Houston (Texas) et Montréal (Canada).</p>
---	--

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre



## 24 InEnTec (USA) / S4 Energy Solutions (Plasma Enhanced Melter)

**Procédé : PEM (Plasma Enhanced Melter) - Gazéification**

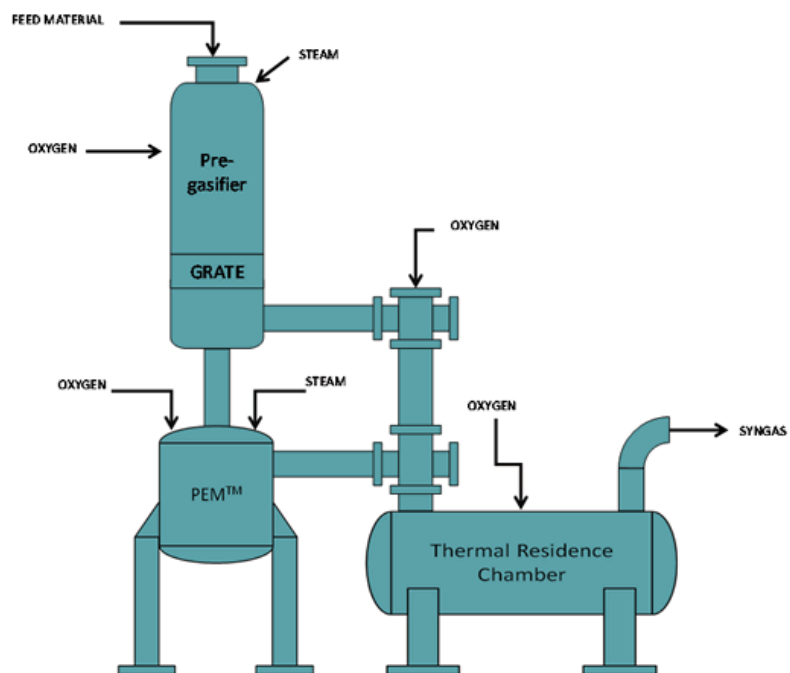
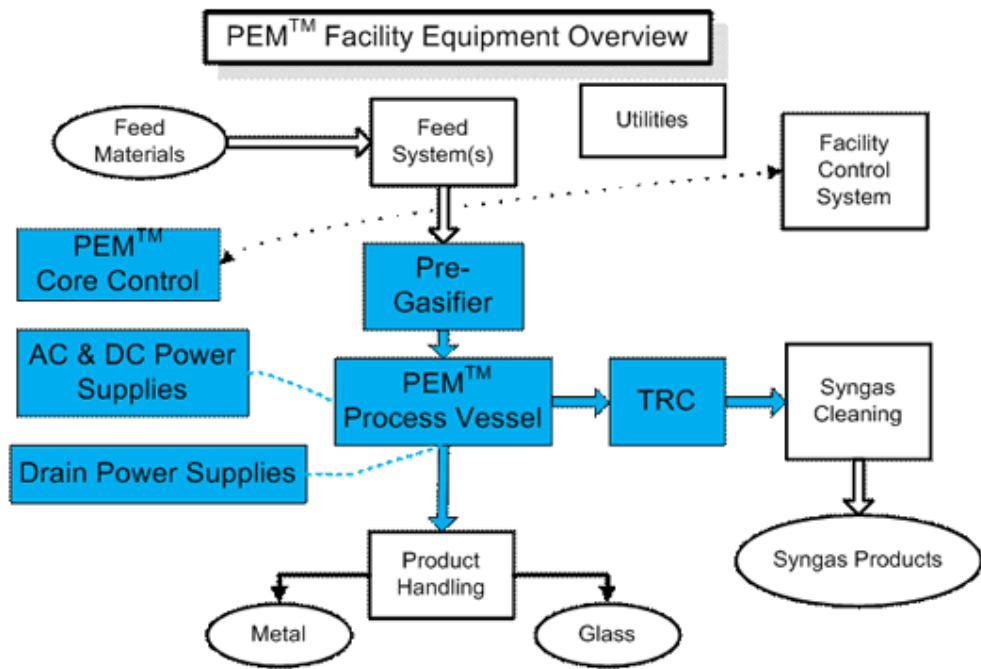
**Porteur du procédé : InEnTec (USA) / S4 Energy Solutions (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	<p>Déchets ménagers</p> <p>DIB</p> <p>Déchets médicaux</p> <p>Déchets industriels et dangereux</p> <p>Cendres volantes</p> <p>PCB...</p>	Gaz de synthèse

### 1- Caractéristiques de base du procédé

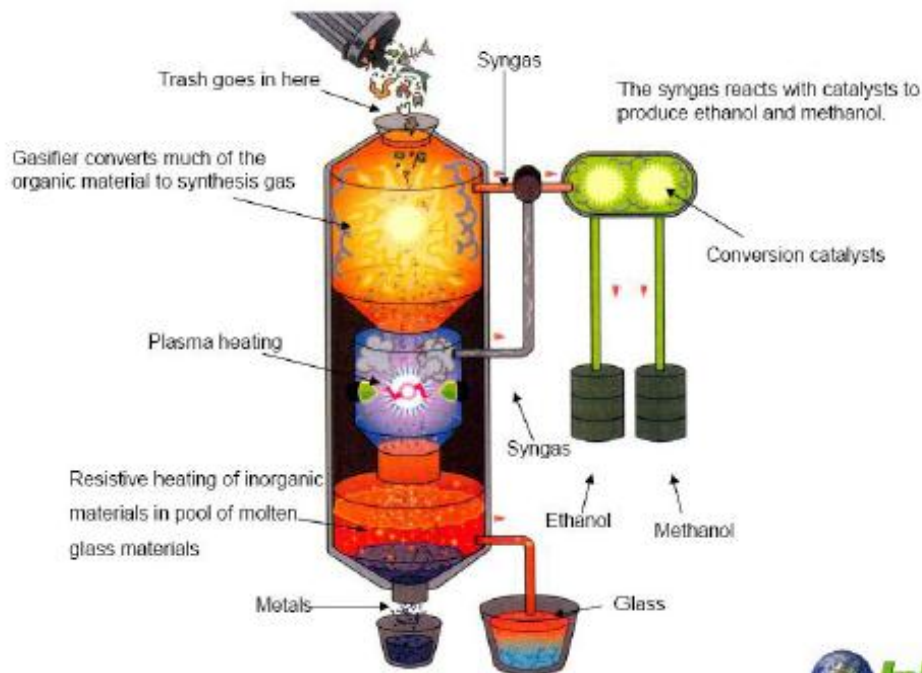
Principe et étapes du procédé	<p>Principe général : Les déchets sont traités dans une chambre de gazéification atmosphérique équipée d'un bassin de verre fondu, chauffé avec un arc plasma à courant continu.</p> <p><u>Etape 1</u>- Le déchet est préparé par broyage puis chauffé dans une chambre à courant descendant.</p> <p><u>Etape 2</u>- Gazéification par torche à plasma (« plasma enhanced melter chamber » - PEM™). Le système PEM à deux sources d'énergie. Le courant continu est utilisé pour l'arc plasma proprement dit, tandis que le courant alternatif est utilisé comme chauffage d'appoint du verre en fusion par effet joule.</p> <p>La chambre de gazéification primaire fonctionne à environ 700°C. Le plasma fonctionne à une température variant entre 3000 °C et 10000°C</p> <p><u>Etape 3</u>- En sortie du PEM, le gaz de synthèse est nettoyé jusqu'à obtention d'une qualité ultra-pure.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	Non spécifié.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Plasma Enhanced Melter (PEM)



**2- Références**

**Installations en fonctionnement**

Le PEM peut traiter les types de déchets suivants : déchets ménagers municipaux, déchets commercial, déchets médicaux, la plupart des déchets industriels et dangereux.

Le système PEM a été récemment installé sur deux sites :

- L'unité InEnTec Chemical PEM à Midland (Michigan-USA)
- Un projet pilote dans le Pacifique Nord-Ouest, développé par « S4 Energy Solutions », entreprise commune détenue à 50/50 par InEnTec et Waste Management Inc.

**Installations en construction ou en projet**

Projets de production d'hydrogène, méthanol et éthanol.

**3- Caractéristiques des intrants**

**Besoins de préparation de la charge**

Granulométrie : < 5 à 10 cm.  
 Les déchets mélangés sont acceptés.

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Le gaz de synthèse peut être utilisé pour produire de l'électricité, de l'éthanol, du méthane ou de l'hydrogène.
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>Caractéristiques du syngas</b>	
H2, CO (% en vol)	36.5% H2, 46.8% CO, ratio : 0.78
CO2 (% en vol)	11.8%
H2O (% en vol)	1.5%
Azote (N2, HCN, NH3, NOx)	3.3% N2

<b>5- Déchets et effluents</b>	Le système PEM fonctionnant à très haute température et en absence d'oxygène, les émissions de NOx, SOx, PM et COV sont considérablement réduites.
--------------------------------	--

<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	La technologie est protégée par 47 brevets émis ou en attente.
--	--

<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>InEnTec a été créée en 1995.</p> <p>« S4 Energy Solutions » est une joint-venture entre Waste Management, Inc. et InEnTec, dont l'objectif est de développer, exploiter et promouvoir les installations de gazéification utilisant la technologie PEM.</p> <p>L'objectif prioritaire de « S4 Energy Solutions » est de traiter des déchets commerciaux, médicaux et industriels pour produire une gamme de carburants et produits industriels. A terme, il est prévu de traiter également des déchets solides municipaux.</p>
----------------------------------	--

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>InEnTec 595 SW Bluff Drive, Suite B Bend, OR 97702 Tél: (509) 946-5700</p> <p>InEnTec Technology Center 1935 Butler Loop Richland, WA 99354</p> <p>Larry Carpman <a href="mailto:larry@carpmancommunications.com">larry@carpmancommunications.com</a> Carpman Communications 50 Franklin Street Boston, MA 02110 (617) 338-6601</p> <p><a href="http://www.inentec.com">http://www.inentec.com</a></p>

## 25 INEOS (Bioenergy Process)

**Procédé : INEOS Bioenergy Process (gazéification)**

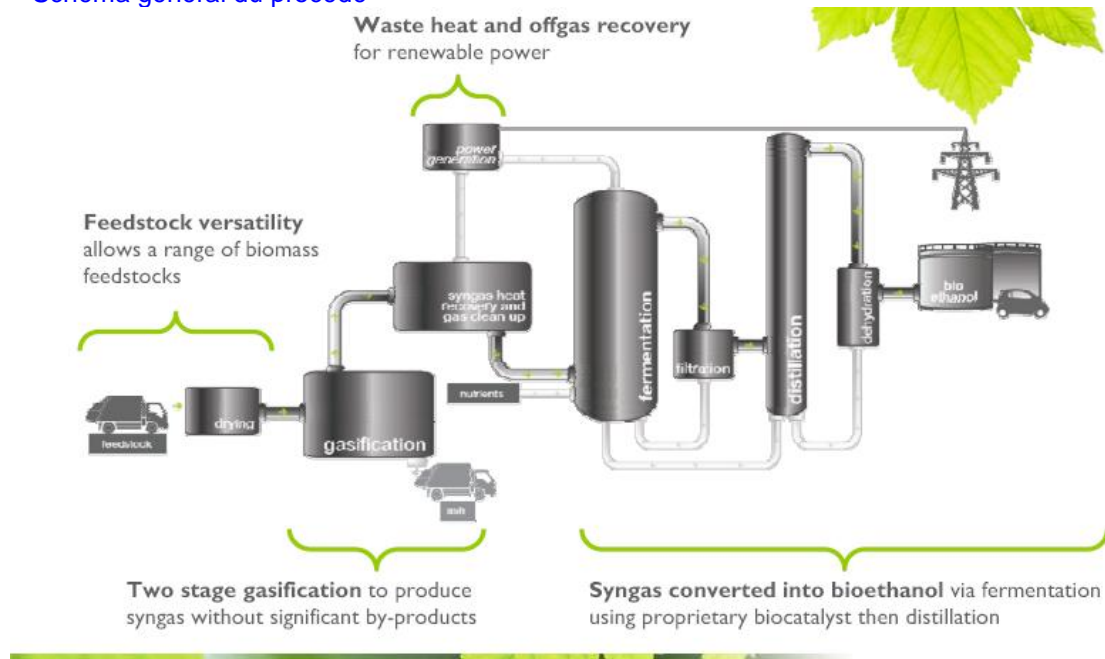
**Porteur du procédé : INEOS Bio (Suisse)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	<p><b>Tous types de déchets biomasse et ligno-cellulose</b></p> <p>En projet : fractions organiques des déchets municipaux et commerciaux, déchets verts, déchets alimentaires (tels que les produits périmés de supermarchés).</p>	<b>Ethanol</b>

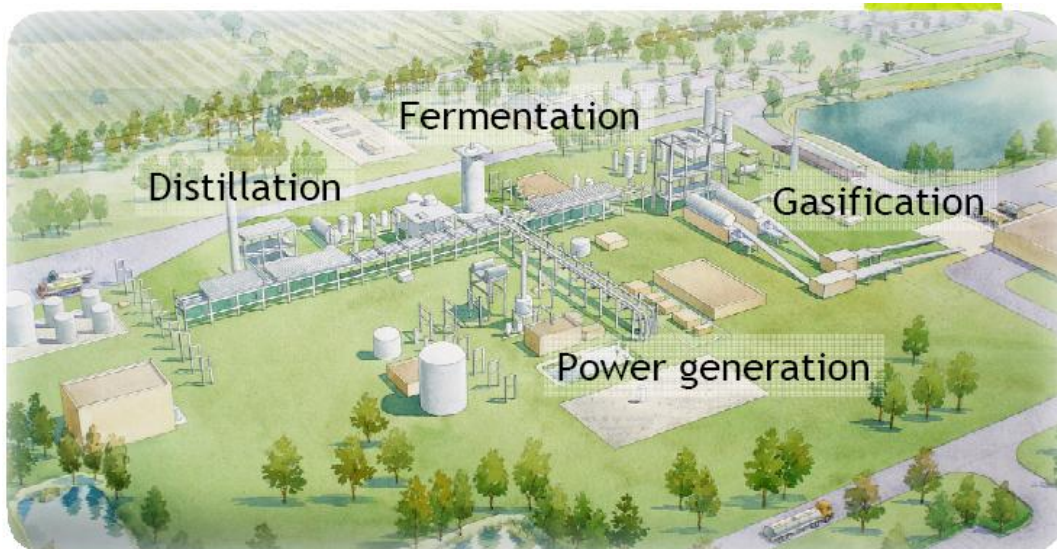
### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification, suivie d'une fermentation anaérobie, avec les étapes suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Préparation des déchets</li> <li>• Gazéification (production de gaz de synthèse)</li> <li>• Fermentation (production d'éthanol à partir du gaz de synthèse)</li> <li>• Distillation et déshydratation du bioéthanol</li> <li>• Production d'énergie (électricité).</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>30 000 t/an d'éthanol.</p> <p>Conception modulaire.</p>

- Schéma général du procédé



Représentation 3D du projet commercial actuellement en construction en Floride (Vero Beach – 24kt/an) (démarrage prévu pour 2012).



<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	Une unité pilote intégrée est en fonctionnement aux Etats Unis (Fayetteville, AR) depuis 2003 pour la fabrication d'éthanol.
<b>Installations en construction ou en projet</b>	<p>La première unité commerciale démarrera en 2012 en Floride (USA).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déchets : biomasse propre (déchets de biomasse lignocellulose).</li> <li>- Capacité : environ 24000 tonnes de bioéthanol par an.</li> </ul> <p>La première unité Européenne est en cours de développement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lieu : Grande Bretagne</li> <li>- Capacité : première phase de 24 000 tonnes par an de bioéthanol avec ensuite une extension de cette unité jusqu'à 150 000 tonnes de bioéthanol d'ici 2015).</li> <li>- Déchets : fractions organiques des déchets municipaux et commerciaux, déchets verts, déchets alimentaires (tels que les produits périmés de supermarchés).</li> </ul>
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<b>Besoins de préparation de la charge</b>	Si la matière première livrée est trop humide, celle-ci doit être séchée avant introduction dans le four de gazéification. Ce séchage utilisera les sources secondaires de chaleur émises par le procédé.
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Ethanol + électricité.</p> <p>L'éthanol produit répond aux normes Européennes de qualité sur les carburants pour une utilisation directe en mélange dans l'essence.</p>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	La quantité de cendres produites dépend du taux de cendres contenu dans la matière première. Les cendres produites contiennent moins de 5% de carbone et moins de 3% de matière organique totale, comme requis par la WID.



<b>6- Bilan énergétique</b>	Procédé auto-thermique.
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Procédé et brevets développés et appartenant à INEOS Bio
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>INEOS Bio fait partie du Groupe INEOS.</p> <p>Déploiement de la technologie à travers la vente de licences d'utilisation et de construction.</p>
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>INEOS Bio</p> <p>Avenue des Uttins 3</p> <p>1180 ROLLE</p> <p>Suisse.</p> <p>David DOUAY</p> <p>Tél: 0041 799 356 434</p> <p><a href="mailto:David.douay@ineos.com">David.douay@ineos.com</a></p>

## 26 Inter Engineering / Solventure

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Inter Engineering / Solventure (Allemagne)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Laboratoire	Tous types de déchets, sous réserve d'une teneur en biomasse >90%	Gaz de synthèse → électricité

- Schéma général du procédé

### 2- Références

Installations en fonctionnement	Installation de laboratoire, sur laquelle ont été testés avec succès plusieurs types de déchets, dont des déchets hospitaliers dangereux.
---------------------------------	---

Installations en construction ou en projet	Prototype de 30 000t/an (projet) à Dresde (Allemagne).
--	--

### 4- Caractéristiques des produits sortants

Produits gazeux ou liquides fabriqués	Gaz de synthèse (CO + H <sub>2</sub> ) à faible teneur en goudrons et en soufre.
Co-produits et résidus de fabrication	Environ 10% de résidu.

### 6- Bilan énergétique

	L'électricité fabriquée revient à environ 4 cts/kWh.
--	--

### 10- Stratégie commerciale

	Il manque 2,5 M€ à la société pour achever la construction d'un prototype de 30 000 t/an.  L'entreprise serait prête à investir en France sous réserve d'un financement éventuel.
--	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Bernard SCHARLE <a href="mailto:bernardscharle.biopro@gmail.com">bernardscharle.biopro@gmail.com</a> Tél: 00 355 44 81 86 09 (Albanie)

## 27 Klean Industries

**Procédé :** Pyrolyse

**Porteur du procédé :** Klean Industries Inc. (Canada)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	<p>Plastiques issus des déchets ménagers ( PP, PE, PS, HDPE, LDPE)</p> <p>DIB, déchets agricoles, films</p> <p>Pneus, RBA, DEEE</p>	Mélange diesel / essence (70/30%)

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Procédé en deux étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pyrolyse à 500°C</li> <li>- Distillation.</li> </ul> <p><u>Note</u> : Pour mémoire, Klean Industries développe également un procédé de gazéification des déchets de biomasse. Toutefois, ce procédé est destiné à produire de l'électricité et de la chaleur.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	1000 à 35 000 t/an de déchets

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	<p>7 unités en fonctionnement, depuis 12 ans, en Asie et en Europe.</p> <p>Déchets traités :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plastiques issus des déchets ménagers, DIB, déchets agricoles, films</li> <li>- Pneus</li> <li>- RBA</li> <li>- DEEE.</li> </ul>
Installations en construction ou en projet	Plusieurs projets prévus au cours de la période 2012-2015.
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<p>Besoins de préparation de la charge</p> <p>Déchets mélangés acceptés ?</p> <p>Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?</p>	<p>Le procédé peut traiter des déchets contenant jusqu'à 20% en volume de PVC et de PET.</p> <p>La charge peut être constituée de déchets en mélange, humides, souillés (par des métaux, du papier, de la terre...). Toutefois, le rendement matière diminue lorsque la contamination du déchet traité augmente.</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mélange diesel / essence: 70/30%</li> <li>- Gaz ayant les propriétés du gaz naturel: +/-10%</li> <li>- Monomères: +/-30%</li> </ul> <p>Le principal produit sortant est un carburant dont la spécification est bien adaptée pour une utilisation dans des moteurs industriels. Il n'est pas adapté pour l'application carburant automobile, pour deux raisons : d'une part les contraintes fiscales prévalant au Canada et dans la plupart des autres pays, d'autre part le fait que les constructeurs automobiles n'acceptent actuellement qu'un maximum de 5% de diesel issu de la biomasse dans les mélanges.</p>
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>La société Klean Industrie propose le procédé Toshiba Corp., dont elle assure le marketing pour l'Amérique du nord et l'Europe.</p> <p>Klean Industries déclare avoir plusieurs projets en développement en Europe (au stade de la demande du permis d'exploiter).</p> <p>Le modèle utilisé est celui du "Build, Own and Operate ».</p>
----------------------------------	--

<b>11- Contacts</b>	
<b>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</b>	<p>Klean Industries</p> <p>Contact person: Jesse Klinkhamer</p> <p>Klean Industries Inc.</p> <p>349 West Georgia St., PO Box 3038, Vancouver, B.C., Canada, V6B 3X5</p> <p>Tél: 604-637-9609 x101 Mobile: 604-842-8866</p> <p>Email: <a href="mailto:j.klinkhamer@kleanindustries.com">j.klinkhamer@kleanindustries.com</a></p> <p>Web address: <a href="http://www.kleanindustries.com">http://www.kleanindustries.com</a></p>

## 28 Kopf SynGas

**Procédé : Gazéification**

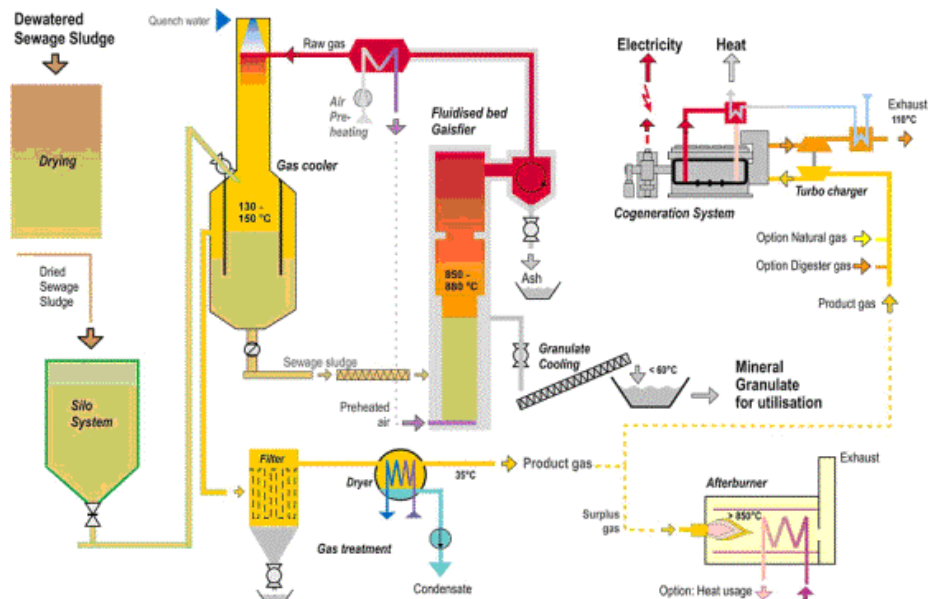
**Porteur du procédé : Kopf SynGas GmbH & Co. KG (Allemagne)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur	Boues de STEP	Gaz de synthèse → électricité

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Procédé de gazéification en lit fluidisé stationnaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les boues de STEP séchées (DS 80-90%) sont traitées dans un réacteur à 850-880°C avec un temps de résidence d'environ 30 minutes.</li> <li>- Après refroidissement, le syngas et les poussières sont séparés dans un cyclone. Le syngas est ensuite refroidi et filtré.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	2 200 t/an de déchets secs.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>L'unité pilote en service depuis 2002 à Balingen (Allemagne) a été agrandie en unité de démonstration en 2011.</p> <p>Capacité : 2200t/an</p> <p>Déchets : boues de STEP.</p> <p>Une unité industrielle fonctionne à Mannheim depuis 2010. Capacité : 5 000t/an.</p>
<b>Installations en construction ou en projet</b>	Aucune.
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<p>Granulométrie : 2-10mm</p> <p>Eviter la présence de fines dans le déchet traité.</p> <p>Aucun additif nécessaire.</p>	
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Gaz de synthèse utilisable comme carburant moteur ou pour une chaudière à vapeur : 6-10% H<sub>2</sub>, 6-10% CO, 3-5% CH<sub>4</sub>.</p> <p>Poussières résiduelles: max. 2 mg/m<sup>3</sup>.</p>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	Résidu granulé sec à forte teneur en potassium et phosphore.
<b>5- Déchets et effluents</b>	
	Condensats (environ 300l/t de boue traitée, soit 85kg/h) nécessitant un traitement. Utilisables en mélange à l'asphalte, en remblai, ou pour la récupération du phosphore contenu.



<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>Procédé autotherme.</p> <p>Toutefois, un apport de gaz pour le préchauffage de l'air est nécessaire au démarrage.</p> <p>Unité pilote: rendement de 65-70%. Le moteur thermique produit 70 kW d'électricité, dont 15 kW sont utilisés pour le procédé de gazéification. La production de chaleur est (environ 140 kW) est utilisée pour chauffer les tours des digesteurs de l'unité de traitement des boues et pour sécher les boues.</p>
<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	La qualité du syngas dépend de la teneur en eau de la charge.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Investissement pour l'extension de l'unité de Balingen: 3 M€, y compris séchage des boues.
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Soutien financier des pouvoirs publics.</p> <p>La société Kopf va exploiter l'unité de Mannheim pendant 20 mois.</p>
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Kopf Syngas GmbH &amp; Co. KG</p> <p>Mr. Michael Gaiffi</p> <p>Stuetzenstr. 6</p> <p>72172 Sulz-Bergfelden/Germany</p> <p>tel. +49-7071-54954-51</p> <p>email <a href="mailto:m.gaiffi@kopf-syngas.de">m.gaiffi@kopf-syngas.de</a></p> <p>Pas de contact en France.</p>
Coordonnées des exploitants ou des propriétaires des unités	<p>Zweckverband Abwasserreinigung Balingen</p> <p>Muehlhalde 3</p> <p>72336 Balingen , Allemagne</p> <p>tél. +49-7433-90040</p>

## 29 Logmed Cooperation

**Procédé :** Dépolymérisation catalytique et thermique

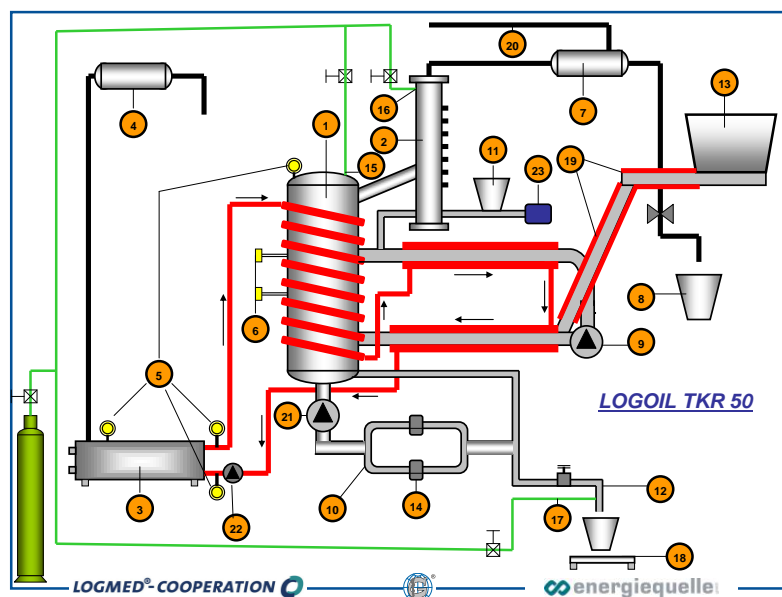
**Porteur du procédé :** Logmed Cooperation GmbH (Allemagne)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Laboratoire (depuis 2009)  Pilote prévu en 2013	Déchets plastiques (PE,PP, PC) y compris plastiques des déchets hospitaliers infectieux, huiles usées (sans PCB).	Huile + syngas + naphta.

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Pré-traitement pour éliminer le PVC, le PET et réduire la teneur en polysulfones.  Traitement dans un réacteur à 400°C, en présence d'un catalyseur à base de zéolythe.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	En projet : 5000 t/an.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## Légende:

1. Reactor
2. Distillation column
3. Heat exchanger / heating
4. Expansion tank of the heat exchanger
5. Temperature sensor and temperature regulation
6. Level indicator of the reactor
7. Condenser
8. Tapping point of condensate
9. Circulating pump
10. Sump circulation
11. Catalyst feed (reservoir with metering screw)
12. Tapping point of sump
13. Input of raw material
14. Filter for impurities
15. Feed inert gas – reactor
16. Feed inert gas – distillation column
17. Feed inert gas – tapping point of sump
18. Floor scale of sump
19. Preheating of raw materials
20. Gas release
21. Circulating pump for the sump
22. Circulating pump for heating oil
23. Drive for the catalyst metering screw

<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	Installation de laboratoire (TKR 10/50) utilisée pour des tests, située à Halle (Allemagne)  Démarrage : 2009  Capacité: 50l/h
<b>Installations en construction ou en projet</b>	Une unité pilote de 100 l/h en projet pour 2013 à Halle (construction pas démarrée).

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<b>Besoins de préparation de la charge</b>	<p>Granulométrie: &lt; 20 mm.</p> <p>Les déchets hospitaliers infectieux doivent être préalablement désinfectés et séparés (essais réalisés). Les films plastiques agricoles doivent être lavés. Le PP et le PE sont séparés par flottation et spectrométrie NIR. Le PVC et le PET doivent être totalement séparés. La teneur en polysulfones doit être inférieure à 1%. Le XLPE des câbles est à éliminer.</p> <p>Les déchets mélangés ne sont pas acceptés.</p> <p>Les mélanges de déchets biomasse et non biomasse ne sont pas acceptés.</p>

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 40% huile lourde, utilisable comme fioul / diesel marine, centrales électriques ou par l'industrie chimique</li> <li>- 20% huile légère, répondant aux standards du diesel EN-51603, avec des spécificités légèrement différentes mais totalement utilisable comme carburant moteur.</li> <li>- 10% syngas, utilisable comme combustible pour des centrales à gaz</li> <li>- 10% naphta, utilisable comme base pour la préparation de l'essence ou d'additifs anti-détonants pour carburants</li> <li>- 20% cires et paraffines, utilisables comme additifs pour l'asphalte.</li> </ul>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	<p>Le résidu (10%) a un PCI supérieur à 20MJ/kg et est utilisable comme combustible en cimenterie ou en centrale à cycle combiné.</p>

<b>5- Déchets et effluents</b>	<p>Les déchets solides peuvent être &gt;20% dans le cas des déchets hospitaliers.</p>
--------------------------------	---

<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>La comparaison du procédé Logmed avec une unité d'incinération de déchets dangereux, dans le cas des déchets hospitaliers, montre un bilan énergétique positif du procédé Logmed <math>10.4 \times 10^3 \text{MJ/kg}</math>.</p>
-----------------------------	---

<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	La qualité des produits sortants dépend fortement de la qualité des déchets traités et du type de pré-traitement mis en œuvre.
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevet sur le système de contrôle et le système de chauffage du réacteur.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cout d'investissement estimé pour une unité de traitement de déchets hospitaliers de 5000 t/an : 3,7 M€ (4,2 M€ incl. l'unité de désinfection).</li> <li>- Cout opératoire annuel : environ 690 000€A 5,000t/a plant (incl. désinfection), sous réserve d'un fee à l'entrée de 180/€t.</li> <li>- Unité de traitement des résidus et déchet estimée à 85 000€/an (52/€t)</li> <li>- Prix de vente moyen envisagé des produits : 350€/t.</li> </ul>
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>L'unité pilote va continuer à tester d'autres types de déchets pour le compte de clients potentiels.</p> <p>La vente de la licence sera privilégiée.</p>
<b>11- Contacts</b>	
<b>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</b>	<p>Logmed Cooperation GmbH</p> <p>Daniel-Vorlaender-Str. 8</p> <p>06120 Halle/Germany</p> <p>Dr. Boettger tel. +49-345-4780-230</p> <p><a href="mailto:jaboettger_logmed@online.de">jaboettger_logmed@online.de</a></p> <p>Pas de contact en France.</p>

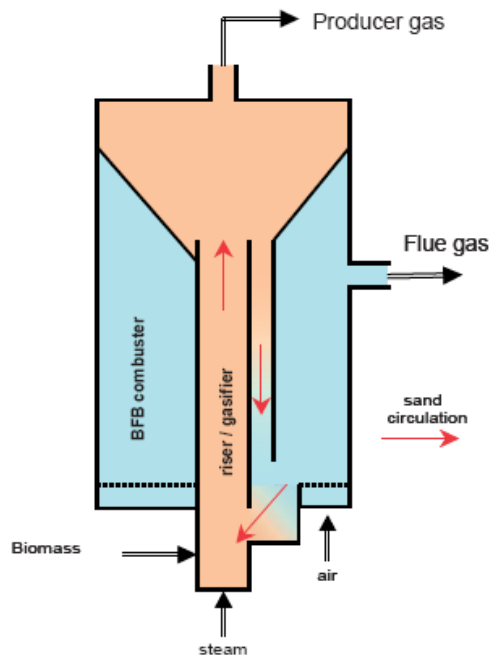
### 30 Energy Research Centre of The Netherlands (Milena)

<b>Procédé : Milena (gazéification)</b>
<b>Porteur du procédé : Energy Research Centre of The Netherlands (ECN) (Pays-Bas)</b>

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Bois brut, bois de démolition, boues de STEP	Gaz de synthèse → moteurs ou turbines à gaz

1- Caractéristiques de base du procédé	
Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification à double lit fluidisé circulant.</p> <p>La charge est chauffée et gazéifiée dans un flux circulant de sable chaud.</p> <p>Le concept MILENA est plus simple, plus compact et conçu pour des pressions élevées que les concepts SilvaGas ou REPOTEC/TUV.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	Pilote : 3,8 t/ jour de biomasse.

- Schéma général du procédé

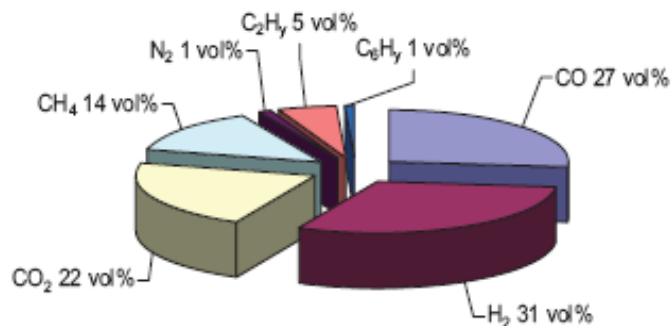


Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	<p><u>Au stade du laboratoire</u></p> <p>ECN a réalisé le gazéifieur MILENA de 25 kWh à l'échelle laboratoire en 2004, capable de produire approximativement 7 m<sup>3</sup>/h de gaz riche en méthane avec une efficacité élevée. L'installation a été utilisée pendant presque 1000 heures. Elle consomme approximativement 5 kg/h de biomasse. Le bois est utilisé comme combustible. Des essais ont été effectués avec de l'herbe et avec des boues provenant du traitement des eaux usées. Le gaz de synthèse produit est utilisé pour alimenter les voitures.</p> <p><u>Unité pilote</u></p> <p>Une usine pilote de 800kW utilisant 3,8 t/ jour de biomasse, basée sur le procédé MILENA est opérationnelle à Petten (Pays-Bas) depuis l'été 2008. Le débit de biomasse est de 150 kg/h et la composition en gaz est similaire aux expérimentations en laboratoire. En 2009, ce pilote a été connecté à une unité d'élimination des goudrons (« OLGA ») et a été testé en utilisant du bois. En 2010 ces tests ont continué avec du bois de démolition.</p> <p>Données du pilote MILENA :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit de biomasse : 158 kg/h</li> <li>- Vapeur pour le gazéifieur : 19 kg/h</li> <li>- Gaz humide produit : 174 m<sup>3</sup>/h.</li> </ul>
Installations en construction ou en projet	<p>ECN prévoit de construire une installation de démonstration d'une capacité de 12MW (48 t/jour) en 2012-2015, et à plus long terme une usine de 1GW (4 800 t/jour) à partir de 2018.</p> <p>Déchets prévus : Bois de démolition.</p>
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<p>Besoins de préparation de la charge</p> <p>Déchets mélangés acceptés ?</p> <p>Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?</p>	<p>Taille maximale des morceaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour l'unité labo : inférieure à 1 à 3 mm.</li> <li>- Pour l'unité pilote : inférieure à 15 mm.</li> <li>- Pour les unités de démonstration : la somme de la longueur et la largeur doit être inférieure à 100 mm.</li> </ul> <p>La présence de petites roches, de verre, d'aiguilles, etc. est acceptée.</p> <p>Teneur en humidité de la charge: &lt;10-25% (25% pour les</p>

	<p>applications commerciales).</p> <p>Déchets mélangés acceptés : oui.</p> <p>Mélange de déchets biomasse et non biomasse accepté : Oui, (bois + plastiques).</p> <p>Additifs requis : Matériaux de lit (sable ou olivine).</p>
--	---

4- Caractéristiques des produits sortants	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Le gaz de synthèse ne contient pas d'azote mais beaucoup d'hydrocarbures.</p> <p>Après élimination des impuretés (technologie de nettoyage OLGA pour produire du gaz sans poussière ni goudrons), ce gaz est bien adapté aux applications du type moteur à gaz ou turbine à gaz du fait de son pouvoir énergétique élevé (habituellement 16 MJ/mn<sup>3</sup> sec, comparé à 4-7 MJ/mn<sup>3</sup> pour un gazogène classique à air). Il a les mêmes propriétés que le gaz naturel classique et peut-être utilisé pour remplacer le gaz naturel dans toutes les installations.</p> <p>Plusieurs offres commerciales sont en cours pour de la production directe in-situ d'électricité et de chaleur, via le partenaire commercial Dahlman.</p> <p>Le gaz de synthèse peut être transformé en gaz combustible ou en carburant diesel (Fischer-Tropsch).</p>
Co-produits et résidus de fabrication	<p>Cendres volantes à faible teneur en carbone (&lt;&lt; 1 % en poids).</p> <p>Cendres résiduelles (sable, roches, verre, métaux, etc..).</p>





<b>Caractéristiques du Syngas et du système de purification</b>			
Température		Halogénés (HCl, Br, F)	
Pression		Alcalins (Na, K)	
H2, CO (% by vol), ratio	18% H2, 44% CO	Goudrons	40g/Nm3
CO2 (% by vol)	11%	Hydrocarbures (méthane, C2H4 et supérieurs)	méthane 15%, C2H6 1%, >HCs 5%
H2O (% by vol)	25% (humide)	Particules (ppm de cendres, suies)	
Soufre (COS, H2S, CS2)	H2S 40-100ppmv	Autres inertes (matériau de lit)	
N2, HCN, NH3, NOx	N2 4%, NH4 500-1000ppmv		
Purification du Syngas	L'élimination des goudrons est réalisée en utilisant une technique spéciale d'épuration appelée OLGA, développé par ECN, puis un nettoyage supplémentaire du gaz (élimination du CO2)		

<b>5- Déchets et effluents</b>	<p>Eaux résiduelles propres.</p> <p>La production de CO2 est capturée et stockée. De cette façon le traitement de la biomasse en gaz synthétique devient non seulement neutre en CO2, mais même négatif en CO2.</p>
--------------------------------	---

<b>6- Bilan énergétique</b>	CHP -> 30% électricité + approx. 40% chaleur
-----------------------------	--

<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	Le pilote testé fait environ 1 MWth. La prochaine étape nécessite un changement d'échelle à 12 MWth.
---	--

<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	ECN possède les brevets sur la technologie MILENA.
--	--

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Ordre de grandeur de l'investissement pour une unité complète produisant de l'électricité: 4000 €/kWe
---	---

<b>10- Stratégie commerciale</b>	Dahlman commercialise le procédé de production d'électricité.
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	ECN Biomass, Coal & Environmental Research P.O. Box 1, 1755 ZG Petten, Pays-Bas Tél: +31 224 56 4582 Christiaan van der Meijden <a href="mailto:vandermeijden@ecn.nl">vandermeijden@ecn.nl</a> <a href="http://www.milenatechnology.com">http://www.milenatechnology.com</a>

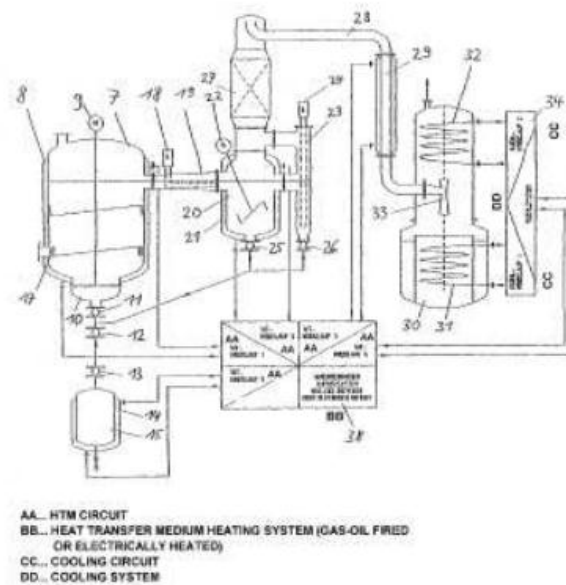
### 31 Nill-Tech

<b>Procédé :</b> Thermolyse
<b>Porteur du procédé :</b> Nill-Tech GmbH (Allemagne)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur	Déchets plastiques	Gazole, après traitement ultérieur en raffinerie

<b>1- Caractéristiques de base du procédé</b>	
Principe et étapes du procédé	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Broyage des déchets</li> <li>- Elimination du verre, des métaux, des céramiques, du papier, du PVC</li> <li>- Dans un réacteur à trois étages, les déchets plastiques sont fondus, puis craqués à 400-500°C, puis les gaz produits sont condensés et refroidis.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	3500 t/an de déchets.

- Schéma général du procédé



2- Références	
Installations en fonctionnement	<p>Usine de Baar (Suisse) utilisée comme démonstrateur.</p> <p>Démarrage : 2006</p> <p>Capacité : 3500t/an (l'unité ne fonctionne plus que par intermittence depuis quelques mois).</p>
Installations en construction ou en projet	<p>4 projets à l'étude, de capacité unitaire 5000 t/an.</p>
3- Caractéristiques des intrants	
<p>Besoins de préparation de la charge</p> <p>Déchets mélangés acceptés ?</p> <p>Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?</p>	<p>Granulométrie : &lt; 20-30mm de diamètre.</p> <p>Teneurs limites: &lt;1% eau ; &lt;1% contaminants</p> <p>Degré de propreté: 75-100% PE,PP,PB ; 0-20% PS, EPS ; 0-5% PET, PA, PUR.</p> <p>N'accepte pas les déchets mélangés.</p> <p>N'accepte pas les mélanges de déchets de biomasse et non biomasse.</p> <p>Aucun additif n'est requis.</p>

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Huile (fioul) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PCI : &gt; 40MJ/kg</li> <li>- Densité à 15°C : 780-850kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Viscosité à 20°C: &lt; 6 mm<sup>2</sup>/kg</li> <li>- Soufre: &lt; 100mg/kg</li> <li>- Métaux lourds : ~20 mg/kg.</li> </ul>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	<p>Le résidu représente environ 17-24% en poids de la charge. Il est constitué de coke, suie, TiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, paraffines etc... et peut éventuellement faire l'objet d'une valorisation thermique.</p>
<b>5- Déchets et effluents</b>	
	<p>Effluents gazeux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO: &lt;100mg/m<sup>3</sup></li> <li>- Nox: &lt; 100mg/m<sup>3</sup></li> <li>- C<sub>organic</sub>: &lt;50mg/m<sup>3</sup></li> </ul> <p>Eaux usées: environ 1% de la charge en poids.</p>
<b>6- Bilan énergétique</b>	
	<p>Apport nécessaire d'énergie électrique : 1 à 1,3% du contenu énergétique de la charge.</p> <p>Rendement énergétique : 79-81% (fioul produit) + 7-12% (résidu) + 4,5-10,5% (chaleur pour le procédé).</p>
<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	
	<p>La stabilité du procédé suppose une qualité élevée de la charge et des opérations de prétraitement.</p> <p>La qualité de l'huile fabriquée dépend fortement de la qualité des déchets, spécialement de la teneur en soufre et en chlore.</p>
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	
	<p>Trois brevets : préparation de la charge, élimination du PVC et réacteur à 3 étages.</p>

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	<p>Cout estimé d'investissement pour une unité de 5000 t/an (4 lignes en parallèle) : 19,2 M€.</p> <p>Couts opératoires estimés: 2,4 M€/an.</p> <p>1 kg of de déchets donne légèrement moins de 1 kg de fioul produit, à un cout estimé à 0,14-0,20€/l (+ cout du financement).</p> <p>Prix de vente du fioul produit: environ 0,50€/l</p> <p>Cout de traitement des eaux usées: 50-100€/t.</p>
---	---

<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Nill-Tech a été fondée en 1992.</p> <p>Peut fournir les installations clés en main.</p> <p>Une cession de licence est envisageable.</p> <p>Le projet de 4 lignes en parallèle est financé par un fond privé.</p>
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Mr. Wolf Eberhard NILL, Managing Director</p> <p>Robert-Bosch-Strasse 11</p> <p>71088 Holzgerlingen - Allemagne</p> <p>Tél. +49-7031-437450</p> <p>e-mail <a href="mailto:nill@nill-tech.de">nill@nill-tech.de</a></p> <p>Pas de contact en France.</p>

### 32 Litélis (Orgawatt)

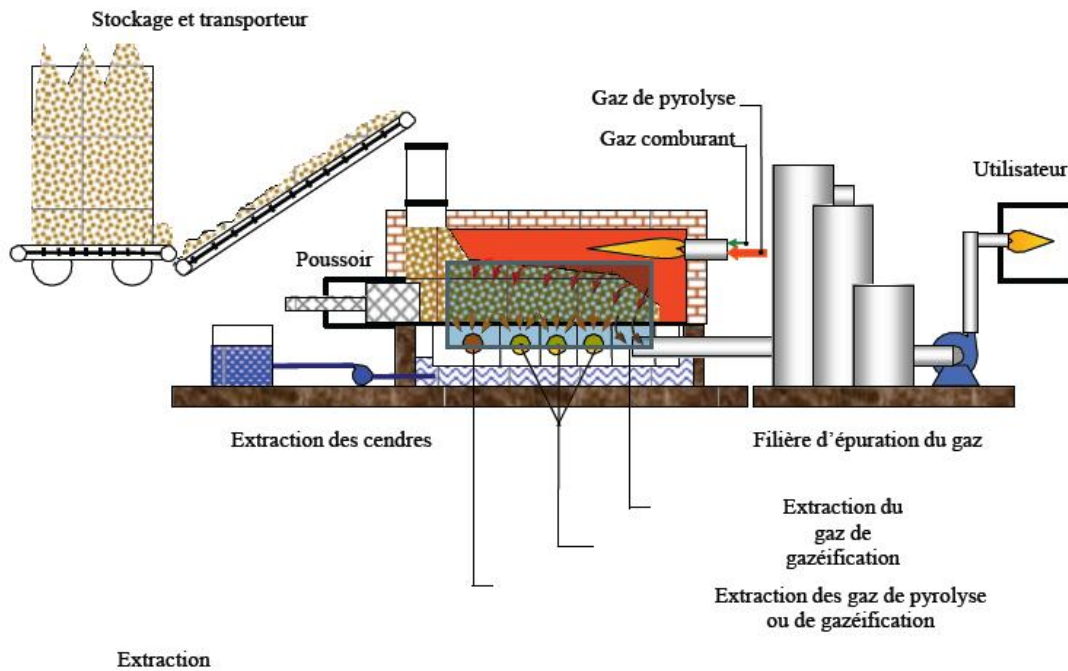
**Procédé : Orgawatt (gazéification)**

**Société : Litélis (France)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Déchets de bois imprégnés	Gaz de synthèse (pauvre) → électricité ou combustible

1- Caractéristiques de base du procédé	
Porteur du projet	Litélis
Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification à lit horizontal avec modularité des zones de fonctionnement, lui conférant un fonctionnement à puissance variable de 25% à 100% pour une même installation.</p> <p>Le procédé Orgawatt® s'appuie sur les travaux réalisés par le Cemagref dans les années 80 : conception et réalisation d'un gazéifieur de 1 MWe et cession de licences à Creusot-Loire qui en a construit et fait fonctionner trois installations. Ces installations ont été mises au rebut en 1985 après la chute du prix des hydrocarbures. LITÉLIS a repris le projet initial et a apporté de substantielles améliorations qui ont donné lieu à brevets. Ces brevets mettent en exergue la variabilité de puissance et la modularité de fonctionnement du gazéifieur sans modifications de dimension du réacteur.</p> <p><u>Etapes du procédé</u></p> <p>1<sup>ère</sup> étape : séchage + pyrolyse par circulation du gaz de pyrolyse chaud,</p> <p>2<sup>ème</sup> étape : oxydation des gaz de pyrolyse dans le ciel du réacteur,</p> <p>3<sup>ème</sup> étape : réduction des gaz oxydés CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O par le carbone du lit, donnant naissance à du CO et du H<sub>2</sub>.</p> <p>4<sup>ème</sup> étape : combustion du gaz de synthèse produit dans un brûleur mixte gaz pauvre dans un brûleur mixte gaz pauvre/gaz naturel en vue de la valorisation en énergie thermique et/ou dans un moteur ou une turbine à gaz en vue de la valorisation en énergie électrique.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	n.r

- Schéma général du procédé



## 2- Références

### Installations en fonctionnement

Litelis a développé le procédé Orgawatt®, pour la gazéification à puissance variable de biomasses et de déchets organiques solides à partir du gaz de synthèse obtenu. Le procédé peut produire soit de la chaleur, soit de l'électricité (cogénération). Ce procédé s'appuie sur une solution éprouvée par le Cemagref dans le passé, avec des améliorations substantielles.

Dans le cadre d'un programme réalisé en partenariat avec l'Université de Technologie de Compiègne et soutenu par l'ADEME, LITÉLIS a construit un pilote d'une puissance de 100kWe, selon le procédé Orgawatt®. Ce pilote a achevé avec succès sa phase d'essais de 15 mois en avril 2010. Les essais ont validé le procédé.

Installations en construction ou en projet	Une première réalisation est prévue chez un industriel de la filière bois à Chantonay (85). L'unité consommera des chutes de production de bois mélaminé (1,2 t/h). Le gaz de synthèse fabriqué servira comme combustible pour chauffer un fluide caloporteur pour la presse à panneaux.. La capacité prévue est de 4 MWth. Le montant de l'investissement est de l'ordre de 1,5 M€. L'installation de gazéification est déjà intégrée dans le dossier de réévaluation ICPE de l'industriel, ce qui permet de bénéficier de l'antériorité au sens de l'article L513---1 du code de l'Environnement. Ce client dispose de la ressource en combustible (bois A/B) pour l'alimentation de l'installation. LITÉLIS lui vendra l'installation une fois le cahier des charges rempli.
--	---

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Le procédé génère un gaz pauvre qui peut être utilisé comme combustible ou pour fabriquer de l'électricité.
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>7- Bilans matière et énergétique</b>	
Apport énergétique nécessaire (par type d'apport)	

Bilan énergétique	Orgawatt fonctionne en continu 24h/24 jusqu'à 330 jours/an et délivre une puissance énergétique variable aujourd'hui comprise entre 2MWth et 8MWth. Sa consommation annuelle varie de 8kt à 16kt en équivalent bois.
-------------------	--

<b>9- Niveau de propriété industrielle (brevets déposés, brevets acquis, références...)</b>	
LITÉLIS a déposé en mars 2007 une demande de brevet intitulée «Procédé et installation pour la gazéification à puissance variable de matières combustibles» portant sur le gazéifieur, et un procédé de traitement des gaz à haute température conçu pour épurer les éléments résiduels, avec récupération de la chaleur sensible du syngas. La demande française a été complétée en mars 2008 par une demande internationale revendiquant la priorité de la demande française et désignant tous les pays. En août 2009, le dépôt a été formalisé auprès de l'Europe, des Etats---Unis, Canada, Brésil, Inde, Chine et Japon.	



<b>11- Profils et stratégies des intervenants</b>	
<p>Structure porteuse du projet / promoteur du procédé</p> <p>Surface financière</p> <p>Coordonnées du promoteur du procédé</p>	<p>LITÉLIS</p> <p>206, rue Roger Salengro</p> <p>85000 LA ROCHE SUR YON</p> <p>Tél. : + 33 (0)2.51.24.80.44</p> <p>Contact : Françoise RAYNAUD (DG)</p> <p><a href="mailto:fraynaud@litelis.com">fraynaud@litelis.com</a></p>
<p>« Business model » mis en œuvre</p>	<p>La société Litélis est une SA créée en 2001 par des industriels vendéens du secteur de l'agro-alimentaire.</p> <p>LITÉLIS installe les unités en partenariat, soit auprès d'utilisateurs de chaleur, clients industriels ou collectivités locales, soit auprès de clients producteurs de combustibles potentiels, pour produire ensemble de l'électricité.</p> <p>LITÉLIS recherche auprès d'investisseurs 1,5M€ en fonds propres en échange d'une partie de ses parts sociales.</p>

### 33 Plasco Energy Group

**Procédé : Plasco (gazéification)**

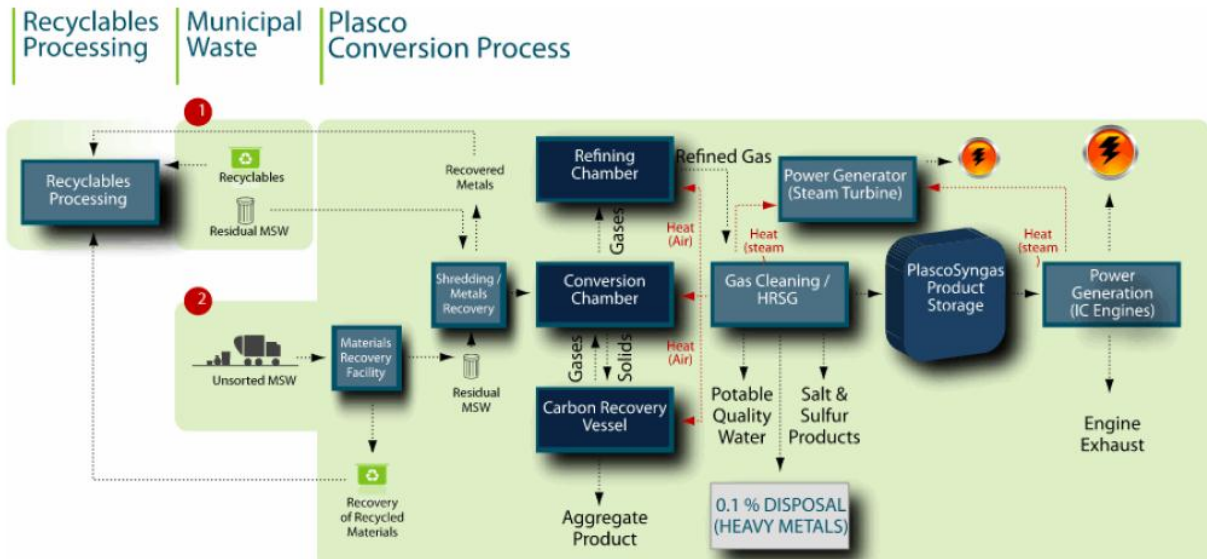
**Porteur du procédé : Plasco Energy Group (Canada)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur	Déchets ménagers + déchets plastiques ajoutés	Electricité

#### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification par torche à plasma.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>'- Les déchets sont introduits par vis sans fin dans le four de gazéification maintenu en dépression ; il n'est pas prévu de séchage de déchets</li> <li>'- Début de la pyrolyse dans le « convertter », un four en gradins avec mise en mouvement des déchets par un système mécanique, les composants les plus légers sont volatilisés ;</li> <li>'- Dans le « Carbon Recovery Vessel », le (CRV), fin de la pyrolyse et gazéification du carbone ; la partie inorganique est vitrifiée.</li> <li>'- L'énergie est apportée dans le convertter par de l'air chaud obtenu par un échangeur sur le syngas en sortie du four ; dans le CRV elle est apportée par une torche à plasma d'air</li> <li>'- En sortie du convertter, 2 torches craquent les gaz qui ont été produits dans le convertter</li> <li>'- Récupération de la chaleur sensible du gaz par un échangeur gaz/air</li> <li>'- Adsorption de certains contaminants par du charbon actif et dépoussiérage du gaz par filtre à manches</li> <li>'- Epuration du gaz par voie humide avec Scrubber HCL puis scrubber H2S</li> <li>'- Stockage tampon du gaz dans un gazomètre avant combustion dans des moteurs à gaz</li> <li>'- Traitement DENOX catalytique (SCR) des gaz d'échappement des moteurs.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Les installations de Plasco sont modulaires. Le module de base est de la taille de l'unité de démonstration d'Ottawa : 100 t/j. Ainsi les risques de passage à la taille industrielle seront limités</p>

• Schéma général du procédé



**2- Références**

**Installations en fonctionnement**

Plasco dispose d'une unité de démonstration d'une capacité nominale de 100 t/j, en fonctionnement à Ottawa (Canada) depuis février 2008 pour le traitement des déchets ménagers. Ce procédé conduit notamment à la production d'électricité par des moteurs alimentés par le gaz de synthèse issu de la gazéification, et d'un résidu solide amorphe (vitrifié).

L'unité fonctionne sur des déchets ménagers ayant un PCI suffisant, avec ajout de déchets plastiques.

L'installation est autorisée actuellement pour 75 t/j (soit 3,12 t/h) de déchets ménagers et assimilés soit les 3/4 de sa capacité nominale. De plus, 10 t/j (~420 kg/h) de déchets à forte teneur en carbone peuvent être ajoutés pour augmenter le pouvoir calorifique du gaz de synthèse produit, en vue de l'alimentation des moteurs à gaz.

Le fonctionnement de l'unité reste très en dessous de la capacité autorisée et il semble que les difficultés de mise au point du procédé restent importantes.

**Installations en construction ou en projet**

Projets en cours en Grande-Bretagne et en Pologne.

**3- Caractéristiques des intrants**

**Besoins de préparation de la charge**

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	<p>Montant de l'investissement : 102 millions d'euros</p> <p>Coût d'exploitation annuel : 8,7 millions d'euros</p> <p>Vente d'électricité par an : 5,75 millions d'euros</p> <p>Vente de métaux : 0,46 millions d'euros.</p>
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Plasco se positionne sur le marché comme vendeur de savoir-faire et de technologie, société d'ingénierie capable de concevoir et construire l'ensemble de l'installation, société d'exploitation de l'installation et investisseur, propriétaire de l'installation (« finance, build, own and operate »). Plasco offre aux collectivités de traiter les déchets par une technologie nouvelle contre une rémunération garantie en euros par tonne de déchets.</p>
<b>11- Contacts</b>	
<b>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</b>	<p>1000 Innovation Drive, Suite 400 Ottawa, ON K2K 3E7 – Canada.</p> <p>Tél: 613-591-9438</p> <p>Media inquiries: Sharilyn McNaughton, Plasco Energy Group Inc.</p> <p>Tél: (613) 591-9438</p>

### 34 Plasma Power

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Plasma Power GmbH (Allemagne)**

Le représentant de la société, M. Gerhard GHIRTH (Tél : 06 31 70 35 48) - [ghirth\\_otc@hotmail.com](mailto:ghirth_otc@hotmail.com) nous a confirmé qu'ils ont décidé d'abandonner la prospection du marché français, du fait de facteurs défavorables (fiscalité, déboires avec certaines collectivités locales.....)

Un pilote est en fonctionnement chez PP Renat en Allemagne.

Une unité industrielle à Sarrebourg aurait démarré début 2011.

### 35 Plastic Advanced Recycling

**Procédé :** Dépolymérisation catalytique et thermique

**Porteur du procédé :** Plastic Advanced Recycling Corp. (USA)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	Déchets plastiques (films, corps creux...) y compris déchets souillés  Déchets hospitaliers.	Huile

#### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Procédé catalytique de conversion des déchets plastiques en huile + gaz + résidu solide, avec un taux de conversion d'environ 80% dans le cas de déchets souillés.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Préparation de la charge (broyage...)</li> <li>- Mélange de la charge et du catalyseur</li> <li>- Chauffage à 500°C</li> <li>- Refroidissement, condensation, puis fractionnement par distillation des produits de sortie (essence, diésel)</li> <li>- Rectification.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	3 000, 6 000 et 12 000 t/an de déchets plastiques.

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

#### 2- Références

Installations en fonctionnement	<p>3 unités industrielles en exploitation en R.P de Chine depuis 10 ans.</p> <p>Produits : Huile, gaz, résidu solide.</p>
Installations en construction ou en projet	Aucune.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
Besoins de préparation de la charge	Possibilité d'utiliser des déchets ménagers souillés.  PVC accepté.

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	50%-70%: fioul lourd pouvant être utilisé directement dans un four pour produire de l'électricité, ou faire l'objet d'un traitement aval pour être transformé en diesel ou en essence.  15-25%: gaz, réinjecté dans le réacteur comme apport énergétique  2-3% gaz C1-C4, réinjecté dans le procédé..
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>5- Déchets et effluents</b>	Environ 15 à 20% de résidus sous la forme de solides cristallisés ou de sels.
--------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	PARC  Tél : 001-630-789-2818  Address: Unit #207 665 Pasquinelli Dr.  Westmont, IL 60559, USA  Information department: <a href="mailto:info@parcamerica.com">info@parcamerica.com</a>  Sales Department: <a href="mailto:sale@parcamerica.com">sale@parcamerica.com</a>  Technical support: <a href="mailto:tech@parcamerica.com">tech@parcamerica.com</a>  Customer service: <a href="mailto:customer@parcamerica.com">customer@parcamerica.com</a>

36 *Pyrum*

**Procédé :** Pyrolyse

**Porteur du procédé :** Pyrum SAS (France) + Pyrum GmbH (Allemagne)

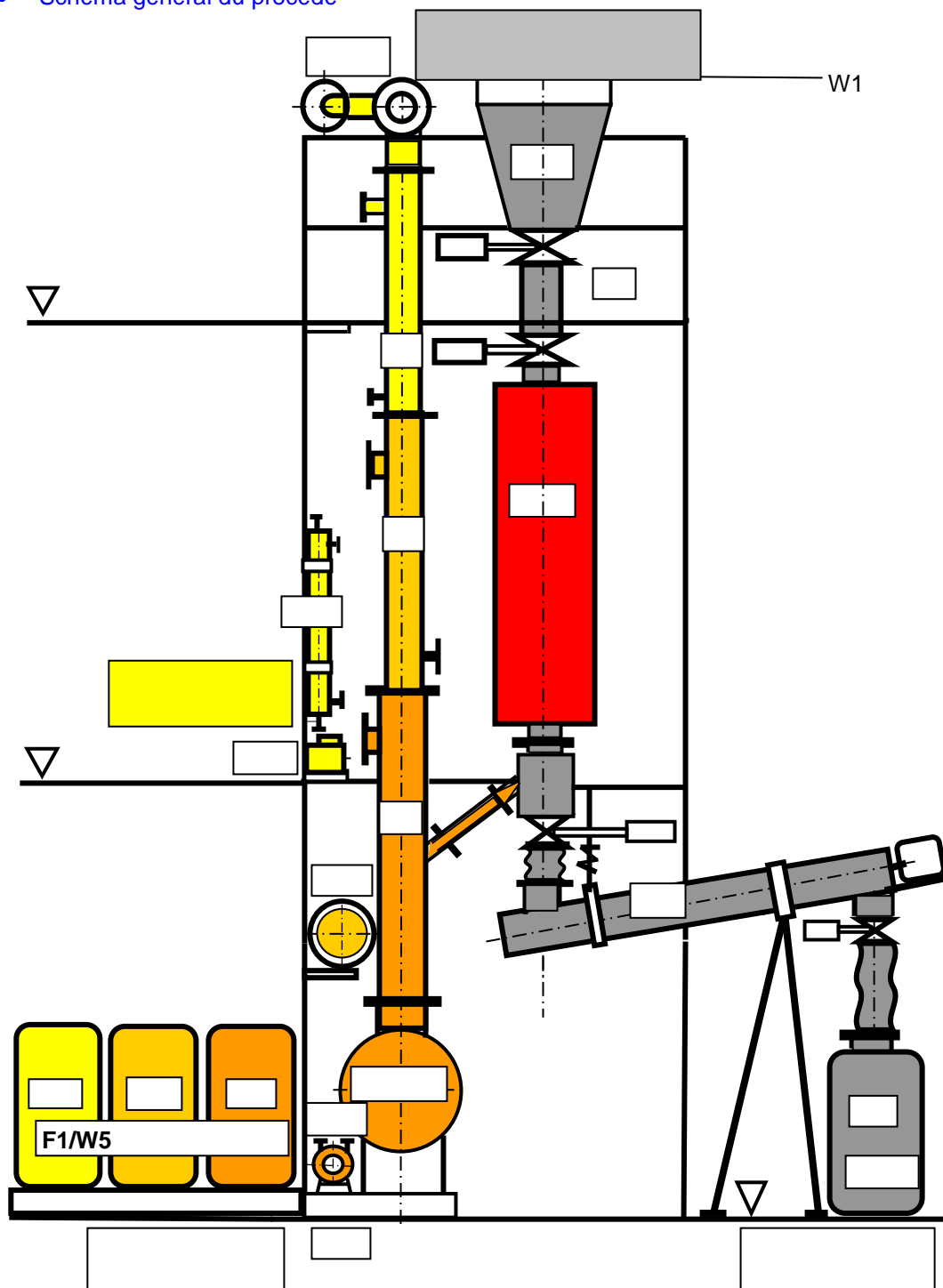
Degré de développement	Déchets traitées	Produits sortants
Démonstrateur (en construction)	Pneus Bouteilles plastiques, produits à base de bitume, plastique en tous genres (sauf PVC), EPDM, carcasses d'animaux	Huile + gaz + coke + noir de carbone

**1- Caractéristiques de base du procédé**

Principe et étapes du procédé	Pyrolyse en continu de caoutchoucs et plastiques (sauf PVC). Chauffage en absence d'air. Refroidissement des produits finis.
Plage de capacité	Conception modulaire (5 000t/an).



- Schéma général du procédé



<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>Prototype situé à Dillingen (Sarrel, Allemagne) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité : 1t / jour</li> <li>- Démarrage : 2008</li> <li>- Déchets testés et validés : Pneus usagés, bouteilles plastiques, produits à base de bitume, plastique en tous genres (sauf PVC), EPDM, carcasses d'animaux.</li> <li>- Déchets en cours de validation : Polystyrène, sables bitumeux.</li> </ul>
<b>Installations en construction ou en projet</b>	<p>Pyrum termine actuellement l'ingénierie d'un module de 5000 t/an de capacité (granulés) à Dillingen (Allemagne), avec un démarrage de la construction prévu mi 2012.</p>
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
<b>Besoins de préparation de la charge</b>	<p>Granulométrie : &lt;14mm.</p> <p>La charge peut être constituée de plusieurs types de déchets mélangés, mais la qualité des produits finis en sera diminuée.</p> <p>La charge peut être constituée d'un mélange de déchets biomasse et non biomasse.</p> <p>Pas d'additif nécessaire.</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Pour une tonne de granulats de pneus, 500kg d'huile, 380kg de coke et 120kg de gaz.</p> <p><u>Fractions solides</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coke sec (utilisable en tant que charbon actif)</li> <li>- Noir de carbone</li> </ul> <p><u>Fraction liquide</u> (huile). Pyrum mentionne la possibilité de transformer en aval en diesel et essence, en effectuant un raffinage en aval. En pratique, ce processus n'a pas été testé.</p> <p><u>Fraction gazeuse</u> :</p>

	Composantes majeures : méthane et hydrogène  Le gaz est transformé en énergie électrique dans le but de mettre en place un système autonome en énergie.
Co-produits et résidus de fabrication	Aucun résidu de fabrication.

<b>5- Déchets et effluents</b>	Pas de déchets.
--------------------------------	-----------------

<b>6- Bilan énergétique</b>	Pas de besoin extérieur. La fraction gazeuse produite est totalement réutilisée en interne.  Coke 2,857kW/kg (pneus)  Pétrole 5,714kW/kg (pneus)  Gaz 1,428kW/kg (pneus)
-----------------------------	--

<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	Les gaz diffèrent en volume et en composition, selon les déchets traités. Dans tous les cas, il y a possibilité de les transformer en énergie électrique. Cependant, il peut arriver que le gaz produit ne soit pas suffisant pour faire tourner l'usine de façon autonome. Dans ce cas, il faut utiliser de l'énergie extérieure pour préparer les déchets entrants.
---	---

<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevet n° PCT/DE2010/000499
--	-----------------------------

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	- Investissement : 6 millions d'euros (pour une unité de 5.000 t/an de pneus). Le taux de retour sur investissement est élevé car, contrairement aux autres procédés de pyrolyse des pneus, ce procédé fonctionne 24h/24 (pas besoin d'arrêts fréquents pour maintenance et nettoyage).  - Prix de reprise : En moyenne, 40€/tonne (pneus, caoutchoucs divers)  - Prix de vente des produits : Coke 150€/T, Pétrole 500€/T, Acier (pneus) : 200€/T
---	--

<b>10- Stratégie commerciale</b>	A l'origine, la vocation de Pyrum était de construire sa propre usine. Aujourd'hui, l'entreprise cherche à diffuser son procédé.
----------------------------------	--

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Pyrum SAS et Pyrum GmbH Julien Dossmann (DG) Tél: 03 88 69 85 37 / 06 79 97 97 50 <a href="mailto:Julien.dossmann@pyrum.net">Julien.dossmann@pyrum.net</a>

### 37 Rentech (SilvaGas)

**Procédé : SilvaGas (gazéification)**

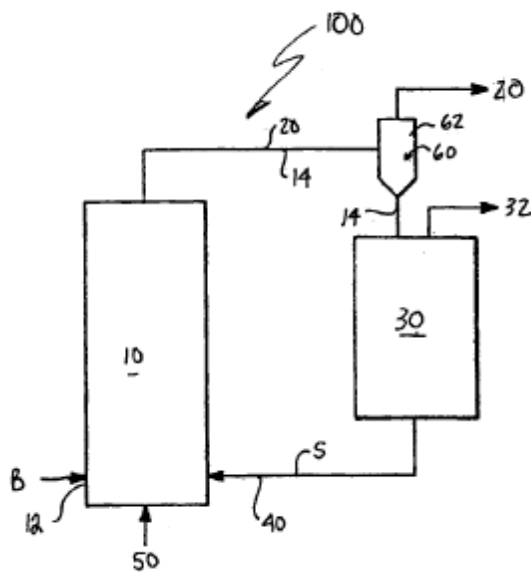
**Porteur du procédé : Rentech (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur (arrêté)	Bois (biomasse propre) Bois usagé (en projet)	Gaz de synthèse → électricité + chaleur

#### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Gazéification atmosphérique sur lit fluidisé circulant. En parallèle, chambre de combustion du résidu lourd sur lit fluidisé circulant, produisant le sable chaud.  En aval, possibilité de transformer le gaz de synthèse en liquides par synthèse F&T.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	350 t/jour de déchets.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>Une unité de démonstration commerciale (capacité : 350t/jour de bois) a été exploitée avec succès à Burlington (Vermont, USA) de 1997 à 2002. Le gaz de synthèse permettait d'alimenter des chaufferies à bois. Elle a été arrêtée du fait de sa faible efficacité énergétique.</p> <p>Des essais ont été effectués sur le bois et la sciure de bois.</p> <p>Autres déchets possibles : herbe, paille, déchets ménagers solides.</p>
<b>Installations en construction ou en projet</b>	<p>La société « Biomass Gas &amp; Electric » développe actuellement un projet de 540 t/jour de déchets de bois à Forsyth County (Géorgie, USA) et deux autres usines sont prévues avec la société « Process Energy ».</p> <p>Rentech a annoncé en mai 2009, qu'il allait utiliser le gazéifieur SilvaGas dans son usine de Rialto (Californie) pour fabriquer des carburants par synthèse F&amp;T ainsi que de l'énergie, à partir de 800t/jour de déchet urbains de bois en 2012. En mai 2011, le projet était toujours en attente de financement.</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Gaz de synthèse utilisé pour la production de chaleur et d'électricité.</p> <p>Volonté de produire à l'avenir des liquides par synthèse Fischer-Tropsch.</p>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	<p>Brevets: WO2007112101 (A2) / EP2007855 (A2) (31/12/2008)</p> <p>Le procédé F&amp;T et les technologies d'élimination des gaz acides/corrosifs sont conçues dans le cadre d'une coopération avec UOP (groupe Honeywell).</p>

<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Rentech a acquis la société SilvaGas Corp. et sa technologie de gazéification des déchets de biomasse.</p> <p>Rentech prévoit de développer une offre basée sur la technologie de gazéification Rentech-SilvaGas et sur le procédé Rentech de production de carburants et d'électricité.</p> <p>Rentech a également acquis 25% de la société ClearFuels Technology Inc.. Un gazéifieur de biomasse ClearFuels sera installé dans l'unité de démonstration.</p>
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Contact: Julie Dawoodjee, Vice President of Investor Relations and Communications</p> <p>Rentech, Inc., USA</p> <p>Tél: 310-571-9800, extension 341</p> <p><a href="mailto:ir@rentk.com">ir@rentk.com</a></p>
Coordonnées des exploitants ou des propriétaires des unités	

### 38 Solena Fuels (SPGV)

**Procédé : SPGV (gazéification)**

**Porteur du procédé : Solena Fuels (BTL) \ Solena Group (IPGCC) (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	<p>Tous types de déchets de biomasse, incluant les déchets municipaux solides, les déchets forestiers, agricoles</p> <p>Déchets d'aéroports (projet)...</p>	<p>Carburant aviation</p> <p>Carburant diesel</p> <p>Energie électrique.</p>

#### 1- Caractéristiques de base du procédé

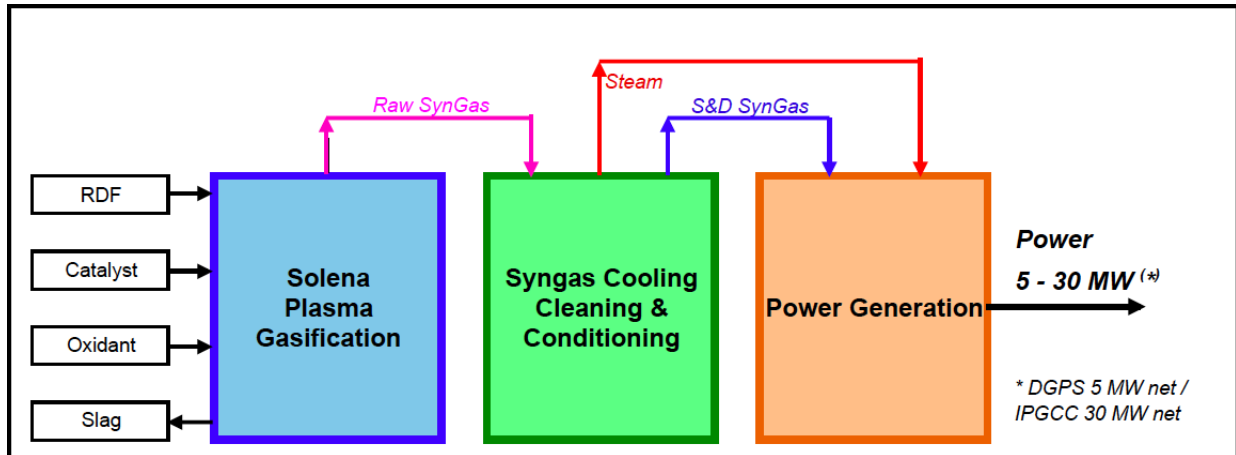
Principe et étapes du procédé	<p>Gazéification par plasma à haute température + synthèse Fischer et Tropsch.</p> <p>Deux procédés de vitrification et gazéification par torche à plasma ont été développés par Solena :</p> <p>Le procédé IPGCC (Cycle combiné de gazéification par plasma), qui utilise directement le gaz de synthèse comme combustible pour produire de l'énergie électrique. L'élément principal du procédé est le réacteur Solena de gazéification et vitrification par plasma, fonctionnant sur déchets de biomasse.</p> <p>Le procédé BTL (« Biomass-to-Liquids »), qui permet de produire du carburant (gazole ou naphta) par synthèse Fischer-Tropsch, en 3 étapes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etape 1 : Les déchets font l'objet d'une gazéification à haute température (jusqu'à 5000° C) par torche à plasma, en absence d'oxygène et à pression atmosphérique.</li> <li>- Etape 2 : Le gaz de synthèse est purifié et séché (élimination du H<sub>2</sub>S et du HCl).</li> <li>- Etape 3 : Traitement du gaz de synthèse par le procédé Fischer-Tropsch.</li> </ul>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Conception modulaire :</p> <p>IPGCC : 50 000 à 200 000 t/an.</p> <p>BTL: 550 000 t/an de déchets traités.</p>

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

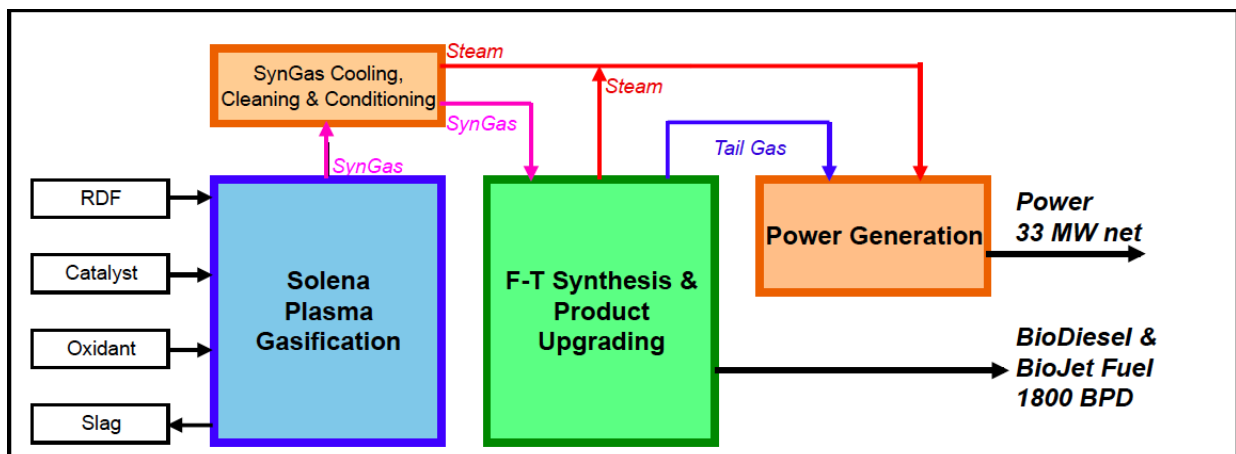


- Schéma général du procédé

**Procédé « IPGCC »**



**Procédé « BTL »**



**2- Références**

**Installations en fonctionnement**

Deux installations pilotes en fonctionnement :

Raleigh, North Carolina Test Facility (USA)

En coopération avec Solena, la société « Plasma Technology Corporation (PTC) » a testé plusieurs types de déchets depuis 1996. Les tests réalisés ont mis en évidence une consommation d'énergie très élevée, d'environ 1000 kWh par tonne de déchet traité. Environ 3 500 heures d'essais ont été

	<p>réalisées. Ont été testés avec succès :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomasse propre</li> <li>• Déchets municipaux</li> <li>• Pneus</li> <li>• Charbon &amp; déchets de charbon</li> <li>• Boues et sédiments des ports</li> <li>• Cendres volantes</li> <li>• Fluff (issu des VHU)</li> <li>• Déchets hospitaliers</li> <li>• PCB</li> <li>• Déchets riches en chrome ferreux</li> <li>• Déchets biologiques</li> <li>• Poussières de four électrique</li> <li>• Matériaux contenant de l'amiante</li> <li>• Fibres d'amiantes</li> <li>• Déchets de verre et de céramique</li> <li>• Peintures et solvants</li> <li>• Matériaux contaminés issus des décharges</li> <li>• Sols contaminés</li> <li>• Mélanges de différentes sources de biomasse avec des déchets solides municipaux, des pneus, du charbon, des cendres volantes.</li> </ul> <p><u>Madison, PA Pilot Plant Facility (USA)</u></p> <p>Un nouveau procédé de gazéification, basé sur l'utilisation d'un lit de coke, sous lequel sont localisées les torches à plasma et au dessus duquel est constitué le lit de biomasse a été testé depuis 2000 sur l'ancienne installation de démonstration de Westinghouse à côté de Madison (Pennsylvanie). Environ 8400 heures d'essais ont été réalisées.</p> <p>L'utilisation d'un lit de coke assure une distribution uniforme de la chaleur générée par le plasma. Toute la chaleur est transférée vers le lit de biomasse. Il en résulte une faible consommation d'énergie, de l'ordre de 150 kW par tonne de déchet traité.</p>
--	--

<p>Installations en construction ou en projet</p>	<p>Solena déclare avoir signé des contrats avec plusieurs compagnies aériennes, pour fabriquer du kérosène à partir de RDF issu des déchets urbains :</p> <p>Avec British Airways : installation d'une unité de gazéification + synthèse Fischer et Tropsch, dans l'est de Londres pour transformer 550 000 tonnes RDF en 30 M barrils de kérosène + 6 M barrils de naphta + 50 MW d'électricité produite à partir du « tail gas » de l'unité Fischer et Tropsch.</p>
---	---

	<p>Les 550 000 tonnes de RDF seront obtenues à partir d'environ 850 000 t/an de déchets urbains.</p> <p>Sur les 50 MW d'électricité produite, la moitié sera autoconsommée.</p> <p>La mise en opération commerciale est prévue fin 2014.</p> <p>Solena Fuels déclare développer un projet similaire pour Qantas à Sydney, SAS à Copenhague, Alitalia à Rome, Lufthansa à Hambourg et un consortium des membres de l'IATA à Gilroy (Californie).</p> <p>Solena revendique également la construction d'une unité à Cordoue (Espagne), pour un démarrage au 2ème trimestre 2013, destinée à produire exclusivement de l'électricité.</p>
--	---

### 3- Caractéristiques des intrants

<b>Besoins de préparation de la charge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les procédés IPGCC et BTL sont conçus pour traiter des mélanges de CSR et de déchets industriels, forestiers, agricoles ou tout autre type de déchet organique, idéalement ayant un PCI d'au moins 16 MJ/kg (3 800 kcal/kg).</li> <li>- Bien qu'aucune contrainte ne soit exigée en matière de granulométrie de la charge, la dimension optimale recommandée est d'environ 5 cm.</li> <li>- Les déchets mélangés sont acceptés.</li> <li>- Les mélanges de déchets biomasse et non biomasse sont acceptés.</li> <li>- Le catalyseur représente approximativement 3% du tonnage.</li> </ul>
--	---

### 4- Caractéristiques des produits sortants

<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Selon Solena, la température de process très élevée permet de produire un gaz de synthèse pratiquement exempt de suie, de goudrons, de NOx et de SOx.</p> <p>Solena déclare pouvoir fabriquer un carburant aviation (kérosène) satisfaisant au standard ASTM D 7566 09 et carburant diesel répondant au standard britannique DEF STAN 91-91, en mélange 50-50.</p> <p>Aucune preuve concrète ne permet toutefois de valider la réalité de cette revendication.</p>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	<p>Le principal sous-produit est constitué d'une scorie vitreuse produite par la vitrification de la fraction inerte de la charge. Solena estime la production de scorie à approximativement 10</p>

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

	<p>t/h dans le cas de l'installation BTL.</p> <p>Le soufre est récupéré sous une forme utilisable par l'industrie chimique</p>
<b>5- Déchets et effluents</b>	<p>Du fait de la température opératoire élevée, le réacteur SPGV ne produit aucun polluant (COSV, dioxines, furanes, NOx, goudrons, cendres volantes ou gaz de combustion.</p>
<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>L'unité BTL produit approximativement 33 MW net.</p> <p>Les gaz co-produits sont utilisés comme combustibles dans une turbine à gaz pour produire de l'énergie. L'usine produit, suffisamment d'énergie pour sa propre consommation de même que l'excédent est exportée vers le réseau électrique local.</p> <p>L'énergie récupérée permet de répondre aux besoins énergétiques de l'usine et d'exporter une partie vers le réseau électrique.</p> <p>Le système SPGV peut atteindre une efficacité de 90% sur le gaz froid, à la fois pour les énergies renouvelables et la production de biocarburant. Avec un besoin énergétique de seulement 150 kW par tonne de biomasse.)e procédé SPGV est environ 10 fois plus efficace que la technologie traditionnelle de pyrolyse par plasma.</p>
<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	<p>Les risques sont limités du fait de la conception modulaire.</p>
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	<p>Les brevets Solena concernent les procédés SPGV et IPGCC (2005 pour l'Union Européenne, 2006 pour les USA). Les brevets américains incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• U.S. Patent 5,544,597 – Plasma Pyrolysis and Vitrification of Municipal Waste (1996)</li> <li>• U.S. Patent 5,634,414 – Process for Plasma Pyrolysis and Vitrification of Municipal Waste (1997)</li> <li>• U.S. Patent 6,987,792 B2 / EU Patent EP1419220 B1 – Plasma Pyrolysis Gasification and Vitrification of Organic Material (2005-2006).</li> </ul>
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Solena développe la partie « gazéification » et s'appuie sur des partenariats avec des sociétés d'ingénierie (Fluor, Axens) pour la réalisation de la partie « synthèse Fischer et Tropsch ». Ils assurent par ailleurs l'intégration d'ensemble des projets.</p>

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Brian Miloski (CFO)</p> <p><a href="mailto:miloski@solenafuels.com">miloski@solenafuels.com</a></p> <p>Headquarters: 1000 Potomac Street, NW, Suite 301 Washington, DC 20007, USA Tél: +1 202 682 2405</p> <p>Représentant en France: Yves Bannel</p> <p>Tél: +33 646 427 834</p> <p><a href="mailto:ybannel@solenagroup.com">ybannel@solenagroup.com</a></p>

### 39 Thalès (WGS)

<b>Procédé : WGS</b>
<b>39.1.1 Société : Thalès</b>

Aucun contact n'a pu être établi avec le concepteur.

<b>1- Caractéristiques de base du procédé</b>	
Porteur du projet	Thales
Principe général du procédé	Gazéification avec système à billes de métal
Description des différentes étapes du procédé	<p><u>Extrait du brevet déposé par la société Thalès:</u></p> <p>Installation pour la production d'hydrogène et/ou de gaz de synthèse par réduction de la vapeur d'eau par du carbone dans une zone de gazéification d'un réacteur de gazéification, caractérisée en ce que la zone de gazéification est un lit de billes descendant comprenant des billes de coke et des billes de métal à une température de gazéification, et produisant un flux montant de gaz de gazéification, et en ce que l'installation comprend : un four apte à fournir en sortie des billes de coke à une température supérieure ou égale à une température de craquage, une conduite d'amenée des billes de coke chauffées fournies par ledit four, et débouchant dans une partie médiane du réacteur pour approvisionner gravitairement la zone de gazéification en billes de coke, ladite conduite permettant la remontée des gaz de gazéification à contrecourant des billes de coke, en sorte que la température des gaz atteigne une valeur suffisante à leur craquage dans une zone haute de la conduite, des moyens étant prévus dans ladite zone, permettant l'extraction des gaz de craquage produits, un dispositif d'approvisionnement du réacteur de gazéification en billes de métal chauffées, comprenant des moyens pour injecter les billes de métal chauffées dans la partie médiane du réacteur, et des moyens d'extraction de billes de métal en pied du réacteur de gazéification.</p>

<b>11- Profils et stratégies des intervenants</b>	
Structure porteuse du projet / promoteur du procédé	THALES
Surface financière	32-34 Rue Camélinat, Viry Chatillon, 91170
Coordonnées du promoteur du procédé	Tél : 01 57 77 80 00 Marc Cantegril

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## 40 Toshiba (SPR)

**Procédé :** Pyrolyse

**Porteur du procédé :** Toshiba Corp. (Japon), en partenariat avec Sapporo Plastics Recycling Co. Ltd. (SPR)

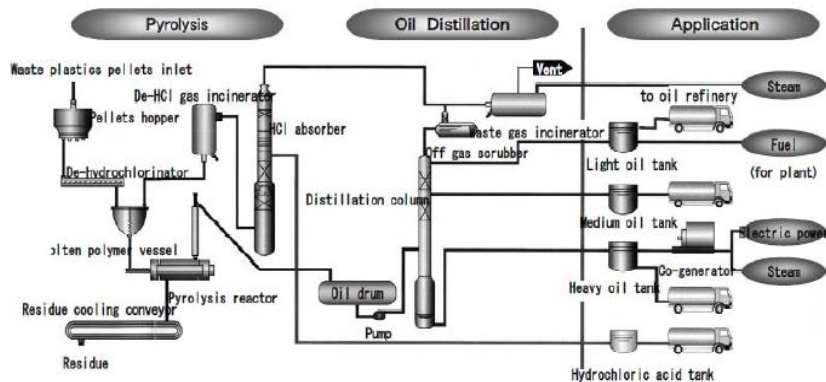
Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Industriel	Déchets plastiques	Huile lourde + huile moyenne + huile légère.

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Les déchets sont broyés, séchés, triés puis transformés en pellets (diamètre 6mm x longueur 20mm).</p> <p>Ajout de chaux</p> <p>Traitement dans une unité de déchloration (350°C).</p> <p>Pyrolyse (350-450°C)</p> <p>Distillation de l'huile: huile légère: 50%; huile moyenne: 7%; huile lourde: 43%.</p> <p>Selon SPR, le procédé comporte deux aspects particulièrement originaux : d'une part une unité de déchloration permet de traiter des flux de déchets ayant un contenu élevé en PVC tout en produisant des huiles ayant une teneur en chlore inférieure à 100 ppm. D'autre part, l'utilisation d'un catalyseur spécial mélangé à la charge permet de contrôler la production d'acide benzoïque lors du traitement des déchets de PET et d'éviter une acidité excessive des huiles fabriquées.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	50t/jour de déchets (environ 15 000 t/an).

- Schéma général du procédé

**SPR Liquefaction process flow sheet**



Source: Sapporo Plastic Recycling

**2- Références**

**Installations en fonctionnement**

Une unité d'environ 15 000 t/an est en exploitation depuis 2000 à Sapporo (Ile de Hokkaido - Japon).

Capacité : 50 t/jour de déchets.

Déchets : déchets plastiques municipaux de la ville de Sapporo : PE (38%), PP (17%), PS (17%), PVC (3%), PET (12%) + eau.

**3- Caractéristiques des intrants**

**Besoins de préparation de la charge**

Charge composée de pellets.

Teneur maximale en PET et PVC: 20% en poids.

**4- Caractéristiques des produits sortants**

**Produits gazeux ou liquides fabriqués**

8,75 millions de litres d'huile/an produites à partir d'environ 15000t de déchets.

Produits de sortie de la distillation (raffinage)

- Coupe légère (distillation à 120°C) : utilisée pour le recyclage chimique en vue de la fabrication de plastiques.



	<p>- Coupe moyenne (200°C) utilisée comme carburant diesel</p> <p>- Coupe lourde (280°C) utilisée pour alimenter deux unités de cogénération de 2MW chacune.</p> <p>La production totale d'huiles s'élève à 8 750 m<sup>3</sup>/an.</p> <p>La production d'électricité s'élève à 4 MWe.</p>
<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	Résidu pulvérulent, utilisé comme combustible en mélange.

<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>Intrants : 53,6 MJ/kg</p> <p>Produits de sortie : 8,9 MJ/kg.</p>
-----------------------------	---

<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevets pour l'unité de déchloration.
--	---------------------------------------

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	L'exploitation de l'unité de Sapporo est subventionnée par la municipalité de Sapporo depuis le démarrage de l'unité (le montant de l'aide n'a pas été communiqué). La rentabilité économique dans le cas d'une application en Europe n'est donc pas assurée.
---	---

<b>11- Contacts</b>	
<b>Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France</b>	<p>Toshiba Corp. Water and Environmental Process Engineering Dept.</p> <p>1-1 Shibaura 1-chome, Minato-ku, 105-8001 Tokyo Japon</p> <p>Mr. Beili Wu</p> <p>Mr. Keiji Wakai</p> <p>La société canadienne "Klean Industrie" assure le marketing pour l'Amérique du nord et l'Europe.</p> <p>Opérateur : Sapporo Plastics Recycling Co. Ltd.</p> <p>45-57 Nakanuma-cho, Higashi-ku, 007-0890 Sapporo Japon</p>

## 41 Tree Power

**Procédé :** Pyrolyse flash

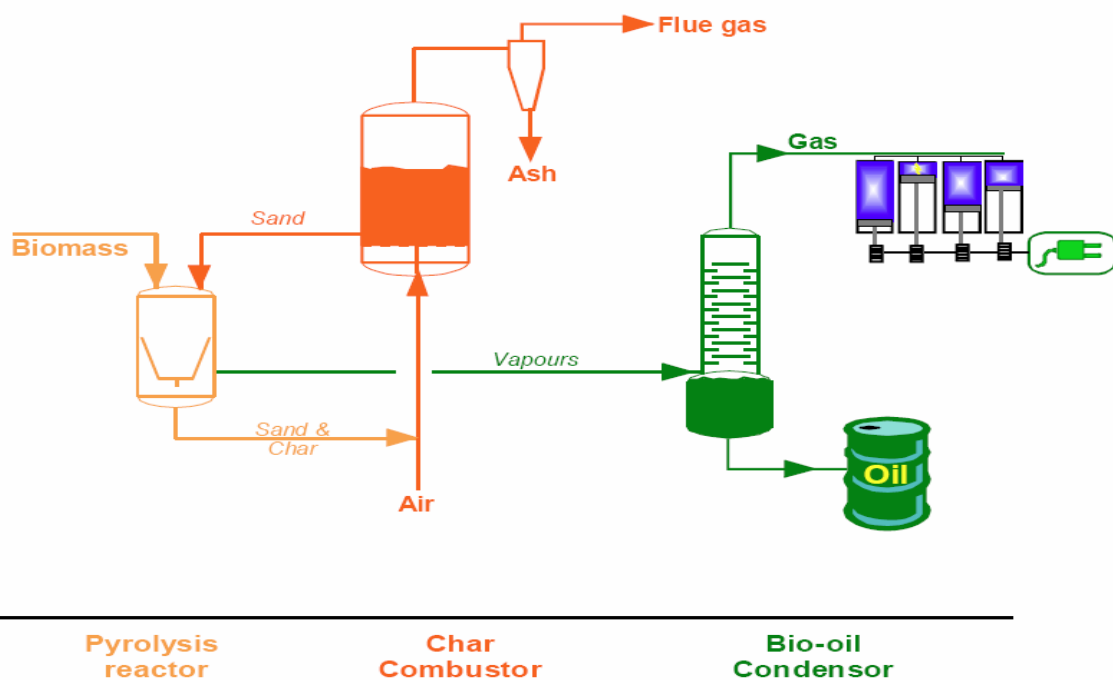
**Porteur du procédé :** Tree Power / Biomass Technology Group (USA)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Biomasse propre Boues de STEP	Huile de pyrolyse → combustible pour moteurs

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Pyrolyse Flash.</p> <p>Broyage, séchage, pyrolyse, précipitation par refroidissement.</p> <p>Combustion des sous-produits pour la production de l'énergie requise par le procédé et valorisation de l'énergie résiduelle.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	70 000 t/an de déchets.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>2- Références</b>	
<b>Installations en fonctionnement</b>	<p>Pilote de 80 à 250 kg biomasse/heure, implanté aux USA.</p> <p>Déchets: Bois, boues de STEP, paille, tabac, bagasse, résidus de palme.</p>
<b>Installations en projet</b>	<p>Tree Power France recherche activement un lieu d'implantation correspondant à son cahier des charges.</p> <p>Capacité : 70.000 tonnes de biomasse par an</p> <p>Degré de développement : démonstrateur industriel</p> <p>Types de déchets envisagés: Tous types de biomasse solide dont une fraction de bois.</p>
<b>3- Caractéristiques des intrants</b>	
	<p>Granulométrie : jusqu'à 6 mm.</p> <p>Humidité : jusqu'à 10%.</p> <p>Biomasse solide et exempte de résidus non naturels ou de traitements : bois, pailles, cosses, bogues, etc.....</p> <p>Un mélange de déchets est possible. Dans un premier temps une certaine homogénéité sera privilégiée.</p> <p>La charge doit être constituée uniquement de biomasse.</p> <p>Aucun additif n'est nécessaire.</p>
<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
<b>Produits gazeux ou liquides fabriqués</b>	<p>Huile de pyrolyse (PCS : 18GJ/t, Pt éclair : 60°C) est destinée dans un premier temps à la combustion et ultérieurement à la chimie verte.</p> <p>L'huile de pyrolyse est composée de divers hydrocarbures, de composition générique : <math>C_2H_5O_2</math>.</p> <p>L'huile de pyrolyse sera destinée à la combustion en substitution au fuel lourd dans un premier temps.</p>

<b>Co-produits et résidus de fabrication</b>	<p>La chaleur résiduelle dégagée par la combustion des sous-produits de la pyrolyse sera valorisée comme chaleur de process industriels ou pour la production d'électricité (+/- 5MWth par unité).</p> <p>Cendres composées des minéraux présents dans la biomasse: 3-5%.</p>
<b>5- Déchets et effluents</b>	Déchets : Minéraux uniquement. Utilisation en amendement agricole ou en cimenterie
<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>Apport uniquement au démarrage de l'unité. La combustion des sous-produits de la réaction génère l'énergie requise par le procédé de pyrolyse et l'énergie de séchage en amont.</p> <p>Environ 70% de la masse de la biomasse sera convertie en huile de pyrolyse. Le solde est converti en chaleur résiduelle qui sera valorisée en fonction des débouchés locaux. Le bilan énergétique sera donc déterminé en fonction du site retenu.</p>
<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	<p>Pour la transformation de sous-produits issus de la filière bois le procédé est bien maîtrisé. Pour d'autres types de biomasse le procédé devra être optimisé.</p> <p>La teneur en minéraux (écorches &amp; feuillage) déterminera la quantité de cendres produites. La qualité et l'origine de la matière première détermineront la composition exacte de l'huile (les phénols sont par exemple issus de la pyrolyse de la fraction de lignine).</p>
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	Brevets détenus par Biomass Technology Group pour le réacteur et le procédé.
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Le prix de vente de l'huile de pyrolyse vendue comme combustible sera fixé en fonction du prix du fuel lourd (+/- 250-300€/tonne).
<b>10- Stratégie commerciale</b>	Tree Power France créera une société par unité installée sur le territoire français. Dans chaque unité des partenaires locaux seront invités à participer au tour de table.

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	Mr Alain Six Tree Power France 1 rue des Fermiers 52160 – Auberive - France alain.six@treepower.fr

42 T-Technology

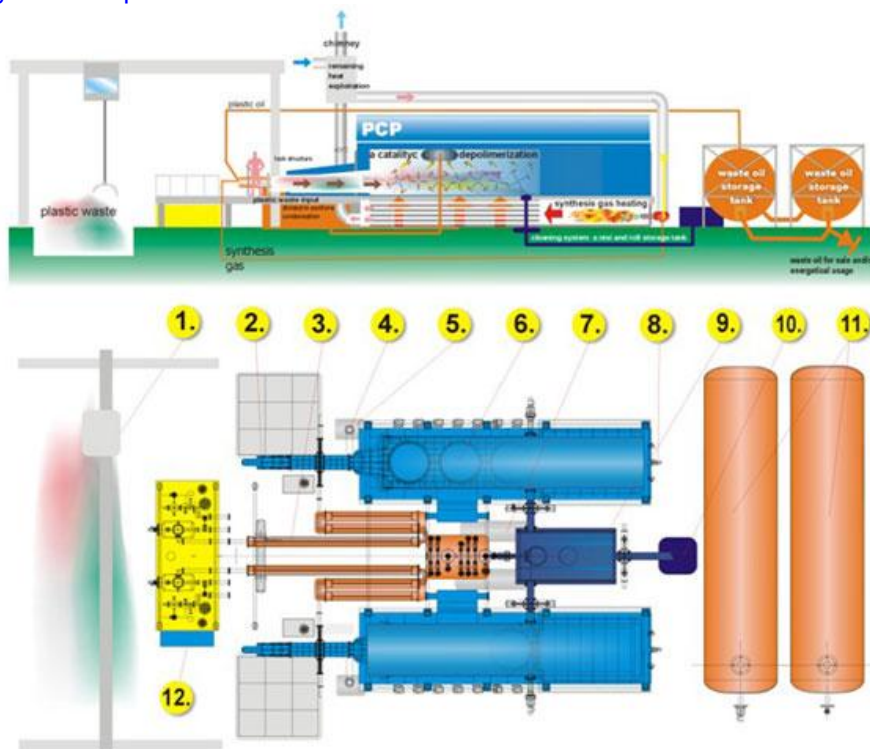
**Procédé :** Dépolymérisation catalytique et thermique

**Porteur du procédé :** T-Technology (Hongrie)

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
n.r	Déchets plastiques	Hydrocarbure liquide pouvant être utilisé soit comme carburant pour véhicule ou combustible pour machine thermique, ou par l'industrie chimique.

En dépit de nombreuses relances, l'entreprise n'a pas pu être contactée.

- Schéma général du procédé



1. Raw material store
2. Manual feed
3. Rectifier
4. Stack
5. Heating system heat exchanger
6. Reactor
7. Rectifier system heat exchanger
8. Heating system
9. Cleaning system heat exchanger
10. Cleaning system final storage
11. Finished product store
12. Inspection & Control system

## 43 Vadxx

**Procédé : Dépolymérisation thermique**

**Porteur du procédé : Vadxx (USA)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Démonstrateur	<p>Déchets plastiques</p> <p>Textiles automobiles</p> <p>Déchets médicaux</p> <p>Pneus</p> <p>Solvants industriels usés</p>	Huile

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Traitement en continu de la charge par dépolymérisation thermique.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	L'unité modulaire sera conçue pour une capacité de 2 t/h, soit 10 000 à 14 000 t/an de déchets traités.

- Schéma général du procédé  
Non disponible.

### 2- Références

Installations en fonctionnement	L'entreprise dispose d'un laboratoire et d'une usine de démonstration localisés à Akron (Ohio, USA). Les déchets utilisés incluent les textiles automobiles, déchets médicaux, pneus usés, plastiques, fibres synthétiques et solvants industriels usés.
---------------------------------	--



Installations en construction ou en projet	<p>Vadxx réalise sa première usine commerciale à Akron (Ohio, USA) en partenariat avec la société « Greenstar Recycling », pour traiter des emballages plastiques ménagers issus de la collecte sélective. L'unité Vadxx/Greenstar devrait être opérationnelle au second semestre 2012.</p> <p>Deux nouvelles usines commerciales permettant de transformer les déchets médicaux et les pneus usagés en huile sont en étape de planification devraient être opérationnelles à Cleveland (Ohio) en 2013.</p>
--	---

#### 4- Caractéristiques des produits sortants

Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Huile légère à faible teneur en soufre : 75% (35 à 45 degrés API).</p> <p>Produit similaire à du gaz naturel : 15%. Ce gaz sera transformé en électricité pour alimenter les besoins de l'unité en énergie.</p>
Co-produits et résidus de fabrication	

#### 11- Contacts

Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Contact: Sean Arnold</p> <p>1768 East 25th Street, Cleveland, OH 44114 , USA</p> <p><a href="http://www.vadxx.com">www.vadxx.com</a></p> <p>Tél: 440.336.3789</p> <p><a href="mailto:sarnold@vadxx.com">sarnold@vadxx.com</a></p> <p><a href="mailto:info@vadxx.com">info@vadxx.com</a></p>
---	--

## 44 Wartsila (Novel)

**Procédé : Novel (gazéification)**

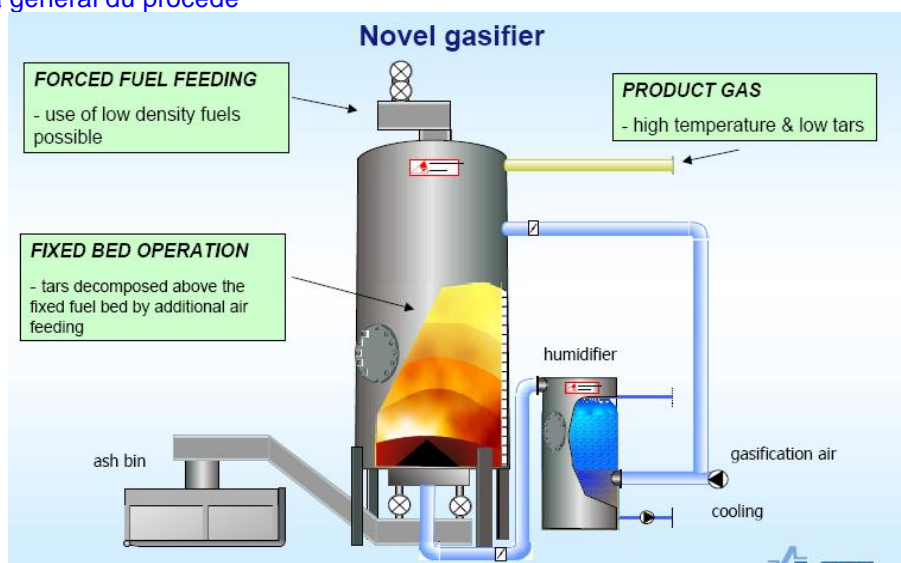
**Porteur du procédé : Wartsila Corporation (Finlande)**

Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Bois, écorces (biomasse propre) Résidus de sciage Bois usagés (classe B) RDF Boues de STEP Bois de démolition	Gaz de synthèse utilisable comme combustible pour moteurs

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	Procédé développé initialement par Condens Oy et VTT. Gazéification à lit fixe.
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	1 à 10 MWe.

- Schéma général du procédé



Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>2- Références</b>	
Installations en fonctionnement	<p>Unité pilote de VTT et CONDENS OY, localisée à Espoo (Finlande).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déchets : bois brut, RDF, sciures, écorces, bois de démolition, meubles usagés, déchets ménagers, boues de STEP</li> <li>- Humidité: maxi. 0 –60 %</li> <li>- Granulométrie : 0 –50 mm</li> </ul>

Installations en construction ou en projet	Non.
--	------

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	Gaz pour moteurs thermiques.
Co-produits et résidus de fabrication	

<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	Centrale à gaz Novel de Kokemäki : Investissement : 4,5 M€
---	--

<b>10- Stratégie commerciale</b>	La licence de la technologie de gazéification Novel a été cédée à Wartsila Corporation.
----------------------------------	---

<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>Pekka Simell</p> <p>Senior Research Scientist</p> <p>VTT, Finlande</p> <p>Tél. +358 20 722 5461</p> <p>pekka.simell@vtt.fi</p>

## 45 Xylowatt

**Procédé : Gazéification**

**Porteur du procédé : Xylowatt (Belgique)**

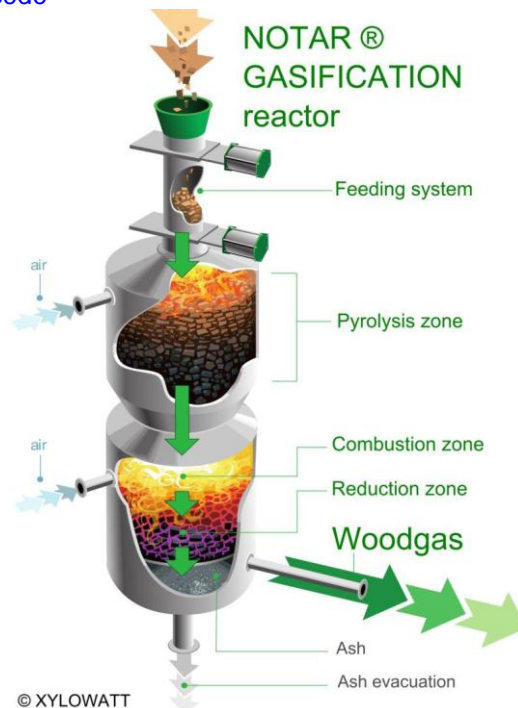
Degré de développement	Déchets traités	Produits sortants
Pilote	Tous déchets de biomasse	Gaz de synthèse → moteurs thermiques

Plusieurs unités industrielles utilisant de la biomasse propre et générant un gaz de synthèse utilisé en moteur à gaz pour la production d'électricité, sont en fonctionnement.

### 1- Caractéristiques de base du procédé

Principe et étapes du procédé	<p>Gazéifieur atmosphérique multi-étagé à lit fixe en co-courant.</p> <p><u>Réacteur de gazéification</u> : Le réacteur NOTAR® comporte 3 étapes : pyrolyse (à une température variant entre 200 et 700°C), combustion (1200°C) et réduction à haute température. Ces réactions se déroulent dans des zones dédiées. La conception multi-étagée permet d'avoir une combustion en phase gazeuse détruisant la quasi-totalité des goudrons (99,95%) et évitant la formation de mâchefer.</p> <p><u>Unité de conditionnement du gaz</u> : Le syngas est traité pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• extraire les particules de poussière et les dernières traces de goudron,</li> <li>• condenser les vapeurs d'eau excédentaires,</li> <li>• refroidir le gaz avant l'introduction dans le moteur.</li> </ul> <p><u>Production d'énergie</u> : Le syngas peut être utilisé dans des moteurs à combustion interne pour la cogénération ou en combustion directe dans des procédés industriels.</p>
Plage de capacité (t/an de déchets secs) / degré de modularité	<p>Modules unitaires de gazéification : 1750, 3150 ou 5600 tonnes de matière sèche/an de biomasse.</p> <p>Centrales : 1 à 5 modules, soit 1750 à 28000 tonnes de matière sèche/an de biomasse.</p>

- Schéma général du procédé



## 2- Références

### Installations en fonctionnement

Un pilote est en fonctionnement à Louvain-La-Neuve (Belgique) depuis 2010 (capacité : 40 kg/h de déchets) sur des déchets de biomasse autres que biomasse propre.

Sur déchets de biomasse propre, deux types d'installations sont en fonctionnement au plan industriel :

- Cogénération (électricité + chaleur) (puissances de 0.3MWe à 5MWe)
- Gaz de synthèse en substitution de combustibles fossiles dans des procédés industriels (puissances de 4 à 16MW gaz).

Centrale (client)	Capacité	Degré de développement	Année de démarrage	Intrants	Produits
Louvain-La-Neuve (phase pré-industrielle)	0.1MWe 0.3MWe 0.3MWe	3 pilotes et démonstrateurs	1990-2001	Bois naturel (plaquettes)	Electricité + chaleur  Mise au point de la technologie
Mariembourg, Belgique	0.6 MWe +	Démonstration	2005 (arrêt)	Bois naturel	Electricité +

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

(Electrabel)	1.2 MWth 2500 tonnes MS/an	(1 <sup>ère</sup> génération)	en 2007)	(plaquettes)	chaleur
Gedinne, Belgique  (commune)	0.3 MWe + 0.6 MWth  1400 tonnes MS/an	Industriel (1 <sup>ère</sup> centrale NOTAR®)	2007	Bois naturel (plaquettes)	Electricité + chaleur
Tournai, Belgique  (commune)	0.3 MWe + 0.6 MWth  1400 tonnes MS/an	Industriel	2009	Bois naturel (plaquettes)	Electricité + chaleur
Louvain-La- Neuve, Belgique (université)	150kW gaz  40 kg/heure	Pilote (copie conforme des installations industrielles pour réaliser des tests de diverses biomasses et continuer la recherche scientifique sur la gazéification)	2010	Tous combustibles	Gaz + toutes mesures / essais
Epernay, France  (Saint-Gobain Emballage)	1MW gaz  1750 tonnes MS/an	Industriel	2011	Bois naturel (plaquettes)	Gaz de synthèse renouvelable
Royaume-Uni  (Veolia Environnement)	0.3 MWe + 0.6 MWth  1600 tonnes MS/an	Industriel	2011	Bois naturel (plaquettes)	Electricité + chaleur

## 2- Références

Installations en construction ou en projet

Centrale (client)	Capacité	Degré de développement	Année de démarrage	Intrants	Produits
Yvoir, Belgique (CHU Mont-Godinne)	0.7 MWe + 1.4 MWth  4900 tonnes Ms/an	Industriel	2012	Bois naturel (plaquettes)	Electricité + chaleur
Bruxelles, Belgique (Brussels Wood Renewable)	1 MWe + 2 MWth  5900 tonnes/an	Industriel	2013	Bois recyclé de type C, traverses de chemin de fer (plaquettes)	Electricité + chaleur

### 3- Caractéristiques des intrants

Besoins de préparation de la charge	<p>Granulométrie :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Particules &lt; 2.5 mm max. 5% en masse</li> <li>• Particules &lt; 5mm max 30% en masse</li> <li>• Particules &gt; 20mm max 20% en masse</li> <li>• Dimension maximale 120mm</li> </ul> <p>Pas d'additifs nécessaires</p>
<p>Déchets mélangés acceptés ?</p> <p>Mélange de déchets biomasse et non biomasse (possible/recommandé) ?</p>	<p>Déchets : depuis les sous-produits de l'exploitation forestière jusqu'aux bois contaminés. Essais concluant avec des boues de station d'épuration, des CSR (combustibles solides de récupération), bois créosoté, sous-produits agronomiques.</p> <p>La charge peut être constituée de plusieurs types de déchets mélangés.</p> <p>La charge peut être constituée d'un mélange de déchets biomasse et non biomasse, à condition d'avoir suffisamment de carbone fixe dans la non-biomasse.</p>

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

<b>4- Caractéristiques des produits sortants</b>	
Produits gazeux ou liquides fabriqués	<p>Gaz de synthèse : &lt;10mg/Nm<sup>3</sup> impuretés ; &lt;1% H<sub>2</sub>O) ; &lt;10°C)</p> <p>2 types :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Air comme agent de gazéification : PCI de 5.4 MJ/Nm<sup>3</sup> ; composition typique 22.5%vol CO, 17.6% H<sub>2</sub>, 2% CH<sub>4</sub>, 10.5% CO<sub>2</sub>, 45.1% N<sub>2</sub> ; PCI du mélange air-gaz stœchiométrique à 2.51 MJ/Nm<sup>3</sup>, soit 25-30% seulement en dessous du mélange air-gaz naturel)</li> <li>• Oxygène comme agent de gazéification : PCI de 9.5 MJ/Nm<sup>3</sup> ; composition typique 43.6% CO, 34% H<sub>2</sub>, 0.8 CH<sub>4</sub>, 18.4% CO<sub>2</sub>, 3.2%N<sub>2</sub> ; PCI du mélange stœchiométrique à 3.2 MJ/Nm<sup>3</sup>, soit seulement 5-10% en dessous du mélange air-gaz naturel)</li> </ul> <p>Gaz bien adapté pour la substitution de gaz naturel ou de combustible fossile (fioul, etc...) dans des procédés exigeant en qualité de gaz (moteurs à combustion interne, process industriel type four verrier, four à brique, etc...)</p>
Co-produits et résidus de fabrication	<p>Co-produit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biochar (cendres carbonées), avec teneur en carbone de 10%, PCI de 7.5MWh/tonne, pour environ 10% de la masse initiale en biomasse.</li> </ul> <p>Résidus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensats, issus de la condensation de l'eau résiduelle dans le gaz dans l'unité de conditionnement (pour la prévention de la corrosion dans les applications, etc...), pour environ 15% de la masse initiale en biomasse.</li> </ul> <p>La quantité de goudrons est quasi inexistante depuis le nouveau réacteur NOTAR® mis au point en 2007 (&lt;0.5% de la masse initiale en biomasse)</p>

<b>5- Déchets et effluents</b>	
	<p>Déchets : Mélange de goudrons, méthylester et fines particules : &lt;0.5% de la masse initiale en biomasse.</p> <p>Condensats : environ 15% de la masse initiale en biomasse.</p> <p>Les gaz d'échappement respectent les normes européennes et nord-américaines les plus strictes en termes d'émissions atmosphériques.</p>



<b>6- Bilan énergétique</b>	<p>Procédé autothermique. L'énergie nécessaire aux réactions est fournie par les autres processus thermochimiques se déroulant dans le même volume.</p> <p>Le rendement énergétique de conversion de la biomasse en gaz de synthèse renouvelable est de l'ordre de 70 à 80%.</p>
<b>7- Contraintes et limites du procédé</b>	<p>Les variations dans la composition des gaz de sortie sont limitées et compatibles avec un fonctionnement correct des moteurs à combustion assez exigeants.</p>
<b>8- Niveau de propriété industrielle</b>	<p>Confidentialité sur savoir-faire.</p> <p>Brevets sur cœur de technologie en cours de dépôt</p>
<b>9- Aspects économiques et financiers</b>	<p>Modules complet de gazéification et conditionnement du gaz :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1000kW, gazéification à l'air : 1 M€</li> <li>• 1700kW, gazéification à l'air : 1.5 M€</li> <li>• 4000kW, gazéification à l'oxygène : 2 M€</li> </ul> <p>Périphériques (stockage-séchage biomasse, connexions, génie civil et bâtiments), engineering et gestion de projet au cas par cas.</p>
<b>10- Stratégie commerciale</b>	<p>Design, Construction et Opération/Maintenance de centrales de gazéification basées sur technologie NOTAR®</p> <p>Co-développement de projets avec des partenaires sur des projets spécifiques ou à l'export (Eneria, Cofely, GDF-Suez, etc...)</p>
<b>11- Contacts</b>	
Coordonnées du promoteur du procédé / de son représentant en France	<p>XYLOWATT sa</p> <p>Rue Thomas Bonehill, 30</p> <p>B-6030 Charleroi</p> <p>Tél. : +32 (0)71 606 800</p>

## Annexe 5 : Gisements de déchets potentiellement captables par les procédés étudiés

Pour chaque type de déchet identifié lors de l'analyse des procédés, la présente annexe analyse le tonnage total de déchets collectés, puis identifie la proportion des flux qui est valorisée énergétiquement ou mise en stockage. Dans certains cas, les données n'étant pas suffisantes, nous avons limité l'analyse à l'évaluation du gisement total.

### Liste des gisements analysés

Plastiques (déchets de production et de transformation)
Refus de tri des recyclables légers
Papiers usagés
Bois usagé
Ordures ménagères résiduelles (OMR)
Déchets verts humides (herbe...)
Farines animales
DIB
Pneumatiques
RBA (Résidu de broyage automobile)
Résidu de broyage des DEEE
Déchets hospitaliers
Boues de STEP
Déchets des cantines et du catering
Déchets des IAA
Lisier
Déchets industriels dangereux
Cendres d'incinération
Liqueur noire
Boues de papeteries
Déjections de poulaillers

### PLASTIQUES

#### Gisement : Déchets de production, déchets de transformation

Le tonnage collecté est estimé à 670 000 tonnes<sup>58</sup>. Sur ce total, 380 000 tonnes sont traitées à l'extérieur des usines génératrices des déchets, dont environ 152 000 tonnes ne sont pas recyclées.

Ce tonnage est en diminution tendancielle sous l'effet des délocalisations d'usines de transformation et des efforts de tri pour le recyclage. Le gisement de déchets de production potentiellement disponible pourrait diminuer à environ 100 000 tonnes par an à l'horizon 2013/2015.

Ces déchets non recyclés sont généralement très mélangés, souillés ou dégradés.

<sup>58</sup> Source : AJI-EUROPE, pour PlasticsEurope - « Quantitative and qualitative assessment of industrial plastic scrap in Western Europe ».

## REFUS DE TRI DES RECYCLABLES LEGERS

A l'exception de 3 % des flux allant directement en recyclage, les recyclables légers collectés sélectivement sont traités en grande majorité soit dans des unités de tri spécialisées « ordures ménagères » soit dans des unités de tri mixtes traitant à la fois les OM et les DIB.

Le taux moyen de refus de tri dans ces centres de tri atteint 23%, soit environ 700 kt/an. La composition de ces refus, bien que mal caractérisée, est du type suivant :

- des plastiques souillés (dont une proportion non négligeable de non-emballages)
- des papiers et cartons
- des objets métalliques divers, dont beaucoup de petits opercules métalliques
- une proportion élevée d'objets divers (y compris des produits atypiques).

Sur les 700 kt de refus de tri issus de la collecte sélective de matériaux secs, on estime à environ 80 kt la fraction potentiellement disponible.

L'extension du champ de la collecte sélective des déchets des matériaux secs (emballages ménagers, ...) pourrait conduire à un gisement de l'ordre de 130 ktonnes à l'horizon 2013.

Ces refus de tri sont valorisés énergétiquement à 55 %, les 45 % restant vont en décharge (proportion identique aux ordures ménagères).

**Source : Etude ADEME - Etat de l'Art de la valorisation énergétique des déchets non dangereux en cimenteries – Octobre 2009.**

## Gisement : PAPIERS USAGES

Le flux captable des papiers usagés est traité dans deux autres rubriques :

- ✓ les refus de tri des recyclables légers
- ✓ les DIB.

## BOIS USAGE

Déchets de bois brut ou traité avec des substances non dangereuses (palettes...): 1835 kt en 2008

- ✓ Pour les seuls bois classés A et B la ressource annuelle est évaluée à plus de 7 Mt<sup>59</sup> ;
- ✓ Les bois créosotés représentent un flux constant de l'ordre de 220 000 t/an jusqu'en 2020 et 110 000 t/an ensuite ;
- ✓ les bois contenant des métaux de type CCA (chrome, cadmium, arsenic), CCB (sulfate de cuivre, dichromate de sodium, acide borique) ou CC (oxyde de cuivre, trioxyde de chrome). La filière de collecte de ces bois fortement adjuvantés est en cours d'organisation. Pour les 20 prochaines années, les quantités sont croissantes de 130.000 t/an à 630.000 t/an.

<sup>59</sup> Source : Plaquette de présentation du projet Litélis Orgawatt de gazéification.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## ORDURES MENAGERES RESIDUELLES

Tonnage collecté : 19,2 Mt en 2009 (source: SINOE).

Il s'agit de déchets très mélangés et souillés, présentant généralement un degré de d'hétérogénéité élevé. Toutefois, les flux ont une composition relativement stable dans le temps.

## DECHETS VERTS HUMIDES (HERBE....)

Le tonnage collecté est d'environ 16,5 millions de tonnes en 2009, dont 4,5 millions de t/an (soit 75 kg/hab/an) provenant des ménages. Les quantités de déchets verts collectés ont été multipliées par 4 entre 1995 et 2006.

Ces déchets ont les taux d'humidité moyens suivants<sup>60</sup> : branches et tailles broyées: 40 à 50% ; petites tailles: 50 à 60% ; tontes de gazon: 80 à 90%, feuilles: 70 à 80%.

Dimensions moyennes<sup>61</sup> : branches et tailles broyées: 0,08 à 0,35, petites tailles: 0,15 à 0,20, tontes de gazon: 0,30 à 0,60, feuilles: 0,20 à 0,25.

La valorisation par traitement biologique continue de se développer. Deux techniques sont envisageables suivant les deux modes possibles de dégradation de la matière organique : le compostage (pratique la plus courante, on l'applique aux feuilles mortes, gazon...) et la méthanisation (qui intervient après broyage). Pour les déchets verts, 300 plates-formes permettent de transformer 2 millions de tonnes de déchets en un peu moins d'un million de tonnes de compost.

La mise en installation de stockage des déchets verts est interdite depuis le 1er juillet 2002. Ils doivent donc être collectés séparément en vue d'une valorisation par exemple par compostage.

## FARINES ANIMALES

Chaque année, la France produit environ 600 000 tonnes de farines animales, ainsi que 160 000 tonnes de farines issues des abats et plumes de volailles<sup>62</sup>. Depuis l'interdiction totale de l'utilisation des farines animales dans l'alimentation des animaux domestiques, des solutions de substitution ont été trouvées pour s'en débarrasser. Dans un premier temps, elles ont été utilisées dans l'alimentation d'autres animaux d'élevage. Ainsi, en 2000, 75 % des farines françaises entraient dans la composition des aliments pour volailles, et 17 % dans ceux destinés aux porcs. Mais cette solution n'a pas été durable, l'interdiction ayant été étendue aux autres espèces. Aujourd'hui, la solution privilégiée est l'incinération.

En 2008, l'industrie cimentière française<sup>63</sup> a consommé 340 861 tonnes de farines animales.

<sup>60</sup> [http://www.setom.fr/Upload/medias/le\\_compostage\\_de\\_dechets\\_verts.pdf](http://www.setom.fr/Upload/medias/le_compostage_de_dechets_verts.pdf)

<sup>61</sup> [http://www.setom.fr/Upload/medias/le\\_compostage\\_de\\_dechets\\_verts.pdf](http://www.setom.fr/Upload/medias/le_compostage_de_dechets_verts.pdf)

<sup>62</sup> Source : Wikipédia.

<sup>63</sup> Source : ATILH.

## DIB

Trois fractions sont particulièrement propices en vue d'une utilisation par les procédés étudiés:

- ✓ les refus de tri de DIB, estimés à 30% des 3 216 kt traités dans les centres de tri, soit 965 kt
- ✓ les DIB partant en décharge : 2 400 kt
- ✓ les DIB partant à l'incinération sans valorisation énergétique : 427 kt

soit un total d'environ 3,8 Mt.

Il faut toutefois tenir compte de plusieurs contraintes susceptibles de réduire sensiblement le flux de DIB réellement utilisables pour les procédés thermiques objet de l'étude :

- ✓ certains DIB sont difficiles à collecter à grande échelle du fait de leur dispersion géographique.
- ✓ les DIB les plus souillés et ceux contenant une proportion élevée de produits chlorés ne sont pas utilisables
- ✓ certains DIB ont un PCI faible (<12 MJ/kJ) qui les rend inaptes à une utilisation pour la pyrolyse ou la gazéification.

Le tonnage total de refus de tri de DIB potentiellement disponibles est estimé au minimum à 3,7 Mt<sup>64</sup>

## PNEUMATIQUES

Quantités ramassées en 2009: 365 544 tonnes. C'est un marché mature, qui évolue peu.

Le gisement de pneus usagés augmente régulièrement. Il est passé de 245 kt en 2003 à 399 kt en 2008.

Environ 242 000 tonnes de pneumatiques usagés sont identifiées comme stockées en 2010 dans des sites abandonnés ou à responsables défaillants. Ces stocks historiques sont traités/valorisés progressivement.

Tonnage valorisé énergétique (2009) : combustible (133,9 kt, 34%), incinération : (13,4 kt, 3%).

Nous faisons l'hypothèse que la part captable des tonnages collectés se limite aux quantités traitées par valorisation énergétique (les applications de remblais et sous-couches en travaux publics, ainsi que de recyclage par granulation, seront en effet difficile à déplacer).

## RBA (Résidu de broyage automobile)

*Tonnage collecté*

<sup>64</sup> Soit (3 800 kt – 150 kt). Afin d'éviter un double-comptage, nous avons en effet déduit les déchets de production et de transformation évalués au paragraphe précédent, car ils sont comptabilisés par l'ADEME en tant que DIB).

Le gisement des VHU est de l'ordre de 2,2 Mt/an. Il contient de 10 à 15% de plastiques. Le flux annuel de plastiques contenu dans les VHU se situe autour de 200 kt, majoritairement dans les résidus de broyage.

Mode de valorisation du RBA léger<sup>65</sup> issu des VHU en 2009:

- ✓ Recyclage: 3 193 t
- ✓ Valorisation énergétique: 19 327 t
- ✓ Enfouissement: 22 520 t

Le RBA lourd représente environ 11% du tonnage de VHU. Il est valorisé de la manière suivante :

- ✓ recyclage : 22 % ;
- ✓ valorisation énergétique (y compris cimenteries) : 3 % ;
- ✓ centres d'enfouissement : 75 % ;

#### RESIDU DE BROYAGE DES DEEE

Environ 1,6 Mt/an de DEEE générés en 2008, dont 0,4 Mt sont collectés sélectivement. Ces flux sont en forte croissance.

En 2008, le total des quantités de DEEE traités a atteint 286,4 kt (soit 95 % des quantités collectées), avec la ventilation suivante par voie de valorisation/élimination :

- réemploi par appareils entiers : 7,5 kt (2,6 %)
- réutilisation par pièces : 0,2 kt (0,06 %)
- recyclage : 228,7 kt (79,8 %)
- valorisation énergétique : 13,5 kt (4,7 %).
- élimination : 36,4 kt (12,7 %)

D'autre part, le tonnage de produits spécifiques<sup>66</sup> issus du traitement des DEEE a atteint 100 723 t en 2010, dont :

- ✓ Matières plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés 27%
- ✓ Tubes cathodiques 54%
- ✓ Cartes de circuits imprimés 9%
- ✓ Câbles électriques extérieurs 4%
- ✓ Lampes à décharge 4%

<sup>65</sup> Source : Eurostat – 2009.

<sup>66</sup> - Données extraites du « RAPPORT ANNUEL SUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA REGLEMENTATION SUR LES DECHETS D'ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES (DEEE) »

- ✓ Autres 2%.

## DECHETS HOSPITALIERS

Sur les 700 000 t de déchets d'activités de soins (hôpitaux, praticiens et ménages), 70 % (environ 500 000 t) sont des déchets non dangereux assimilables aux ordures ménagères. Les 30% restants sont des DASR, qui doivent règlementairement être traités soit par incinération, soit par désinfection suivie d'un enfouissement, d'un recyclage ou d'une incinération (le compostage étant interdit).

## BOUES DE STEP

La production de boues de stations d'épuration des eaux usées (STEP) est estimée<sup>67</sup> à environ 950 kt/an de matière sèche (soit entre 3,5 et 4 Mt/an de matière brute). Elle correspondait à 19 % des déchets municipaux en 2006.

Les boues de STEP contiennent de la matière organique, de l'azote, du phosphore, des éléments minéraux et des métaux lourds. Elles peuvent se présenter, selon leur teneur en matière sèche, sous les formes liquide, solide ou pâteuse.

Taux d'humidité : 60 à 98%<sup>68</sup>

60% des boues de STEP<sup>69</sup> sont valorisées par épandage agricole. Elles doivent être stabilisées pour stopper les fermentations, sources d'odeurs désagréables.

D'autres possibilités d'élimination sont envisageables lorsque les boues ne se prêtent pas à une utilisation en agriculture<sup>70</sup> :

- ✓ le stockage : les prescriptions qui s'appliquent sont précisées dans l'arrêté "consolidé" du 9 septembre 1997 modifié sur les installations de stockage des déchets ménagers et assimilés et la circulaire du 4 juillet 2002. Il faut pour cela que les boues présentent une siccité supérieure à 30 %.
- ✓ l'incinération (arrêté de Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable du 20 septembre 2002 qui est la transposition de la directive communautaire n° 2000/76/CE du 4 décembre 2000). Cette filière représente un ultime recours, car la teneur en eau des boues, peut perturber la combustion des déchets ménagers.

<sup>67</sup> Sources : ADEME, 2007 ; <http://www.cercle-recyclage.asso.fr/publi/vade/chap4/fiche42.htm>

<sup>68</sup> Source : <http://agora.qc.ca/dossiers/Dechet>

<sup>69</sup> Source : <http://www.cercle-recyclage.asso.fr/publi/vade/chap4/fiche42.htm>

<sup>70</sup> Source : <http://www.cercle-recyclage.asso.fr/publi/vade/chap4/fiche42.htm>

## DECHETS DES CANTINES ET DU CATERING

En 2005 en France, le gisement de déchets alimentaires fermentescibles collectés par les municipalités a été estimé à 9,5 millions de tonnes, dont 1,5 millions de tonnes provenant des entreprises de restauration collective ou de supermarchés<sup>71</sup>.

Les déchets de cantines et les MSW ont une teneur en eau élevée et le coût de déshydratation est élevé. Il est préférable (car moins coûteux) de traiter ce type de déchet dans une unité de méthanisation plutôt que de gazéification.

## DECHETS DES IAA

Les déchets organiques des Industries Agroalimentaires (IAA) désignent<sup>72</sup> l'ensemble des déchets générés par les industries agroalimentaires de transformation et de conditionnement de produits alimentaires animaux ou végétaux : pulpes de betteraves, lactosérum, marcs de raisin, vinasses, déchets de légumes en conserverie, déchets de la viande, sang, os.

Ils comprennent :

- ✓ des produits animaux issus de la viande, du poisson et du lait
- ✓ des produits végétaux issus de la filière vinicole (marc, lies...) et de la transformation des fruits, légumes, céréales et oléagineux
- ✓ des déchets de matières premières végétales ou animales
- ✓ des chutes de produits élaborés ou des produits déclassés (pâtes, fromages...)
- ✓ des boues issues du traitement des effluents.

Les déchets des IAA sont dans leur grande majorité des déchets organiques.

La dernière étude de l'ADEME (1994) à ce sujet fait état de 43 millions de tonnes de déchets issus des IAA.

## LISIER

Le lisier est un mélange de déjections d'animaux d'élevage (urines, excrément) et d'eau dans lequel domine l'élément liquide. Il peut également contenir des résidus de litière (paille) en faible quantité. Il est produit principalement par les élevages de porcs, de bovins et de volailles qui n'emploient pas, ou peu, de litière pour l'évacuation des déchets (dans le cas contraire, ils produisent du fumier).

La production française de lisier de porcherie est de l'ordre de 45 millions de m<sup>3</sup> par an<sup>73</sup>. La majorité du lisier produit est utilisée sous la forme d'épandage dans les champs.

<sup>71</sup> Source : <http://www.actu-environnement.com/ae/news/compost-dechet-cantine-college-jean-zay-11085.php4>

<sup>72</sup> Source : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

<sup>73</sup> Source : Véolia Environnement – Projet LIFE : « La Porcherie Zéro Nuisance (ZNP) - Proposer une gestion intégrée des déchets de porcherie ».

[Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre](#)



## DEJECTIONS DE POULAILLERS

La production nationale de déjections issues de l'aviculture<sup>74</sup> est estimée à :

- ✓ fumiers : 2 500 000 tonnes,
- ✓ lisiers : 3 300 000 m<sup>3</sup>,
- ✓ fientes humides ou sèches de poudeuses : 1 200 000 tonnes.

soit un total d'environ 7 millions de tonnes (dont 2,5 millions de tonnes de matières sèches), correspondant sensiblement à un volume de l'ordre de 10 millions de m<sup>3</sup>.

## LITIÈRES POUR CHATS ET DEJECTIONS

En France, chaque année, 280 000 tonnes de litières sont utilisées. Additionnées aux déjections des chats, ces 280 000 tonnes de litières produisent au final 400 000 tonnes de déchets ménagers<sup>75</sup>.

- ✓ Les litières végétales représentent 5% du marché, soit 14 000 tonnes.
- ✓ Les litières minérales 66%, soit 185 000 tonnes.
- ✓ Les litières agglomérantes 26%, soit 73 000 tonnes.
- ✓ Les litières silices (minérales translucides provenant en large majorité de Chine) 3%, soit 8 000 tonnes.

---

<sup>74</sup> <http://www.itavi.asso.fr/elevage/environnement/Les%20dejections%20avicoles.pdf>

<sup>75</sup> Source/ <http://www.econo-ecolo.org/La-litiere-vegetale-totalement>

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## Annexe 6 : Norme Européenne EN 590 (Diesel 10ppm)

### Norme Européenne EN 590 / Diesel 10ppm



Propriétés	Unités	Min.	Max.	Méthodes d'essai
Densité à 15°C	kg/m <sup>3</sup>	820	845	EN ISO 3675
Indice de cétane mesuré	-	51	-	ISO 5165
Indice de cétane calculé	-	46	-	ISO 4264
Viscosité cinématique à 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,00	4,50	EN ISO 3104
Point d'éclair	°C	55	-	ISO / CD 3679
Point de trouble				
classe C	°C	-	-5	EN ISO 3015
classe D	°C	-	-10	
classe F	°C	-	-20	
Point de filtrabilité à froid, CFPP	°C	-	-20	EN 116
Distillation (1013 mbar)				
évaporé à 250°C	% v/v	-	95	ISO 3495
évaporé à 350°C	% v/v	65	-	ISO 3405
95% évaporé à	°C	-	360	ISO 3405
Résidu de carbone (sur 10% du résidu de distillation)	% m/m	-	0,30	EN ISO 10370
Pouvoir lubrifiant (wsb 1,4 à 60°C)	µm	-	460	ISO 12156-1
Stabilité à l'oxydation	g/m <sup>3</sup>	-	25	EN 12205
Corrosion à la lame de cuivre (3h à 50°C)	classification	Classe 1		EN ISO 2160
Eau	mg/kg	-	200	ASTM D 1744, EN ISO 12937
Cendres	% m/m	-	0,01	EN 26245
Soufre	mg/kg	-	10	EN ISO 20846
Esters méthyliques d'acides gras, FAME	% v/v	-	5	EN 14078
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	% m/m	-	11	EN 12916
Contamination totale	mg/kg	-	24	EN 12662

Source : <http://www.plateforme-biocarburants.ch/infos/en590.php>

## Annexe 7 : Extraits de la Directive 98/70/CE du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants

Cette directive fixe :

- ✓ aux fins de la protection de la santé et de l'environnement, les spécifications techniques applicables aux carburants destinés à être utilisés par les véhicules équipés de moteur à allumage commandé, et de moteur à allumage par compression, compte tenu des spécifications techniques desdits moteurs; et
- ✓ un objectif pour la réduction des gaz à effet de serre émis sur l'ensemble du cycle de vie.»

**(9)** : Compte tenu de ce qui précède, il est nécessaire de prévoir des critères de durabilité visant à s'assurer que les biocarburants ne peuvent bénéficier de mesures d'encouragement que lorsqu'il peut être garanti qu'ils n'ont pas été fabriqués avec des matières premières cultivées dans des zones présentant de la valeur sur le plan de la diversité biologique ou, dans le cas de zones affectées à la protection de la nature ou à la protection d'écosystèmes ou d'espèces rares, menacées ou en voie de disparition, lorsque l'autorité compétente concernée démontre que la production des matières premières n'a pas altéré cette affectation.

**(31)** : Il est souhaitable d'adapter l'annexe IV de la directive 98/70/CE pour permettre la mise sur le marché de carburants diesel ayant une teneur en biocarburants supérieure («B7») à celle visée dans la norme EN 590:2004 («B5»). Ladite norme devrait être actualisée en conséquence et devrait fixer des limites pour les paramètres techniques non inclus dans cette annexe, comme la stabilité à l'oxydation, le point éclair, le résidu de carbone, la teneur en cendres, la teneur en eau, les impuretés totales, la corrosion sur lame de cuivre, l'onctuosité, la viscosité cinématique, le point de trouble, la température limite de filtrabilité, la teneur en phosphore, l'indice d'acide, les peroxydes, la variation de l'indice d'acide, l'encrassement de l'injecteur et l'ajout d'additifs de stabilisation.

**(32)** : Pour faciliter une bonne commercialisation des biocarburants, le CEN est encouragé à continuer à travailler avec diligence à l'élaboration d'une norme autorisant le mélange de proportions plus élevées de composants des biocarburants dans le diesel et, en particulier, à élaborer une norme pour le «B10».

### Article 1er :

L'article 2 est modifié comme suit:

au premier alinéa:

le point 3 est remplacé par le texte suivant:

“gazoles destinés à être utilisés pour les engins mobiles non routiers (y compris les bateaux de navigation intérieure) et les tracteurs agricoles et forestiers, ainsi que pour les bateaux de plaisance”: tout liquide dérivé du pétrole et relevant des codes NC 2710 19 41 à 2710 19 45, destiné à être utilisé dans les moteurs visés dans les directives du Parlement européen et du Conseil 94/25/CE, 97/68/CE et 2000/25/CE;

### Article 7 bis :

L'article 2 est modifié comme suit:

au premier alinéa:

le point 3 est remplacé par le texte suivant:

“gazoles destinés à être utilisés pour les engins mobiles non routiers (y compris les bateaux de navigation intérieure) et les tracteurs agricoles et forestiers, ainsi que pour les bateaux de plaisance”: tout liquide dérivé du pétrole et relevant des codes NC 2710 19 41 à 2710 19 45, destiné à être utilisé dans les moteurs visés dans les directives du Parlement européen et du Conseil 94/25/CE, 97/68/CE et 2000/25/CE;

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Les émissions de gaz à effet de serre des biocarburants, produites sur l'ensemble du cycle de vie, sont calculées conformément à l'article 7 *quinquies*. Les émissions de gaz à effet de serre produites sur l'ensemble du cycle de vie qui sont issues d'autres carburants et d'autres sources d'énergie sont calculées sur la base d'une méthode définie conformément au paragraphe 5 du présent article.

**Article 7 ter :**

Toutefois, les biocarburants produits à partir de déchets et de résidus, autres que les résidus provenant de l'agriculture, de l'aquaculture, de la pêche et de la sylviculture, doivent seulement remplir les critères de durabilité énoncés au paragraphe 2 du présent article pour être pris en considération aux fins visées à l'article 7 *bis*.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de biocarburants pris en considération aux fins visées au paragraphe 1 est d'au moins 35 %.

Avec effet à partir du 1er janvier 2017, la réduction des émissions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de biocarburants pris en considération aux fins visées au paragraphe 1 est d'au moins 50 %. À partir du 1er janvier 2018, cette réduction des émissions de gaz à effet de serre est d'au moins 60 % pour les biocarburants produits dans des installations dans lesquelles la production aura démarré le 1er janvier 2017 ou postérieurement.

Les biocarburants pris en considération aux fins visées au paragraphe 1 ne sont pas produits à partir de matières premières provenant de terres de grande valeur en termes de diversité biologique, c'est-à-dire de terres qui possédaient l'un des statuts suivants, en janvier 2008 ou postérieurement, qu'elles aient ou non conservé ce statut à ce jour:

**Annexe 4, B :**

Estimations de valeurs types et de valeurs par défaut pour des biocarburants du futur, inexistants ou présents seulement en quantités négligeables sur le marché, en janvier 2008, produits sans émissions nettes de carbone dues à des changements dans l'affectation des sols

**Annexe 4, D**

Valeurs par défaut détaillées pour les biocarburants

## Annexe 8 : Extraits de la Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009, relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables

### Points introductifs :

(9) Le Conseil européen de mars 2008 a répété qu'il était essentiel de mettre au point et de respecter des critères de durabilité effective pour les biocarburants ainsi que d'assurer la disponibilité, sur le marché, de biocarburants de deuxième génération.

(42) Pour permettre un déploiement rapide de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, et compte tenu de leur grande utilité générale en termes de durabilité et d'environnement, il convient qu'en appliquant les règles administratives, les structures de planification et la législation prévues pour l'octroi de permis aux installations en ce qui concerne la réduction et le contrôle de la pollution pour les installations industrielles, la lutte contre la pollution atmosphérique et la prévention ou la réduction à un minimum des rejets de substances dangereuses dans l'environnement, les États membres tiennent compte de la contribution apportée par les sources d'énergies renouvelables dans la réalisation des objectifs environnementaux et de changement climatique, en particulier en comparaison avec les installations à énergie non renouvelable.

(65) La production de biocarburants devrait être durable. Les biocarburants utilisés pour atteindre les objectifs fixés par la présente directive et ceux faisant l'objet de régimes d'aide nationaux devraient, par conséquent, obligatoirement satisfaire aux critères de durabilité.

(66) La Communauté devrait prendre les mesures appropriées dans le cadre de la présente directive, y compris la promotion des critères de durabilité pour les biocarburants et le développement de biocarburants de la deuxième et de la troisième génération dans la Communauté et le monde entier, et elle devrait développer la recherche agricole et l'acquisition de connaissances dans ces domaines.

(89) Lorsqu'ils élaborent leurs régimes d'aide, les États membres pourraient prévoir d'encourager l'utilisation de biocarburants apportant des effets bénéfiques supplémentaires - notamment la diversification résultant de la fabrication de biocarburants à partir de déchets, de résidus, de matières cellulosiques non alimentaires, de matières ligno-cellulosiques et d'algues, ainsi que de plantes non irriguées cultivées dans des zones arides pour lutter contre la désertification - en prenant dûment en compte la différence de coûts entre la production d'énergie à partir de biocarburants traditionnels, d'une part, et à partir d'autres biocarburants apportant des avantages supplémentaires

Article 17 : Les biocarburants et les bioliquides produits à partir de déchets et de résidus, autres que les résidus provenant de l'agriculture, de l'aquaculture, de la pêche et de la sylviculture, doivent seulement remplir les critères de durabilité énoncés au paragraphe 2 pour être pris en considération aux fins visées aux points a), b) et c).2.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de biocarburants et de bioliquides pris en considération aux fins visées au paragraphe 1, points a), b) et c), est d'au moins 35 %. Avec effet à partir du 1er janvier 2017, la réduction des émissions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de biocarburants et de bioliquides pris en considération aux fins visées au paragraphe 1, points a), b) et c), est d'au moins 50 %. À partir du 1er janvier 2018, cette réduction des émissions de gaz à effet de serre est d'au moins 60 % pour les biocarburants et les bioliquides produits dans des installations dans lesquelles la production aura démarré le 1er janvier 2017 ou postérieurement.

Article 21 : Aux fins de démontrer le respect des obligations nationales imposées aux opérateurs en matière d'énergie renouvelable et de l'objectif en matière d'utilisation d'énergie provenant de sources renouvelables pour tous les modes de transport, visé à l'article 3, paragraphe 4, la contribution apportée par les biocarburants produits à partir de déchets, de résidus, de matières cellulosiques d'origine non alimentaire et de matières ligno-cellulosiques est considérée comme équivalant à deux fois celle des autres biocarburants.

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

## Annexe 9 : Références bibliographiques

Emetteur / Auteur	Date	Titre
-------------------	------	-------

ETUDES		
ADEME / G.I.E Procedis (Gérard Antonini, Mourad Hazi)	juin-04	Pyrolyse – Gazéification de déchets solides - Faisabilité de traitement d'un déchet par pyrolyse ou gazéification - Partie 1 : Etat de l'art des procédés existants - Version V.0. Juin 2004
ADEME / erdyn consultants	juin-02	Recyclage chimique des matières plastiques
Gasification Technologies Council (USA)		World Gasification Database
Defra (GB)	2007	Advanced thermal treatment of municipal solid waste
BioRegen / Juniper (pour "Renewables East - GB)	2007	Advanced Conversion Technology (Gasification) for Biomass Project
Eunomia Research and Consulting	2008	Greenhouse gas balances of waste management scenarios - report for the Greater London Authority
Fichtner Consulting Engineers Limited	2004	The viability of advanced thermal treatment of MSW in the UK
Juniper	2008	Briefing document on the pyrolysis and gasification of MSW
Juniper		Pyrolysis and Gasification Factsheet
Energy research Centre of the Netherlands (ECN) Unit ECN Biomass, Coal & Environmental Research	2006	Economy of BtL Plants
E4 TECH	2009	Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes
Country reports IEA Biorefineries - Task 42	2010	Co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass
Enviros (pour ""Renewable East")	nov-05	East of England Biomass Foundation Study
Asian Institute of Technology	juil-05	Status of biomass gasification in Thailand and Cambodia
DOE - USA		Literature Survey of Biomass Gasification Technologies
S3D –Waste & Sustainable Development Solutions, Nantes, France	juil-05	State of the art of biomass gasification in China
Karnataka State Council for Science and Technology - Bangalore- Inde	juin-05	Inventory of existing technologies on biomass gasification
Bioref-Integ	2009	Identification and mapping of existing fuel producing industrial complexes in Europe

Etat de l'art de la production de liquides ou de gaz à partir de déchets autres que les déchets de biomasse propre

Techniques de l'ingénieur	2002	Description de nombreux procédés
Feedstock recycling of plastic waste	juin-05	Description de plusieurs procédés de glycolyse, hydrolyse, solvolyse.... des plastiques
Global NEST Journal, Vol 9, No 1, pp 12-19, 2007 - J. Aguado, D.P. Serrano, G. San Miguel - Universidad Rey Juan Carlos Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (ESCET) – Espagne.	juin-05	“European Trends in the Feedstock recycling of plastic Waste”.
Inst. Of Chemical Engineering - Vienne	juin-05	Review of applications of gases for biomass gasification
Projet BIOCORE		Projet européen coordonné par l'Inra, traitant de bioraffinerie.
Final R&D project report Deutsche Bundesstiftung Umwelt Logmed Corp.	2009	« Entwicklung und wissenschaftliche Begleitung einer Technologie zur Erzeugung von synthetischem Öl aus Kunststoffabfällen der Krankenhäuser zur klimarelevanten Substitution von Rohöl »  (Développement et suivi scientifique d'une technologie de production d'huile synthétique issue des déchets plastiques hospitaliers, en substitution du pétrole brut).
IPTS / Joint Research Center (EU Commission)	2011	Study on the suitability of the different waste-derived fuels for end-of-waste status in accordance with article 6 of the waste framework directive.
FEDEREC	n.r	La nouvelle directive déchets – La sortie du statut de déchets.
Eric GAUCHER Direction générale de la prévention des risques Service de la prévention des nuisances et de la qualité de l'environnement Département politique de gestion des déchets Bureau de la planification et de la gestion des déchets. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement	Mai 2011	Règlementation sur les Déchets - Actualités législatives et réglementaires - Sortie du statut de déchet
RECORD	Octobre 2011	Inventaire des situations réglementaires atypiques, liées au développement de procédés de traitement thermique des déchets autres que l'incinération – Etude comparée des procédures d'autorisation des installations classées à l'international.

PUBLICATIONS INTERNATIONALES		
Biofuelsdigest.com	2009	Description et liens d'une vingtaine de procédés "Waste gasification to chemicals"
European Biofuels Technology Platform (Chicago)	September 2011	Description détaillée de plusieurs projets récents de procédés « Biomass to Liquids »
ieee spectrum		Plusieurs articles sur des procédés de gazéification et de pyrolyse en développement.
Energy Fuels M.-H. Cho/S._H. Jung/J.-S. Kim	2010	Pyrolysis of mixed plastic wastes for the recovery of benzene, toluene, and xylene (BTX) aromatics in a fluidised bed and chlorine removal by applying various additives
Recycling Magazin, München/Germany M. Kuhn	2011 (17)	« Schürfen nach Energie » (A la recherche de l'énergie).
Recycling Technology H. Krähling/M. Kern	2009 (11)	« Kunststoffreiche Abfallströme » (Les flux de déchets riches en plastiques).
Steinbeis Foundation H. Matschiner	2007	« Wohin mit den Kunststoffabfällen? » (Que faire avec les déchets plastiques?)
Sekundärrohstoff Verwertungszentrum Schwarze Pumpe	2001	« Ein Meilenstein in der Entwicklung – Schlackebadvergaser geht in Dauerbetrieb » (Progrès en matière de développement du procédé de gazéification BGL)
Sekundärrohstoff Verwertungszentrum Schwarze Pumpe	2000	SVZ launches new reprocessing technology for solid waste
Gasification Technologies Council (USA)		
SYNBIOS III Conference	2009	
Alexander Vogel, Franziska Müller-Langer, Martin Kaltschmitt - International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies - Freiberg,	16th of June 2005	Transportation Fuels via Biomass Gasification: Liquid versus Gaseous Fuel Production - An assessment of technical, economic and environmental aspects
Green Car Congress		
The 8th Asian Petroleum Technology Symposium, February 23-24, 2010 - Tokyo, Japan. Dr Rong Yan - Centre Director, Senior Scientist - Institute of Environmental Science and Engineering (IESE) - Nanyang Technological University, Singapore	2010	Advances in gasification/pyrolysis of biomass wastes for 2nd generation biofuel production
Plastic Waste Management Institute/Japan Takashi Yamawaki	Dec. 2007	Current recycling technologies for packaging waste in Japan

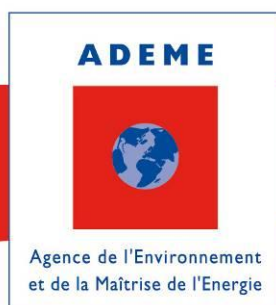


John Wiley&Sons, Ltd West Sussex/UK J. Scheirs/W.Kaminsky	2006	Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastic: Converting waste plastics into diesel and other fuels
4 <sup>th</sup> ISFR K. Fujimoto/H.Tani/'X'. Li	2007	Catalytic cracking of waste plastics – catalytic performance of spent FCC catalysts for polyolefins cracking
American Chemical Society J. Aguado/D.P. Surano/J.M.Escola	2008	Fuels form plastic waste by thermal and catalytic processes: A Review
SYNBIOS Conference	juin-05	“Second-Generation” Biofuels: Heavy Focus on Biomass-to-Liquids
5 <sup>th</sup> ISFR B.Wu/M. Fukushima/K.Wakai/H.Ibe/S. Ito	2009	Current issues of oil reclamation system for recycling municipal waste plastic containing PVC and PET in Japan

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01