

Synthèse de dires d'experts sur les filières thermiques appliquées aux Déchets Industriels Banals



C4H5O2_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000/ 1392.000 1
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2



ETUDE N° 99-0230/1A

**SYNTHESE DE DIRES D'EXPERTS SUR
LES FILIERES THERMIQUES APPLIQUEES
AUX DECHETS INDUSTRIELS BANALS**

RAPPORT FINAL

janvier 2000

N. KANDEL - CM International

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

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

Avertissement :

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

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

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Synthèse de dires d'experts sur les filières thermiques appliquées aux Déchets Industriels Banals, 2000, 40 p, n°99-0230/1A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2000



Avant-propos

Ce document constitue le rapport final de l'étude « Synthèse de dires d'experts sur les filières thermiques appliquées aux DIB ».

Cette étude a été mandatée par RE.CO.R.D. (Réseau Coopératif de Recherche sur les Déchets) afin de fournir à ses membres des éléments factuels et objectifs, leur permettant d'éclairer leurs décisions dans le domaine des traitements des DIB.

Pour suivre et orienter ce travail, un Comité de Pilotage a été mis en place composé de :

- ✓ Monsieur Pierre de Taisne – TREDI
- ✓ Monsieur Jean-Bernard Desrumaux – Ciments d'Obourg
- ✓ Monsieur Christian Pham Van Cang – EdF
- ✓ Monsieur Alain Pérez – Elf Aquitaine
- ✓ Monsieur Eric Dambrine – CTG Italcementi Group
- ✓ Monsieur Guy Depelsenaire – SOLVAY
- ✓ Madame Marie-José Fourniguet – GdF
- ✓ Madame Elisabeth Poncelet – ADEME
- ✓ Madame Sophie Richet – PSA Peugeot Citroën

Les résultats de ce travail sont basés sur des dires d'experts et, à ce titre, n'engagent donc pas les membres de RE.CO.R.D.
--



Sommaire

	<u>Page</u>
I. Introduction.....	4
II. Eléments de méthodologie	5
2.1. La méthode mise en œuvre.....	5
2.2. Les principaux enseignements.....	6
III. Généralités sur la filière thermique	10
3.1. Définitions	10
3.2. Les sources d'information disponibles pour la caractérisation du gisement de DIB en France	12
3.3. Le gisement des DIB en France.....	14
3.4. Le poids de la filière thermique dans le traitement des DIB	16
IV. Le panorama technique de la filière thermique.....	18
4.1. Les technologies disponibles	18
4.2. Les domaines d'application	19
4.3. L'état actuel de la filière de la thermolyse / pyrolyse.....	23
4.4. Les avantages concurrentiels de la thermolyse.....	25
V. Les besoins en Etudes et R&D.....	29
5.1. Les difficultés / problèmes techniques rencontrés	29
5.2. Le cas de l'incinération.....	29
5.3. Le cas de la thermolyse / pyrolyse.....	31
5.4. Le cas de la filière cimenterie.....	32
5.5. Le cas des centrales thermiques.....	33
VI. Les perspectives de développement des différentes technologies de la filière thermique pour le traitement des DIB	34
6.1. Les principales tendances	34
6.2. Le cas de la thermolyse / pyrolyse.....	34
6.3. Le cas de la thermolyse non intégrée (ThS)	36
6.4. Le cas de la filière mixte DIB/OM	36
6.5. Les enjeux pour la construction d'incinérateurs spécifiques pour les DIB.....	37
Annexe	39



I. INTRODUCTION

Devant la diversité croissante des voies technologiques permettant le traitement et/ou la valorisation des déchets industriels banals (DIB), l'Association RE.CO.R.D a décidé de procéder à un travail prospectif sur la filière thermique en France et, en particulier sur deux filières technologiques : la thermolyse/pyrolyse et la co-incinération.

Pour cela, RE.CO.R.D a demandé à CM International de l'assister dans ce travail.

L'objectif de l'étude, tel que défini par RE.CO.R.D et validé par le Comité de Pilotage était double :

- ✓ Fournir aux membres de RE.CO.R.D des éléments factuels et objectifs, leur permettant d'éclairer leurs décisions. Par ailleurs, identifier les zones où l'information reste encore aujourd'hui manquante ou insuffisante ;
- ✓ Tester et mettre au point une méthodologie de confrontation des avis d'experts (dans la perspective d'une application à d'autres domaines d'intérêt RE.CO.R.D)

Pour réaliser cette étude, une méthodologie de « dires d'experts » a été mise en œuvre qui a associée une vingtaine d'acteurs : exploitants, bureaux d'étude, académiques, équipementiers...

Le présent document constitue la synthèse de ce travail. Les points suivants sont successivement abordés dans la suite du document :

- ✓ Les points clés et les enseignements du travail en terme de méthodologie ;
- ✓ Le périmètre et les chiffres clés de la filière de traitement thermique des DIB en France ;
- ✓ L'offre technologique aujourd'hui existante et sa caractérisation ;
- ✓ Les besoins en étude et en R&D ;
- ✓ Les perspectives de développement des différentes technologies de la filière thermique.



II. ELEMENTS DE METHODOLOGIE

2.1. La méthode mise en œuvre

Pour réaliser ce travail, nous avons procédé via une méthodologie de « dires d'experts ».

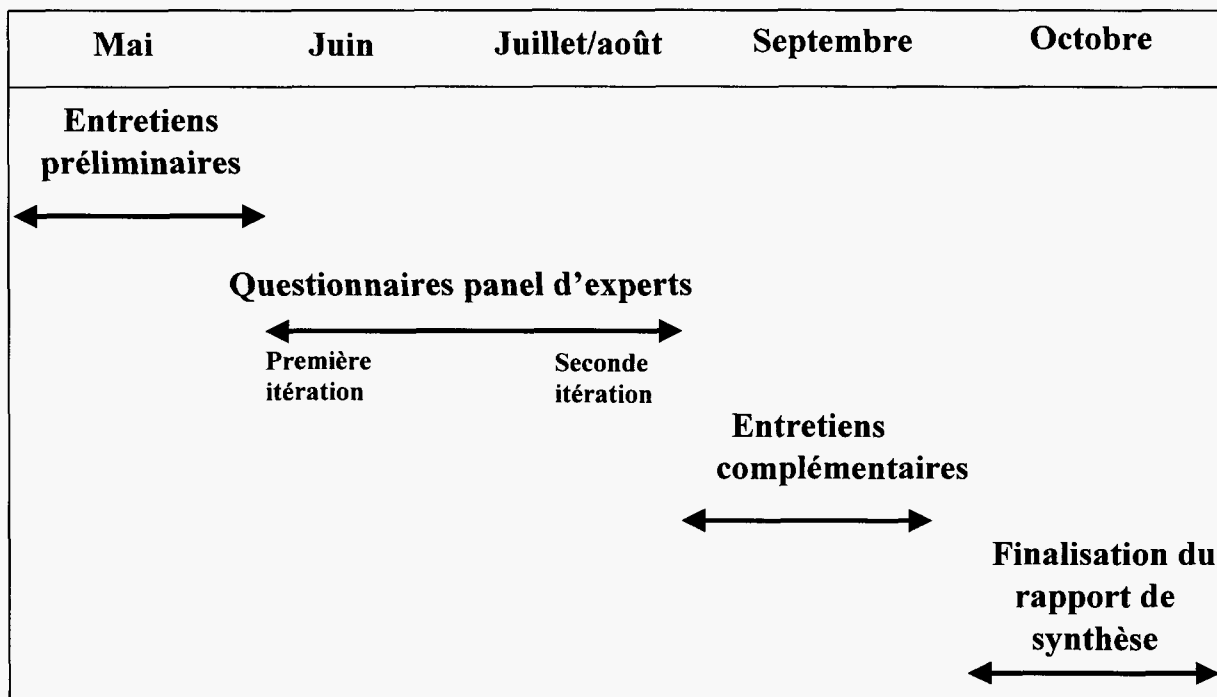
Le principe de cette approche est d'utiliser le jugement d'experts et de confronter leurs points de vue. La méthode procède par interrogations successives afin de mettre en évidence des convergences d'opinions et de dégager des consensus éventuels.

Les experts associés à ce travail sont présentés dans le tableau ci-après. Au total, une quinzaine d'experts ont été mobilisés.

Pour réaliser ce travail, nous avons procédé de la façon suivante :

1. Identification des questions clés et élaboration d'un premier questionnaire (via des entretiens préliminaires avec des acteurs du domaine) ;
2. Envoi du questionnaire par voie postale aux membres du groupe d'experts ;
3. Gestion des réponses et production d'un second questionnaire ;
4. Deuxième phase d'interrogation du groupe d'experts ;
5. Gestion des réponses et production d'une synthèse intermédiaire ;
6. Validation des points clés de cette synthèse à travers une série d'entretiens approfondis ;
7. Production de la synthèse finale et validation auprès des membres du groupe d'experts.

Programme de travail





Au total, les experts du groupe ont donc été mobilisés à 3 reprises. Nous estimons par ailleurs que chacun d'entre eux a passé de l'ordre de une demi à une journée entière sur ce travail. Notons qu'à l'exception des équipementiers et des ingénieurs de l'ADEME, tous les experts ont été rémunérés.

2.2 Les principaux enseignements

Au plan méthodologique, plusieurs enseignements peuvent être tirés de ce travail :

- ✓ Le choix des experts : l'information recueillie dans le cadre de ce travail repose sur les dires des acteurs associés à l'étude. Il convient donc de mobiliser les acteurs possédant a priori une réelle expertise du domaine analysé. Sur ce point, il est intéressant de constater que très rapidement il y a eu convergence de vue sur le noyau dur des « incontournables techniques » dans le domaine de la thermolyse ou de la co-incinération. Toutefois et compte tenu du périmètre de l'analyse retenu, les compétences à mobiliser dans le cadre de ce travail ont très largement dépassé le seul volet technique de la thermolyse et de la co-incinération pour s'étendre aux aspects techniques et économiques de l'ensemble de la filière thermique. Ceci a eu pour conséquence d'élargir le cercle des acteurs à associer et donc d'alourdir les processus d'échanges et de gestion de l'information. De notre point de vue, le nombre d'experts à mobiliser dans un travail comme celui-ci est de 5 ou 6. A l'avenir, il conviendra donc de restreindre le périmètre de l'analyse.
- ✓ La mobilisation des experts. Le travail s'est déroulé sur 6 mois et a nécessité l'implication des experts à 2 ou 3 reprises. Il est certain que si nous n'avions pas rémunéré les experts, il n'aurait pas été possible de « maintenir la pression » sur une période aussi longue.
- ✓ Le périmètre de l'étude : dans le cadre de ce travail, nous avons choisi d'analyser la filière thermique dans son ensemble en apportant un éclairage plus spécifique sur la thermolyse / pyrolyse ainsi que sur la filière cimenterie. De notre point de vue, le périmètre retenu était trop important (le premier questionnaire comprenait plus de 10 pages, sans compter les tableaux !). L'analyse de la co-incinération, de la filière mixte DIB/OM, du développement d'incinérateurs spécifiques DIB... sont autant de thèmes qui auraient pu (dû) faire l'objet d'études spécifiques.
- ✓ Prospective versus diagnostic : la mobilisation du panel d'experts pour élaborer le diagnostic sur les filières thermiques n'est pas apparue pertinente (élaboration des fiches techniques en particulier). Au contraire, de notre point de vue, l'analyse par « dires d'experts » doit être focalisée sur les aspects véritablement prospectifs et porter sur des questions du type :
 - ✓ « aujourd'hui, le poids de la filière est de 10 ; qu'en sera-t-il demain et pourquoi ? »
 - ✓ « pensez-vous que l'assimilation de la thermolyse à un procédé de valorisation matière représente un véritable avantage concurrentiel à court, moyen ou long terme ? »
 - ✓ etc...



A contrario, des questions du type : « quelle est la gamme de PCI pour le lit fluidisé ou la thermolyse » ou encore « quelles sont les études disponibles pour la caractérisation des DIB en France », n'ont pas vraiment leur place dans une analyse de « direx d'experts ». Elles doivent donc être traitées indépendamment. Plus généralement, nous pensons nécessaire en amont d'un travail prospectif comme celui-ci de procéder à une étude préliminaire afin de rassembler toute l'information utile.

Par exemple, dans le cas présent, il aurait été souhaitable de disposer dès le démarrage du travail prospectif :

- ✓ des fiches technologiques,
 - ✓ d'une caractérisation des opérations pilotes et industrielles de thermolyse,
 - ✓ etc...
-
- ✓ Les entretiens de terrain : les entretiens de terrain réalisés en phase finale ont permis de préciser / valider certaines des conclusions issues du travail par questionnaires. De notre point de vue ces entretiens ont permis d'apporter un réel plus à ce travail et apparaissent donc indispensables. Plus largement, il apparaît qu'une bonne répartition de la charge de travail pour une étude de ce type pourrait être :
 - ✓ bilan / diagnostic : 30 %
 - ✓ prospective : 70 %
 - questionnaire « direx d'experts » : 2/3
 - entretiens terrain : 1/3



Les experts associés au travail

			1 ^{er} tour	2 ^{ème} tour
Exploitant*				
Jean-Pierre Degré	Holderbank Cie	Directeur de la Division Energie Industrielle - Expert Cimenterie (combustibles et matériaux alternatifs)	✓	✓
Eric Lesueur	Vivendi	Directeur des Relations Institutionnelles Direction Recherche et Technologie Expert Généraliste	✓	✓
R&D académique				
Alain Cabanes	Amorce	Directeur Expert Thermolyse et Incinération, OM	✓	✓
Didier Lecomte	Ecole des Mines – Albi	Responsable Centre de Recherche Energétique et Environnement Expert procédés thermiques et physico-chimiques de transformation des solides complexes (pyrolyse et gazéification des déchets solides – incinération des solides)	✓	✓
Gérard Bertonili	APREDE / CNRS	Economiste Expert DIB et analyse stratégique des filières	✓	✓
Gérard Antonini	UTC Compiègne	Professeur des Universités – Directeur de l'Unité Scientifique Génie des Procédés Industriels Expert sur l'ensemble des technologies de la filière thermique	✓	
Gisèle Jung	Université Libre de Bruxelles	Assistante de Recherche au Services de Chimie Générale et Carbochimie de la faculté des Sciences Appliquées et Chimie Générale et Industrielle de la faculté des Sciences Sociales, Politiques et Economiques (Section Ecole de Commerce Solvay)		entretien
André Fontana	Université Libre de Bruxelles	Professeur – Responsables des Services de Chimie Générale et Carbochimie de la faculté des Sciences Appliquées et Chimie Générale et Industrielle de la faculté des Sciences Sociales, Politiques et Economiques (Section Ecole de Commerce Solvay)		entretien
Jurgen Vehlow	FZK	Chef du département Flux de matière de l'Institut de Chimie technique – Division traitement thermique des déchets Expert processus chimiques de l'incinération des déchets, caractérisation des résidus et traitement Stratégie de gestion des déchets	✓	✓
Bureaux d'études				
Jean-Yves Le Goux	SCET-Environnement	Directeur de Développement Experts DIB et DIS – collecte, traitement, valorisation thermique et enfouissement	✓	✓
Stéphane Biccoci	CADET International	Directeur d'études Expert Conseil et ingénierie des déchets (incinération), veille technologique et maîtrise d'œuvre	✓	✓
Henri Masson	ISE sprl (Intelligence Strategy Environment)	Directeur associé Expert incinération des déchets, traitement des déchets en four de cimenterie, pyrolyse-gazéification, combustion en lits fluidisés	✓	✓ entretien

* Un entretien téléphonique a également été conduit avec M. Jean-Claude Sompairac, Président Directeur Général de CITHERDI TDD



			1 ^{er} tour	2 ^{ème} tour
ADEME				
Philippe Bajeat	ADEME	Ingénieur Expert traitement des déchets ménagers et assimilés par voie thermique et procédés nouveaux – traitement conjoint DIB-OM et mise au point de procédés de traitement	✓	✓
Lydie Ougier	ADEME	Responsable Gestion des DIB Expert Gestion des DIB dans les entreprises, dimension organisationnelle et coûts des filières	✓	✓
Elisabeth Poncelet	ADEME	Ingénieur – Direction de l'Industrie Expert sur les installations d'incinération		entretien
Equipementiers				
Louis Rousseau	SERPAC Environnement BASSE SAMBRE E.R.I.	Equipementier four rotatif de pyrolyse	✓	✓
Olivier François	CGEA	Equipementier Lit fluidisé	✓	✓
Daniel Pantel	MAGUIN	Equipementier Four rotatif	✓	
Werner Fuhrmann	TECHNIP GERMANY GmbH	Equipementier Pyrolyse	✓	

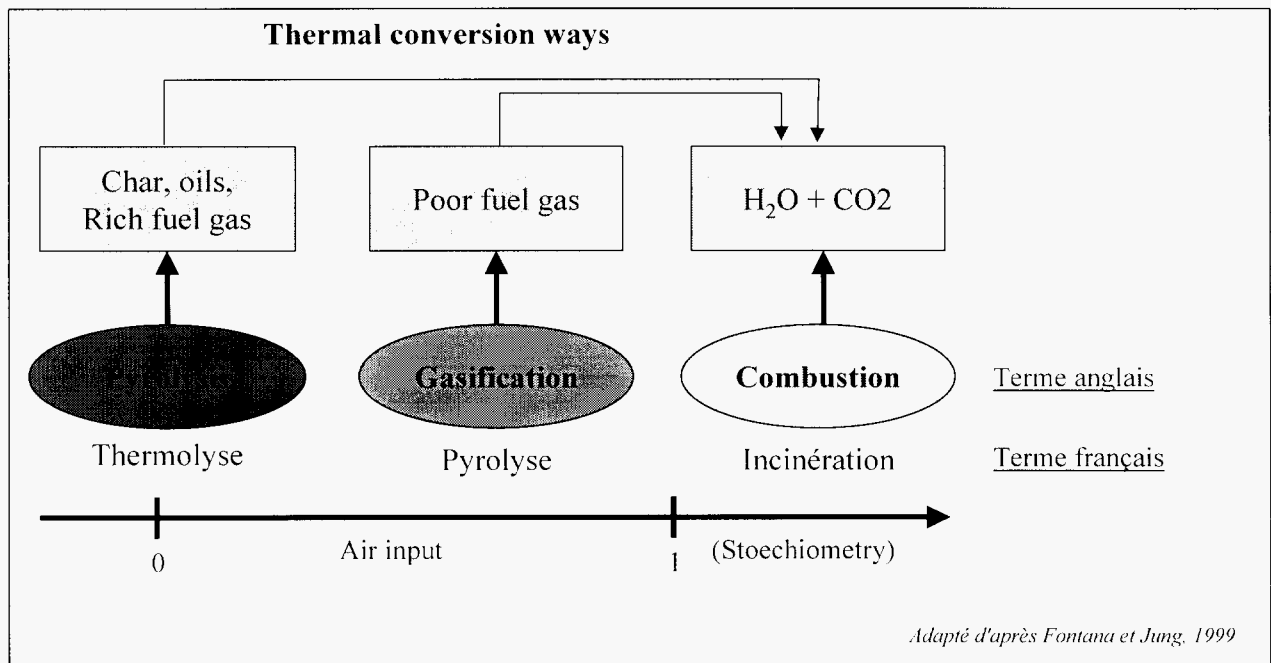


III. GENERALITES SUR LA FILIERE THERMIQUE

3.1 Définitions

- ✓ **DIB (Déchets Industriels Banals)** ¹ : déchets spécifiques ou communs, sans caractère toxique ou dangereux (ou inerte ?), assimilés ou non aux déchets ménagers (mais avec des proportions de constituants principaux - papier, plastiques, bois, métaux, tissus, biomasse... - et des PCI souvent élevés), émis par des industriels, artisans, commerçants, et non soumis à une classification nationale ou supranationale.
Certains experts préfèrent définir les DIB comme tout ce qui n'est pas DIS. D'autres indiquent que la définition actuelle des DIB n'est toujours pas consensuelle au sein de la communauté. Ainsi, par exemple un expert propose de redéfinir les DIB comme « déchets multiples des ménages et entreprises ne résultant pas directement de procédés de fabrication ».
- ✓ **Incinération** : traitement thermique à température élevée par oxydation par l'oxygène, en excès d'air (combustion) permettant de réduire le volume et la masse des déchets tout en produisant éventuellement de l'énergie.
- ✓ **Pyrolyse** : traitement thermique à température d'environ 450 à 750°C mais dans une atmosphère inerte ou pauvre en O₂ (en sous stœchiométrie d'oxygène), avec chauffage interne de la charge. Ce traitement conduit à des gaz chauds pauvres et à une phase solide (de type mâchefers et métaux oxydés). En anglais : gasification.
- ✓ **Thermolyse** : Terme 'commercial' introduit assez récemment en France (la pyrolyse étant mal connotée). Au plan technique, la différence avec la pyrolyse est que le traitement s'effectue en absence d'oxygène et par chauffage indirect. Ce traitement conduit à la décomposition de la matière organique et génère des gaz chauds riches et une phase solide (semi-coke et métaux décapés). On distingue les procédés de thermolyse seule (pré-traitement avec production de combustible de substitution) des procédés de thermolyse intégrée (traitement complet avec valorisation par combustion ou gazéification).
Attention à la confusion avec l'anglais : pyrolysis (voir figure ci-après)
- ✓ **Co-incinération** : « Installation dont l'objectif essentiel est de produire de l'énergie ou des produits matériels et qui utilise des déchets comme combustibles habituels ou d'appoint » (proposition de Directive n° 98C37207). Certains acteurs préfèrent parler de co-processing compte tenu du fait que cette technologie rentre dans des procédés industriels.
- ✓ **Déchets** : produits entrants, seuls ou en mélange dans une installation d'incinération, de pyrolyse/thermolyse et de co-incinération
- ✓ **Résidus** : produits solides sortants des installations d'incinération et de pyrolyse / thermolyse.
- ✓ **Sous-produits** : produits intermédiaires restant à traiter.

¹ Les DIB ont une existence dans le catalogue européen des déchets et dans la nomenclature française de nov.97



Dans la suite du document, nous pourrions utiliser les sigles suivants :

- ✓ Py : Pyrolyse
- ✓ ThS : Thermolyse Seule
- ✓ ThIC : Thermolyse Intégrée avec Combustion
- ✓ ThIG : Thermolyse Intégrée avec Gazéification



3.2 Les sources d'information disponibles pour la caractérisation du gisement de DIB en France

Un questionnement majeur de l'ensemble des acteurs de la filière thermique et, en particulier des utilisateurs de DIB pour la valorisation thermique, porte sur la sélection d'une voie thermique optimale en fonction des caractéristiques et du volume du gisement de déchets mobilisables.

Diverses sources d'information existent pour la caractérisation des gisements de DIB au plan régional ou national (voire européen). Parmi celles-ci, l'ADEME et les CCI sont les plus souvent citées (voir tableau ci-dessous).

Organismes	Type d'information disponible	disponibilité
I. ADEME Campagne 1998 de caractérisation de DIB et de refus de tri de DIB		Méthodes et synthèse diffusées
II. ADEME / CCI DIB : Quel tonnage ? (réf : 2445)	<ul style="list-style-type: none"> Estimation du tonnage des DIB produits en France et par région en 1996, chiffres clés sur la répartition du tonnage national par famille d'activité économique et par tranche d'effectif salarié, Remarque : pas exploitable en l'état pour dimensionner un projet 	Payant
III. ADEME / CCI Bilan des plans régionaux d'élimination des déchets (réf: 2755)	<ul style="list-style-type: none"> Ce rapport présente l'essentiel du contenu des plans régionaux d'élimination des déchets adoptés ou publiés au 3 février 1998 ainsi qu'une synthèse nationale de ces plans. 	Payant
OCDE via EUROSTAT	<ul style="list-style-type: none"> Information par pays (statistiques – chiffres nationaux consolidés) Données environnementales, économiques, sociales – population, ...) Fiabilité des informations parfois variable Information nationale et internationale 	Payant ou gratuit
IPTS (CE DG XII, Séville, Espagne)	<ul style="list-style-type: none"> chiffres EC officiels et interactions avec les fédérations européennes concernées 	
les centres techniques (presque tous)	<ul style="list-style-type: none"> gisement et besoins spécifiques à des filières industrielles Des informations globalement données à un niveau agrégé D'abord nationale et parfois régionale 	Payant ou gratuit
les syndicats professionnels (APME, EVCM, ...)	<ul style="list-style-type: none"> Composition des déchets - marché actuel Information régionale ou nationale 	Payant ou gratuit
Les Services Régionaux (ARE, DRIRE, ...)	<ul style="list-style-type: none"> études déchets Information régionale Bonne qualité de l'information 	Gratuit ou confidentiel
les opérateurs des filières de collecte et traitement (SITA, CGEA Onyx, HIM, GSB, SEF...)	<ul style="list-style-type: none"> données quantitatives et qualitatives usuelles Information régionale ou nationale selon la taille des opérateurs 	Payant Ou confidentiel
Sociétés privées en Conseil et Environnement (ISE sprl, Juniper, Beture, Trivalor, Cabinet Merlin, Girus, ... ²)	<ul style="list-style-type: none"> monographies, enquêtes, études de marché, caractérisation diagnostic dans le cadre d'une étude menée pour un maître d'ouvrage Pratique du traitement thermique en Europe Information régionale ou nationale 	Payant ou confidentiel
Les revues spécialisées Recyclage magazine (Bourse des déchets)	<ul style="list-style-type: none"> Information très générale 	Payant
Les fichiers SIREN / INSEE	<ul style="list-style-type: none"> Information agrégée Information régionale et nationale 	Payant ou Gratuit

² Par exemple, ISE sprl : propose une base sur les déchets disponibles dans divers pays, les quantités existantes dans les différents pays, leur source et finalité ainsi qu'une analyse multicritère pour identifier la filière optimale basée sur des expériences antérieures et les contacts des commerciaux – information payante



De façon générale, les experts indiquent/soulignent le manque de fiabilité et/ou le caractère contradictoire de certaines de ces informations. Au principal, trois raisons sont invoquées pour expliquer ces divergences :

- ✓ Le caractère volatil du gisement des DIB.
« il apparaît surtout urgent de s'en tenir à la caractérisation fine de gisements de DIB qui offrent de réelles garanties de pérennité, comme les résidus de broyage automobile par exemple. »
« Les DIB représentent un gisement évoluant rapidement : particulièrement en ce qui concerne les déchets d'emballage, qui ont un intérêt thermique ; les informations disponibles deviennent donc rapidement obsolètes »
- ✓ Le « flou » sur le périmètre pris en compte (nature des DIB, tailles des entreprises considérées, ...)
« Il faut que le mode de collecte des informations soit bien précisé pour que le contour des catégories ou volume soit clairement identifiable. Par exemple, un gisement de déchet peut être classé dans différentes catégories (ou oublié) selon les études. »
- ✓ Le manque de transparence (traçabilité) en matière de production de déchets (les experts soulignent la faiblesse des contrôles dans ce domaine).
« Tout DIB du point de vue scientifique et technique doit être soumis aux mêmes contrôles que les DIS. Les DIB peuvent être d'infâmes mélanges. C'est par laxisme des autorités, qui refusent de voir cette réalité, que nous manquons aujourd'hui de suffisamment de renseignements sur ces 'produits' »
Sur ce point, un expert précise : *« le contrôle appliqué aux DIS qui serait appliqué 'in extenso' aux DIB pose le problème fondamental de la qualité de l'échantillonnage pour les DIB en mélange. Cet échantillonnage pour être « représentatif » ne peut s'appliquer qu'aux DIB livrés en lots homogènes, sur les DIB en mélange, cette opération est quasiment voire impossible à réaliser ».*

Constatons enfin que, pour la plupart des experts, les données disponibles aujourd'hui ne permettent pas de procéder au dimensionnement d'un projet. A cet égard, les experts indiquent que des études au cas par cas doivent dans tous les cas être conduites : *« des études locales approfondies sont nécessaires pour évaluer les besoins, étudier les solutions alternatives de valorisation avant toute décision de s'orienter vers un traitement thermique notamment dans la perspective des plans d'élimination des déchets. »*

Notons que des outils et des initiatives ont été mentionnées pour la réalisation de ce type d'études (« Diagnostic Déchets » et « Méthodes de caractérisation des DIB » de l'ADEME ³)

Pistes de travail :

⇒ Réalisation d'études de caractérisation approfondies (micro et macro) sur les gisements a priori les plus attractifs (pérennité) pour le traitement thermique (en vue d'une utilisation opérationnelle pour le dimensionnement de projets)

³ La méthode proposée permet d'évaluer la qualité d'un gisement de refus de tri pour un centre donné. Cette évaluation aboutit à l'utilisation d'une méthode de caractérisation différente selon les refus concernés. La méthode a par ailleurs été utilisée pour la campagne 1998 de caractérisation des DIB et de refus de tri de DIB

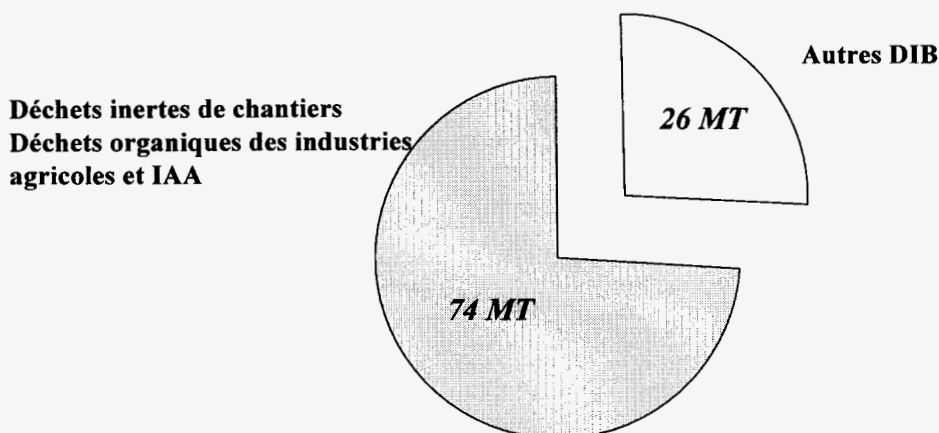


3.3. Le gisement des DIB en France

Les experts proposent une valeur de 100 millions de tonnes pour la taille du gisement des DIB en France (données ADEME). Ce chiffre inclut les déchets inertes de chantier du bâtiment et les déchets organiques des industries agricoles et agro-alimentaires.

Ce gisement est considéré comme stable à moyen terme.

Si l'on ne tient compte que des DIB de type verre, métaux, plastique, caoutchouc, papiers-cartons, bois, cuir et mélange des principaux établissements industriels⁴ ce gisement ne représente plus qu'environ 26 millions de tonnes en France actuellement.



Gisement des DIB en France en 1999 : 100 millions de tonnes

C'est cette dernière partie qui concerne plus particulièrement la valorisation thermique. Certains experts notent :

« la proportion des incombustibles devrait se limiter à 30% du mélange avec des DIB combustibles, sauf si la solution thermique est un moyen efficace de séparer les incombustibles des combustibles »⁵

« quand le cours du papier est élevé, et, que l'on dispose de chutes de papier de qualité, il ne vient à l'idée de personne de les brûler »

« Le prix faible de la mise en décharge supprime toute motivation de création de filière »

⁴ établissement de plus de 10 salariés (industries extractives et manufacturières, commerce de gros, commerce de détails de plus de 400 m²) – source ADEME

⁵ Selon un expert, en ce qui concerne le cas spécifique de la filière cimenterie, l'enjeu du ratio combustible / incombustible est moindre. C'est plutôt dans ce cas la qualité du mélange de déchets qui prime ainsi que son potentiel énergétique.



Quelques exemples de déchets non pertinents pour la valorisation thermique

- ✓ Le verre,
- ✓ Certaines matières pâteuses (les matières collantes, minérales),
- ✓ Les boues non séchées,
- ✓ Les déchets en mélanges (déchets de chantiers, bennes en fond de cour où sont mélangées des déchets inertes)
- ✓ Les déchets électriques et électroniques (sauf après démontage pour séparer les différentes fractions),
- ✓ Les déchets issus de l'extraction minière,
- ✓ Les déchets alimentaires des grandes surfaces et des marchés à intérêts nationaux,
- ✓ Certains métaux.

Au-delà de ces contraintes technico-économiques pour la valorisation thermique des DIB, le contexte socio-politique peut aussi constituer un facteur limitant au développement de cette filière : « *la dramatisation constante, souvent inappropriée, vis à vis de la gestion des déchets génèrent des interdits sociaux* ».

Comme le soulignent certains experts, ces aspects ne sont aujourd'hui pas assez approfondis.

Pistes de travail :

- ⇒ Réalisation d'études socio-politiques sur les freins / leviers à la diffusion des solutions de traitement thermiques des DIB et en particulier sur « les causes du rejet social de l'incinération »
- ⇒ Diffusion large des résultats des thèses ADEME sur ce sujet

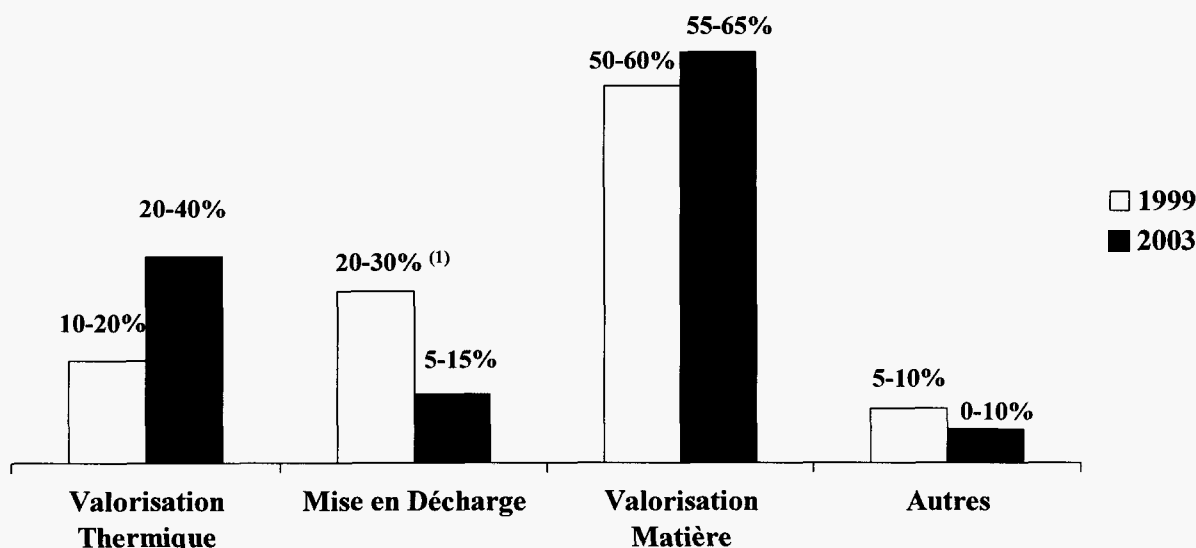


3.4. Le poids de la filière thermique dans le traitement des DIB

Comme nous l'avons vu précédemment, les trois quart du gisement total des DIB ne concerne pas (ou peu) la filière thermique.

Si l'on s'en tient donc au quart restant (ie, 26 MT), le poids des différentes filières en France et leurs évolutions à moyen terme sont indiquées dans la figure ci-après.

Gisement adressable de DIB (26 MT)



Pour les experts, la valorisation thermique représenterait entre 10 et 20% des voies de traitement des DIB.

Par rapport aux autres filières, un expert rappelle que « *le principal avantage de la valorisation thermique c'est de valoriser l'énergie des déchets sous forme de vapeur ou d'électricité revendue sur réseau, et que dans ce contexte, les DIB sont une source d'énergie importante et renouvelable. Par ailleurs, le recyclage matière de beaucoup de ces déchets risque de trouver ses limites bien avant la valorisation énergétique directe* ».

Aujourd'hui, les experts constatent que des freins au développement de la filière thermique existent :

- ✓ Chaîne logistique imparfaitement maîtrisée (collecte des DIB) : localisation des unités, rayon de collecte, taille, niveau d'automatisation requis...
- ✓ Concurrence avec les mesures de prévention et de promotion de technologies plus propres. Celles-ci pourraient en effet conduire à une réduction significative du gisement des DIB (10 à 20 % selon un expert) et donc à un surdimensionnement des installations ;
- ✓ Forte concurrence des cendres et mâchefers avec de nombreux déchets inertes aujourd'hui disponibles sur le marché et généralement à moindres coûts (même si, comme le fait remarquer un expert, la finalité des procédés thermiques n'est pas la valorisation des combustibles – mâchefers ou scories). Tendance générale au durcissement de la réglementation vis à vis de la lixiviation des cendres et mâchefers ;
- ✓ Etc ...



Malgré ces difficultés, il est intéressant de constater que la plupart des experts estiment que la filière thermique pourrait être amenée à se développer dans les prochaines années en France d'un facteur 2 (principalement au dépend de la mise en décharge). Notons quand même qu'un expert ne retient, pour sa part, qu'une croissance de l'ordre de 20% d'ici 2003.

A moyen terme, les experts estiment que le poids de la filière thermique restera significativement plus important dans les pays du nord de l'Europe (Suède, Danemark, Finlande, Luxembourg, Suisse, Belgique, Pays-Bas, Autriche, Allemagne). Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer cette situation :

- ✓ forte tradition de chauffage urbain (séduisant de chauffer en brûlant les déchets)
- ✓ pas de rejet systématique de l'incinération (qui dispose depuis longtemps du traitement des fumées)
- ✓ beaucoup de petites unités

Certains experts notent que compte tenu du retard des pays latins dans ces domaines, les taux de progression de la filière thermique pourraient être plus importants dans ces pays.

Au-delà des aspects réglementaires (en particulier, l'application de la loi de 1992 en France sur la mise en décharge), différents facteurs ont été proposés par les experts pour expliquer le développement que la filière thermique pourrait connaître en France à horizon 5 ans :

- ✓ L'amélioration à terme de la compétitivité du coût du traitement thermique (en particulier sur les installations de faible et moyenne capacité). Il a été indiqué que le traitement thermique se développe actuellement pour les DIB techniquement difficiles à valoriser sous forme matière, ou en complément du traitement des DIS. Toutefois, plusieurs experts indiquent que le traitement thermique apparaît encore trop coûteux par rapport aux autres filières ;
- ✓ L'émergence de technologies complémentaires particulièrement bien adaptées aux faibles capacités de traitement (cf. thermolyse / pyrolyse) ;
- ✓ Le développement d'installations spécifiques de traitement des DIB. Même si certains notent qu'aujourd'hui cela « ne correspond à aucune réalité et que les quelques projets spécifiques ont bien du mal à voir le jour ». Un expert indique même que ce type d'investissement ne devrait pas significativement décoller avant 2003 en France ;
- ✓ Le développement de l'ensemble du co-processing des industriels demandeurs d'énergie et d'autres matières naturelles (sidérurgie, fours à chaux, céramistes, verriers, briqueterie,...) et plus particulièrement de la valorisation en cimenterie ;
- ✓ Le développement de filières DIB spécifiques : pneus, partie combustible des produits en fin de vie après démontage, emballages souillés (DIBS pour un expert) ;
- ✓ La structuration d'une offre spécialisée de collecte et de traitement disponible au plan national.

Ces hypothèses sont reprises et discutées dans la suite du document.



IV. LE PANORAMA TECHNIQUE DE LA FILIERE THERMIQUE

4.1. Les technologies disponibles

On constate un accord global sur le périmètre des technologies/filières pour le traitement thermique des DIB seuls ou avec des OM⁶ :

Technologies disponibles	Taux de pénétration	Possibilités d'utilisation avec des DIB seuls ⁷
V. Incinération		
Lit fluidisé (dense, circulant, rotatif)	+/-	Oui à condition : <ul style="list-style-type: none"> • D'une préparation des DIB • Que le four soit refroidi (réfractaires refroidies ou injection d'eau) • D'une granulométrie définie • D'un PCI le plus constant possible Un exemple d'installation en Espagne ; des essais aux USA, Japon
Four oscillant	+	Oui, un essai sur 100% de DIB : Tarare LBI
Fours à grilles non refroidies à l'eau	+++ (traitement mixte) ⁸	
Fours à grilles refroidies à l'eau		
Four rotatif	+++ (100 % DIB)	Oui, TREDI, LAMHT, VIAMECO + nombreuses réalisations chez industriels
Fours à soles tournantes ⁹	+	Réalisations chez des industriels (petites capacités)
Four statique ¹⁰	-	
Pyrolyse / thermolyse		
ThIC	-	Oui, des exemples de réalisation pilote avec 100 % de DIB : <ul style="list-style-type: none"> • Softer de Nexus à Châteaurenard : RBA + pneus (+ quelques OM)
ThIG	-	<ul style="list-style-type: none"> • Essentiellement sur OM et encombrants (procédés PKA et Noell ?) • Quelques unités industrielles sur 100 % DIB : <ul style="list-style-type: none"> - Schwarze Pumpe (Allemagne) : 100 000 t/an - Thermex (Canada) : pneus

⁶ D'autres technologies / filières ont été ponctuellement citées. Cependant, par manque d'informations, elles ne seront pas prises en compte dans la suite de notre étude :

- ✓ Incinération : Filière bois,
- ✓ Co-incinération : Briqueterie, Fours verriers, Fours à chaux, Sidérurgie,
- ✓ Pyrolyse / thermolyse : Lits fluidisés interconnectés
- ✓ Oxydation par voie humide

Et aussi : Bains de métaux ou sels fondus, Blast furnace

⁷ Dans le tableau page 24, vous trouverez une liste plus complète d'exemples d'unités / pilotes industriels pour des applications non limitées au traitement des DIB seuls.

⁸ Un expert indique qu'il conviendrait de distinguer les fours à grilles non refroidies à l'eau de ceux à grilles refroidies à l'eau ; les premiers ayant un taux de pénétration plus faible, les deuxièmes pouvant s'adresser au traitement des DIB seuls.

⁹ aujourd'hui un peu obsolète ne font plus l'objet de nouvelles installations

¹⁰ globalement pas d'actualité pour le traitement des DIB même s'ils peuvent être encore utilisés pour un flux de DIB spécifique ou des tonnages faibles



Technologies disponibles	Taux de pénétration	Possibilités d'utilisation avec des DIB seuls ¹¹
ThS	-	Oui, des exemples de réalisations pilote et industrielle avec 100 % de DIB : <ul style="list-style-type: none">• Pyropleq de TECHNIP Germany GmbH : DIB• Noell (Salzgitter) : DIB + DIS• Procédé DTV de Traidec : Plastique + RBA + pneus
Py	-	<ul style="list-style-type: none">• Budapest de SERPAC Environnement (avec des OM ?)
<i>Co-processing / co-incinération</i>		
Cimenterie	++	
Centrales thermiques	-	

Il apparaît que les techniques d'incinération sont aujourd'hui les plus utilisées pour le traitement thermique des DIB en France (notamment four à grilles pour mélanges et rotatif pour spécifiques) suivis par la filière cimenterie. Cette dernière constituerait le premier domaine d'application pour la co-incinération.

4.2. Les domaines d'application

Les principales caractéristiques des applications pour les différentes technologies de la filière thermique sont présentées dans les tableaux ci-après.

Rappelons ici que de nombreux experts ont indiqué qu'il n'existait pas de données fiables / validées pour la thermolyse / pyrolyse.

Si globalement, il y a consensus sur les points faibles / forts des différentes technologies, des divergences apparaissent dans la hiérarchisation de ces avantages et de ces inconvénients. Nous nous sommes contentés dans le tableau ci-dessous de lister ces points.

¹¹ Dans le tableau page 24, vous trouverez une liste plus complète d'exemples d'unités / pilotes industriels pour des applications non limitées au traitement des DIB seuls.



	Type de DIB / prétraitement	Forme physique requise (granulométrie)	Contaminants interdits	Gamme de PCI (MJ/kg)*	Capacité nom. (T/h)*	Fonctionnement discontinu	Cond. Fonct. Max-min	Points forts	Points faibles
Lit Fluidisé	Tous les DIB sauf inertes et métaux Prétraitement : retirer les fractions métalliques et fondantes / broyer	< à 10 ou 20 cm	<ul style="list-style-type: none"> déchets fortement chlorés ¹²(1% Chlore, 2% Chlore, halogènes > 3,5%) produits fondants / sels / parties métalliques 	4 à 20	de 1 à 12 ¹³ de 20 à 40 ¹⁴	Oui/Non 15	50 à 100 %	<ul style="list-style-type: none"> Qualité de combustion Souplesse Faible inertie, compacité 	<ul style="list-style-type: none"> Complexité (sur la mise au point et traitement) Nécessité d'une préparation des déchets Quantité importante cendres volantes
Four oscillant	<ul style="list-style-type: none"> DIB solides Papiers / Carton Mélange plastiques / papiers RBA Pneumatiques Pas de prétraitement requis	<ul style="list-style-type: none"> ¹⁶Calibrage grossier / vrac / palette Eviter les éléments trop gros ou roulants l < 50 cm - d < 0,15 	<ul style="list-style-type: none"> Chlore < 5% ou installations spécifiques pour les DIB fortement chlorés Al 	4 à 20 ¹⁷	2 à 8	Non	50 à 120 %	<ul style="list-style-type: none"> Technique éprouvée, simple Polyvalence Qualité de la combustion 	<ul style="list-style-type: none"> Entretien coûteux Nécessité calibrage de charge
Fours à grilles non refroidies	<ul style="list-style-type: none"> DIB au PCI peu élevé Bois Cartons Plastiques Pneumatiques Pas de prétraitement requis ¹⁹	<ul style="list-style-type: none"> 0 - 1000 mm Calibrage grossier / Vrac 	Chlore (< 2%)	5 à 13	3 à 50 ¹⁸	Non	60 à 100 %	<ul style="list-style-type: none"> Technique éprouvée Flexibilité sur l'alimentation 	<ul style="list-style-type: none"> Manque de souplesse Coûts élevés Imbrûlés importants
Fours à grilles refroidies à l'eau	<ul style="list-style-type: none"> DIB communs¹⁹ Bois Cartons Plastiques Pneumatiques Prétraitement si granulométrie trop importante	<ul style="list-style-type: none"> < 50 cm Calibrage grossier / Vrac 	Chlore (< 2%)	5 à 16 ²⁰	5 à 35	Non	60 à 100 %	<ul style="list-style-type: none"> Robustesse 	<ul style="list-style-type: none"> Complexité

* Un expert précise : « les puissances thermiques, généralement exprimées en MW dépassent rarement 50 à 60 MW, toutes techniques confondues. Il y a donc lieu d'être prudent quant à l'évaluation de technologies disponibles en associant dans les 2 colonnes les valeurs maxi, simultanément ».

¹² Pour un expert il n'y a pas de limite sur le chlore sauf pour les installations de fours à grille ; NB - plus il y a de chlore plus l'installation vieillit vite pour denses et rotatif

¹⁴ pour circulaire- Un expert attribue au lit fluidisé, dense une capacité nominale de 1 à 40 / pour un autre expert elle est de 1 à 75 (pour un PCI de 40 000 kJ/kg) et jusqu'à 300 (pour un PCI de 10 000 kJ/kg) Selon les constructeurs des possibilités d'arrêt mais engendre des difficultés / Nécessite des réglages pour protéger le lit - possible quand l'alimentation en air est coupée - Pour un expert ce fonctionnement n'est pas possible car le lit fluidisé nécessite un process commun pour la valorisation énergétique et le traitement des fumées.

¹⁶ Pour un expert, c'est le dispositif d'enfournement qui limite les formes physiques possibles

¹⁷ Pas au-delà de 10 pour certains

¹⁸ Pas au-delà de 50 pour certains

¹⁹ Pour un expert seul les DIB communs proches des OM sont utilisables - Un autre rappelle que la charge thermique du four est en fait le facteur limitant

²⁰ pour un expert : 10 à 40 cfr: diagramme de charge. Le refroidissement de la grille "glisse" la fourchette des PCI vers des valeurs plus élevées que dans le cas des fours à grilles non refroidies.



	Type de DIB / prétraitement	Forme physique requise (granulométrie)	Contaminants interdits	Gamme de PCI (MI/kg)*	Capacité nomin. (T/h)*	Fonctionnement discontinu	Cond. Font. Max-min	Points forts	Points faibles
Four rotatif	Tous les DIB Globalement pas de prétraitement requis ²¹	<ul style="list-style-type: none"> <15cm calibrage grossier 	<ul style="list-style-type: none"> Chlore < 1 ou 5% Eviter les teneurs élevées en halogènes et en métaux 	4 à 40	1 à 20	Non	60 à 120 %	<ul style="list-style-type: none"> Polyvalence 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement faible Coûts élevés Entretien des réfractaires / nécessité de post-combustion
Py ²²	Tous les DIB Globalement pas de prétraitement requis	à l'exclusion des encombrants	Chlore < 5 % souhaitable	4 à 50	1 à 10	Non	50 à 110 %	<ul style="list-style-type: none"> Polyvalence Rendement énergétique Débit de fumées faible Taille de l'installation réduite 	<ul style="list-style-type: none"> ?²¹
Th IC	Tous les DIB ²³ Prétraitement requis (broyage)	<ul style="list-style-type: none"> 5 à 100 cm suivant les procédés Encombrants Déchets broyés 	Chlore : de 1 à 5 % et autres halogènes	4 à 50 ²⁴	1 à 10 ²⁵	Non	50 à 110 %	<ul style="list-style-type: none"> Performance 	<ul style="list-style-type: none"> Coûts élevés Complexité Rendement faible Sécurité, fiabilité
Th IG	Tous les DIB Prétraitement requis	à l'exclusion des encombrants ²⁶	<ul style="list-style-type: none"> Chlore (1 à 5%) et autres Halogènes Soufre 	4 à 45	5 à 10 ²⁷	Non	50 à 100 %	<ul style="list-style-type: none"> Taille de l'installation réduite Débit de fumées faible 	<ul style="list-style-type: none"> Coûts élevés Complexité Sécurité, fiabilité Faible durée de vie des réfractaires
Th S	Tous les DIB ²⁸ Prétraitement requis	DIB broyés : < 20 à 30 cm	Chlore < 5%	Très large	1 à 10	Non ²⁹	50 à 110 %	<ul style="list-style-type: none"> Débit de fumées faible Traitement différé des combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> Transfert de pollution Sécurité manutention gaz de thermolyse

* Un expert précise : « les puissances thermiques, généralement exprimées en MW, dépassent rarement 50 à 60 MW, toutes techniques confondues. Il y a donc lieu d'être prudent quant à l'évaluation de technologies disponibles en associant dans les 2 colonnes les valeurs maxi, simultanément ».

²¹ Pour un expert, ne dépend pas du procédé mais dépend du mode d'alimentation choisi: une vis sans fin ou un papillon demandant un pré-broyage; une alimentation en vrac (via un sas) ne le demande pas

²² Cette ligne a été rajoutée à la demande d'un équipementier du domaine et les informations contenues n'ont pas été confrontées durant la phase de relecture.

²³ Un expert précise : selon les procédés, produits à faibles PCI non traitables

²⁴ Selon les procédés – pour certains experts, la pyrolyse (puisque'il n'y a pas de combustion) n'est pas sensible au PCI mais les procédés peuvent l'être

²⁵ Siemens : à partir d'environ 10 t/h

²⁶ pour un expert, c'est le type de contacteur gaz-solide qui est important et les portes d'alimentation qui définissent la granulométrie. Le fait qu'il s'agit de pyrolyse, de thermolyse, de gazéification ou de combustion n'a aucune importance.

²⁷ Thermoselect : environ 5 à 10 – un expert précise : de 0 à 1 pour sole ralisée, de 2 à 10 pour fours tournants, de 0 à 5 pour chariots

²⁸ Pour un expert, qui si il y a un % d'organiques volatils suffisants sinon l'installation ne se justifie pas.

²⁹ Un expert précise que le dispositif d'extraction des gaz a besoin d'un débit régulier pour éviter l'encrassement

Synthèse de dires d'experts sur les filières thermiques appliquées aux DIB



Type de DIB / prétraitement	Forme physique requise (granulométrie)	Contaminants interdits	Gamme de PCI (MJ/kg)	Capacité nomin. (T/h)	Fonctionnement discontinu	Cond. Fonct. Max-min	Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> • Cartons, bois, textile, plastiques • Pneus, caoutchouc,... • Produits de cracking thermique : gaz, huiles et coke Prétraitement des DIB requis ³⁰	<ul style="list-style-type: none"> • < 10-20 mm pour injection à la flamme principale • en général 5 à 30 cm en bas de tour de préchauffage • jusqu'à 1,5 mètres en introduction directe au cœur du four³¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Métaux lourds (analyse au cas par cas)³² • Chlore : limité au cas par cas suivant le type de four³² 	4 à 45 ³³	Jusqu'à 100 % des besoins	Non	0 à 120 %	<ul style="list-style-type: none"> • Technique éprouvée, simplicité, fiabilité • Gestion des sous-produits intégrée 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépendance vis-à-vis des exigences de la filière cimentière et de sa localisation • Evolution réglementaire / marché incertaine à long terme • Gestion des conditionnements, gestion de l'approvisionnement • Compatibilité avec les DIB • Nécessite une préparation du déchet en fonction du type de four • Limite légale / technique au taux de substitution du combustible par les déchets
Centrales thermiques	<20 cm ³⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Métaux lourds • Chlore et autres halogènes • SO₂ 	10 à 40	0 à 100	Non	40 à 120 %	<ul style="list-style-type: none"> • Polyvalence, Performance • Economique (bien que les spécifications des combustibles soient strictes pour ne pas compromettre la fiabilité des installations) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité de déchets à composition régulière et finement broyés • Gestion de la régularité de l'approvisionnement • Limite stricte du taux de certaines impuretés, ce qui nécessite un contrôle poussé à la réception des déchets

³⁰ Un expert précise : tri, broyage, flottation / Granulation, mise en ballots / Contrôle / Choix de granulométrie fonction des choix technologiques

³¹ exemple : pneus entiers (jusqu'à 1,5 m de diamètre), ballots de DIB (80-90 kg) (0,8*0,8*0,3)

³² un expert précise : la limite en Cl doit être analysée au cas par cas suivant le type de four - ce n'est pas une limite environnementale mais une limite soit procédée soit qualité du ciment où le Cl doit rester < 1000 ppm / Métaux lourds : analyse au cas par cas : ex: Hg (limite car souvent volatil) ; Zn (peut interférer sur la prise du ciment) ; Cr (en valence 6+, peut créer eczéma du ciment) Séquestration quasi totale des métaux dans le ciment - autoépurant des gaz et respect des normes EU applicables aux incinérateurs / Inertes : pas de limites s'ils sont composés des éléments nécessaires à la production du ciment : Si, Al, Fe, Ca, S

³³ Un expert précise : suivant les études scientifiques, dans le processus cimentier, un produit ayant plus de 7-8 MJ/kg permet d'atteindre une température de combustion de 1500°C

³⁴ un expert précise que les centrales peuvent être à grilles, à lit fluidisé, à charbon pulvérisé, ce point joue sur les exigences granulométriques



4.3.L'état actuel de la filière thermolyse / pyrolyse

Pour la majorité des experts, la pyrolyse / thermolyse en est encore au stade du développement en France pour le traitement des DIB. En revanche à l'étranger, notamment en Allemagne, cette technologie présente déjà des unités qui ont atteint le stade industriel. Les différentes expériences industrielles ou pilotes identifiées lors de cette étude sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Notons que certains experts considèrent globalement que la pyrolyse / thermolyse fonctionne depuis longtemps en tant qu'unité industrielle pour le traitement de produit bien défini dans un procédé complet (piles, accumulateurs, charbon actif, bobinage en cuivre). La principale difficulté pour son transfert aux DIB réside dans l'hétérogénéité et la volatilité de ces déchets. Un expert indique d'ailleurs qu' « *il existe, certes d'assez longue date, des unités traitant des déchets spécifiques, mais que l'état de leur développement ne permet pas de considérer qu'il s'agit de technologies banalisées* ».

Thermolyse / Pyrolyse	Type	Nature des DIB traités	Quantité traitée depuis le démarrage	Remarques éventuelles
Exploitations industrielles³⁵				
Procédé PKA de PKA (Aalen, Allemagne)	ThIG	OM et encombrants		<ul style="list-style-type: none"> Mise en service en 98 a succédé à Kiener pyrolyse débuté en 83
PIT Pyroflam de SERPAC Environnement (Budapest-Hongrie)	Py	Mélange OM / DIB	0,8 – 1,5 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Mise en service en 96 Conduite délicate (difficultés de mise au point)³⁶ Difficulté sur étanchéité du four³⁷ Imbrûlés mâchefers³⁸
Pyropleq de TECHNIP Germany GmbH	ThS	DIB		<ul style="list-style-type: none"> Nombreuses réalisations industrielles
Burgau de Babcock	ThIC / ThS ?	OM, encombrants		<ul style="list-style-type: none"> Mise en service en 87 ; toujours en exploitation
Procédé Thermoselect (Karlsruhe, Allemagne)	ThIG	Encombrants OM	30 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Démarré en 99 Difficulté avec les équipements auxiliaires
Procédé Ebara (Fujisawa, Japon)	Py	OM, plastiques RDF	Capacité : 20 t/j	<ul style="list-style-type: none"> Procédé autorisé le 21.7.98
Noell (Salzgitter)	ThS	DIB et surtout DIS	45 000 t/an	<ul style="list-style-type: none"> Unité industrielle applicable aux DIB seuls Difficulté due au coût et à la complexité
Alcyon – Tirec (Taiwan)	ThS	Pneus	36 000 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Démarrage en 99
PTR de Siemens (Fürth)	ThIC	OM et encombrants	18 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Echec : explosions et incendies / fuite de gaz, corrosion, bouchage ... Une unité en construction au Japon sur mélanges

³⁵ Autres procédés sur lesquels nous ne disposons pas d'informations : COMESSA (Strasbourg), SNAM (Accumulateurs), RECITER (Suisse, Piles, vernis, peinture sur bobinage moteur), Schwartpumpe, thermese, CITRON (Havre – démarrage en septembre 99)

³⁶ L'équipementier précise que « *l'installation industrielle est en service depuis plus de 3 ans et est exploitée par un personnel hongrois sans qualification, ce qui n'empêche pas un fonctionnement satisfaisant de cette usine* »

³⁷ L'équipementier précise que « *un défaut d'étanchéité apparu sur le four a été réparé* ».

³⁸ L'équipementier précise que « *ce problème passager, lié au précédent, est pratiquement réglé et donc ne constitue pas un défaut imputable au procédé mais à un simple problème technique* ».



Expériences pilotes ³⁹				
Softer de Nexus (Châteaurenard, France)	ThIC	RBA, pneus OM	0,5 t/h	<ul style="list-style-type: none">• Démarrage en 94-95• capacité de fonctionner en continu à confirmer
Procédé EDDITH de Thide (Vernouillet, France)	ThS	RBA, OM et pneus	0,5 t/h	<ul style="list-style-type: none">• démarrage d'une unité commerciale au Japon (HITASHI)
Procédé DTV de Traidec (Ste Foy l'Argentière, France)	ThS	Plastique, RBA, pneus	1 t/h	<ul style="list-style-type: none">• Démarrage en août 99
Procédé de BASF (Ludwigshafen)	ThS	Plastiques	18 000 t/an	<ul style="list-style-type: none">• Démarré en 92-93• Pas d'exploitation industrielle prévue
Procédé de BC (Berlin)	ThS	Plastiques, Sheet bars	30 – 50 kg/h	<ul style="list-style-type: none">• Démarré en 92• Echec

Plusieurs enseignements peuvent être tirés des expériences réalisées ou en cours :

- ✓ Globalement, recul limité pour juger la plupart des opérations identifiées. Les données de base (temps d'arrêt / an, maintenance, capacité installée et testée, nombre d'heures cumulées par an..) ne sont pas disponibles. Un expert indique que 10 000 à 25 000 h de fonctionnement sont nécessaires avant de pouvoir tirer des enseignements opérationnels⁴⁰.
- ✓ Echecs / difficultés constatés pour certaines opérations : explosions⁴¹, rentabilité insuffisante, difficultés d'exploitation, etc.... Là encore, une analyse approfondie est nécessaire pour identifier les causes, proposer des remèdes et définir les coûts associés pour la résolution.
- ✓ Des succès d'abord sur des petites unités, sur des créneaux particuliers (cf. réalisations TECHNIP Germany GmbH). Sur ce point, un des experts indique qu'avant d'envisager le traitement de DIB en mélange, il conviendrait plutôt de porter l'effort sur des DIB spécifiques. Un autre constate que s'il existe des « choses prometteuses à petite échelle, à grande échelle c'est la catastrophe ».

Concernant la pyrolyse / thermolyse en tant que prétraitement amont de la co-incinération ou du co-processing industriel plusieurs expériences ou projets/études de faisabilité ont été cités : Nexus (Softer), Thide Environnement (Eddith), Traidec ou encore le projet de Thide, Nexus et Nesa avec les cimentiers français et belges.

Le principal verrou au développement de cette association apparaît résider dans la maîtrise dans le temps de la qualité et de la quantité de l'approvisionnement en cokes de pyrolyse : absence de polluants dans le sous-produit (métaux lourds, chlore, ...), assurance de la qualité constante. Un expert note cependant que « *c'est un problème générique. La valeur marchande d'un produit aux yeux d'un utilisateur potentiel, dépend de la stabilité de la composition, du prix et de la garantie de disponibilité des quantités souhaitées en fonction du temps.* »

« *C'est une difficulté supplémentaire qu'il faudra résoudre en adaptant le procédé de pyrolyse. Ce n'est pas un verrou.* »

Un expert a par ailleurs indiqué qu'une validation de la qualité des combustibles solides issus de la thermolyse par différentes méthodes était en cours de développement.

³⁹ Autres expériences pilotes sur lesquelles nous ne disposons pas d'information : PROLER (USA)

⁴⁰ A l'exception, selon un expert, des expériences réalisées sur les DIB en Allemagne par Mannesmann et Noell.

⁴¹ Sur ce point un expert précise que « l'échec de Siemens (Furth) laissent un champ de ruines dans ce secteur »



Pistes de travail :

- ⇒ Procéder à une analyse approfondie des expériences en cours (notamment à l'étranger) afin de faire un point précis sur la réalité des échecs ou des succès ; les traduire en termes opérationnels (niveau de qualification du personnel, temps d'arrêt / an, maintenance, capacité installée et testée, nombre d'heures cumulées par an...)
- ⇒ Suivre les résultats sur l'étude de validation de la qualité des combustibles solides issus de la thermolyse (cf. Fontana)

4.4. Les avantages concurrentiels de la thermolyse

Les questions relatives à l'avantage concurrentiel de la thermolyse ont fait l'objet d'avis contrastés de la part des experts interrogés. Dans la suite, nous avons repris les différents arguments en les organisant en 4 familles : environnementaux, économiques, réglementaires et techniques.

4.4.1. Au plan environnemental

Plusieurs critères ont été discutés par les experts qui sont repris dans le tableau ci-dessous (+ si la technologie présente un avantage et – dans le cas contraire).

	ThS	ThIC	ThIG	Py	Incinération
Qualité Cendres / mâchefers	+/-	+ (vitrification)	+	-	+ / -
Quantité Cendres/ mâchefers	+ (faible quantité)	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Métaux	+ (séparation des mat. minérales)	+ (séparation des mat. minérales)	+ / - (dépend si tri ou non)	- (oxydation) ⁴²	-
Débit Fumées	++ (faibles débits)	+	+	+	-
M. lourds	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -
Qualité fumées					
Dioxines	+	+	+	+	+

Remarque : ce tableau pose la question sur les frontières du système afin de comparer les différentes voies technologiques.

⁴² Un équipementier précise que « l'oxydation (dans le procédé de pyrolyse interne totale PIT Pyroflam de SERPAC Environnement) est très peu significative, et les métaux sont très facilement séparables et recyclables comme dans les procédés de thermolyse. Ce n'est donc pas un point négatif du procédé. Par ailleurs, le recyclage des métaux se fait généralement avant le traitement thermique ce qui relativise l'importance de ce critère ».



De ce tableau, il ressort que :

- ✓ Globalement, la thermolyse / pyrolyse ne présente pas d'avantage significatif par rapport à l'incinération⁴³. Toutefois des spécificités existent selon qu'il s'agit de la thermolyse seule, de la thermolyse intégrée ou de la pyrolyse. Il convient donc de ne pas faire d'amalgames entre ces différentes technologies ;
- ✓ La qualité des fumées n'apparaît pas être un critère discriminant ; en effet, comme l'ont fait remarquer de nombreux experts il n'y a pas avantage à la thermolyse lorsque les unités d'incinération sont dotées d'équipement de traitement de fumées adéquats (ce qui apparaît être le cas aujourd'hui). Notons que sur ce point, certains 'pro thermolyse' ne contestent pas ce diagnostic⁴⁴. En revanche, la quantité des fumées apparaît plus faible avec la thermolyse / pyrolyse ;
- ✓ Les parties métalliques sont de meilleure qualité avec la thermolyse seule et avec la thermolyse intégrée avec combustion. Sur ce point, plusieurs experts ont indiqué que cela représentait un avantage au plan environnemental s'il y avait effectivement possibilité de valorisation ultérieure de ces sous-produits. Or, les perspectives dans ce domaine ne font apparemment pas l'objet d'un large consensus ! ;
- ✓ La quantité des résidus avec la thermolyse seule semble plus faible. Cet argument, souvent présenté comme un 'plus' par certains, est contré par plusieurs experts qui indiquent que cela ne constitue pas un avantage objectif dans la mesure où les coques produits devront eux mêmes être traités par la suite.

Notons ici que, pour certains experts, le principal avantage de la thermolyse au plan environnemental (et social) réside dans l'image négative véhiculée par l'incinération.

4.4.2. Au plan économique

Il ne semble pas y avoir aujourd'hui avantage à la thermolyse / pyrolyse, exception faite de quelques applications spécifiques (traitement de DIB spécifique ou à priorités particulières,...) ou pour des faibles capacités installées.

Dans ce dernier cas (petites installations), la position de la thermolyse pourrait être fragilisée par l'apparition d'une offre incinération de petite capacité (four oscillant Laurent Bouillet).

⁴³ Sauf, selon un expert, pour de faibles capacités (inférieures à 50 000 T/an)

⁴⁴ Un équipementier fait remarquer que la qualité des fumées brutes est meilleure que celle des fumées émises lors d'une incinération et que les équipements de traitement sont plus simples, ce qui, au plan économique, peut constituer un avantage.



Par ailleurs, les experts rappellent que les données sont insuffisantes aujourd'hui pour tirer des conclusions définitives. A titre indicatif, nous présentons dans le tableau ci-dessous des exemples de coûts d'investissement et de traitement pour les déchets ménagers (données fournies par l'un des experts). Il conviendrait certainement de procéder à des analyses de ce type pour les DIB.

	Incinération (200 000 t/an)	ThIC & ThIG (200 000 t/an)	ThIG (50 000 t/an)	ThS⁴⁵ (50 000 t/an)	Py (50 000 t/an)
Investissement (FF/t/an)	3 950	3 500	4 750	1 900 – 4 000	2 000 – 3 000
Coût traitement (FF/t)	550	430 - 515	690	350 - 595	350 - 550

D'après Jung et Fontana (99)

*D'après SERPAC
Environnement (99)*

4.4.3. Au plan réglementaire

Un expert a indiqué que la thermolyse bénéficie d'un avantage très significatif (stratégique) dans la mesure où cette technologie est assimilée à une valorisation matière (down-cycling or feedstock recycling), considérée comme prioritaire par rapport à une valorisation énergétique (au moins en France).

Par exemple, dans le cas du secteur de l'automobile, la réglementation (à horizon 2015) fixe le taux de valorisation matière à 85 %. Ce seuil n'est pas facile à atteindre et certains acteurs du secteur envisageraient de recourir à la thermolyse pour y parvenir. En d'autres termes, il s'agit d'une façon détournée de faire glisser les pourcentages « énergie » vers les pourcentages « matières » qui sont généralement trop ambitieux et donc très difficile à atteindre sans cette pratique.

4.4.4. Au plan technique

Il est intéressant de noter que certains experts considèrent que le niveau de formation technique des opérateurs pourraient dans certains cas constituer un frein à la diffusion de la thermolyse / pyrolyse :

« La plupart des unités fonctionnent aujourd'hui avec les équipes qualifiées des constructeurs ; quant on passera en routine, la question des compétences va se poser ».

« Pour les petites unités décentralisées, où l'on ne dispose pas d'un volant thermique suffisant, la conduite n'est pas évidente. La maintenance préventive risque alors de ne pas être traitée de façon satisfaisante car les équipes ne sont pas hyper compétentes »

Un expert indique toutefois que si ce constat est probablement vrai pour la thermolyse intégrée (four à haute température), la conduite est beaucoup plus facile dans le cas de la thermolyse seule et *« qu'en aucun cas le niveau de qualification ne constitue un point de blocage pour la thermolyse »*. Un équipementier précise que *« l'usine de pyrolyse intégrée de Budapest (SERPAC Environnement) fonctionne avec du personnel hongrois non qualifié sous la responsabilité d'un maître d'ouvrage, depuis plus de 3 ans, montrant ainsi que le procédé est facile à exploiter »*.

Le débat reste ouvert !

⁴⁵ Selon le type de procédés avec ou sans crackage des gaz de thermolyse



De façon très générale, cette analyse indique que les aspects « environnementaux » de la thermolyse ne constituent pas aujourd'hui le seul facteur « d'achat » à prendre en compte, loin s'en faut ! Les aspects techniques (fiabilité / sécurité / niveau de qualification), économiques (rentabilité) ou réglementaires apparaissent essentiels.

Pistes de travail :

- ⇒ Réalisation de bilan matière sur quelques cas / opérations en cours. Les diffuser.
- ⇒ Analyse économique comparative entre thermolyse et incinération pour DIB
- ⇒ Approfondissement de la piste réglementaire (assimilation thermolyse à procédé de valorisation matière)



V. LES BESOINS EN ETUDES ET R&D

5.1. Les difficultés / problèmes techniques rencontrés

Un certain nombre de difficultés techniques a été identifié par les experts (voir tableau ci-après – entre parenthèses figure le nombre de fois où la difficulté a été jugée comme prioritaire par les experts). Notons cependant qu'il n'y pas de consensus sur l'ordre d'importance de ces problèmes.

	Maintenance	Conduite
<i>Incineration</i>		
Lit fluidisé	<ul style="list-style-type: none"> • Blocage du lit et encrassement de la chaudière (7) • Entretien broyeur et réfractaires (érosion) (2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Homogénéité de la combustion / du combustible préparé (3) • Fluidisation (2) • Mise au point du four et du périphérique / T° lit de fusion (2) • Fusion et recirculation des inertes (1) • Gestion des poussières, extractions des inertes (1) • Dosage du combustible • Fiabilité du système d'alimentation
Four oscillant	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien réfractaire (2) • Corrosion (1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Collage/Fusion mâchefers et cendres (3) • Entrée d'air parasite (1) • Envol des poussières (1) • Oxydation des solides peu maîtrisée
Four à grilles non refroidies à l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation des grilles (risque de fusion / coincement) (3) • Corrosion de la chaudière 	<ul style="list-style-type: none"> • Maîtrise de la combustion : colmatages et imbrûlés / Hétérogénéité de la combustion (4) • Gestion de l'hétérogénéité des déchets (2) • Blocage des extracteurs
Grilles refroidies à l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilité des grilles 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion de l'hétérogénéité des déchets et de ceux à PCI élevé (2) • Colmatage et imbrûlés (1) • Circuits d'eau de refroidissement (fiabilité)
Four rotatif		<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la combustion (Fusion mâchefers et cendres, taux d'imbrûlés mâchefers) (5)⁴⁶ • Tenue du réfractaire du four (1) • Entrée air parasite (1) • Etanchéité (1) • Oxydation des solides peu maîtrisée
<i>Pyrolyse/thermolyse</i>		
ThIC	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion et entretien global (2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion des sous-produits (tenue des réfractaires, charges en métaux lourds des cokes) (3) • Mise au point / maîtrise (2) • Transfert de gaz vers la chambre de combustion (1) • Gestion de l'hétérogénéité des déchets (PCI pas assez élevé)
ThIG	<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyage / entretien 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise au point / Maîtrise (5) • Pompage des gaz (1) • Gestion de l'hétérogénéité des déchets

⁴⁶ Un expert précise que : « la mise au point du four rotatif de VIAMECO permet d'affirmer aujourd'hui que ce sujet est entièrement maîtrisé, en particulier sur le taux d'imbrûlés de mâchefers qui est inférieur à 2,5 % ».



	Maintenance	Conduite
ThS		<ul style="list-style-type: none">• Mise au point / Maîtrise (5)• Synchronisation des procédés (2)• Gestion de l'hétérogénéité des déchets• Acheminement combustible vers utilisateur final à définir
<i>Co-incinération</i>		
Cimenterie ⁴⁷		<ul style="list-style-type: none">• Besoin en pré-traitement (4)• Gestion de l'hétérogénéité des déchets et du taux de substitution (4)
Centrales thermiques	<ul style="list-style-type: none">• Risque de corrosion (3)	<ul style="list-style-type: none">• Constantes de temps d'ignition et de combustion différentes de celles du charbon nécessitant une adaptation de certaines boucles de régulation (5)• Tenue du foyer et de la chaudière (2)• Alimentation du four (2)

A l'exception de la thermolyse / pyrolyse, les problèmes rencontrés au plan technique ne semblent pas représenter des freins majeurs à la diffusion des diverses technologies analysées.

Dans les chapitres suivants, nous reprenons, technologie par technologie, les points clés des « dires d'experts ».

5.2. Le cas de l'incinération

Pour l'incinération, les verrous techniques ne sont pas, de l'avis des experts, des freins à la diffusion des technologies disponibles pour le traitement des DIB.

Il apparaît par ailleurs que les enjeux d'études et de R&D concernent plus particulièrement l'amont et l'aval de la filière et, dans certains cas, ne sont pas techniques.

Trois grands axes de travail semblent se dessiner pour l'incinération :

⇒ **Caractérisation et recensement des résidus** : pour un expert, « *même si des tests existent pour la réalisation de diagnostic résidus, leur utilisation est ponctuelle et ne permet pas le plus souvent des comparaisons* ». L'idée d'un protocole unique de tests des résidus au niveau européen a été émise. Un autre expert indique que cet enjeu concerne plus particulièrement les lits fluidisés (base de données assez large sur la qualité des cendres volantes)

⇒ **Amélioration du traitement et de la valorisation des mâchefers pour les fours à grille et les fours oscillants** et, en particulier :

- Maîtriser et améliorer la tenue des réfractaires et des barreaux de combustion dans le temps
- Mettre en évidence les possibilités de recyclage des mâchefers d'incinération
- Améliorer la connaissance même des mâchefers

⁴⁷ Une difficulté environnementale a été citée : effet de dilution des fractions minérales dans le clinker



Notons quand même qu'un expert indique que si des efforts restent effectivement à faire dans ce domaine, des améliorations ont déjà eu lieu pour les fours à grille (augmentation des températures de combustion, évolution de la taille des grains et des paramètres mécaniques). Constatons également qu'il y a un petit débat sur la pertinence de réaliser ce type d'étude pour les fours oscillants.

⇒ **Définir le pré-traitement à réaliser.**

Ce point a bénéficié d'un assez large consensus. Toutefois, un expert indique que, dans le cas d'une généralisation du tri amont, les enjeux porteront alors sur le volet économique plutôt que sur la définition du pré-traitement à réaliser. Ce point concernerait plus particulièrement les lits fluidisés.

Au-delà, d'autres pistes ont été évoquées par certains :

- ✓ la limitation et l'amélioration des résidus liquides
- ✓ l'amélioration de la connaissance des effets de résidus gazeux et liquides sur la santé
- ✓ la nécessité de légiférer sur les sous-produits.

5.3. Le cas de la thermolyse / pyrolyse

Pour la thermolyse / pyrolyse, la phase de R&D n'apparaît pas achevée ou, tout au moins, il apparaît nécessaire de faire un point précis sur les expériences en cours. Pour le moment, les informations ne semblent pas avoir diffusées au delà du cercle restreint des partenaires engagés dans ces expériences.

Certains experts sont même plus « durs », et constatent que les échecs passés (en particulier sur le plan de la sécurité) nécessitent de repartir sur de nouvelles bases : « *le secteur est entièrement à revoir en terme de R&D* ». Ce nouveau départ semblerait devoir par ailleurs se faire d'abord sur des DIB spécifiques et maîtrisés.

Ce constat négatif n'est cependant pas partagé par tous. Un expert indique en effet qu'il convient de distinguer les unités de ThS des unités de ThIC & ThIG. Selon lui, les unités industrielles de ThS de Mannesmann sont nombreuses et toujours en fonctionnement.

Quoiqu'il en soit, trois axes de travail ont été identifiés qui relèvent d'un consensus large⁴⁸ :

⇒ **Des optimisations / développements techniques:**

- Améliorer la fiabilité du matériel (four de pyrolyse, matériaux, périphériques)
- Améliorer la combustion et la préparation des produits carbonés. Selon un équipementier, « *le transport et la gestion des gaz de thermolyse posent le problème des dépôts dans les tuyauteries, sur les appareils d'isolement et l'appareil déprimogène* » mais aussi selon un autre expert « *le problème du respect de la protection de la santé* »
- Assurer une bonne gestion des minéraux (quand il y en a)
- Assurer la stabilité des sous-produits dans le temps, en particulier eu égard à la destination des sous-produits. Dans ce sens, un expert souligne que : « *Le coke sec stocké et transporté par voie pneumatique peut poser problème* »

⁴⁸ Même si, comme le précise un expert, il conviendrait de conduire une analyse approfondie par type de procédés (Py, ThS, ThIC,...).



- ⇒ **Des études de caractérisation et de recensement des résidus** (pour prendre en compte en particulier l'hétérogénéité des gisements) : « *Il faut surtout bien définir le post-traitement des résidus solides (carbones, minéraux, polluants) et commencer par leur caractérisation en fonction des conditions de fonctionnement de la pyrolyse.* »
Pour un expert, cet enjeu concerne essentiellement les inertes extraits après purification du coke.
- ⇒ **Une meilleure définition du prétraitement à réaliser** (contrôle, mélange, broyage, séparation granulométrique, flottation, séparation manuelle, ...)

Comme le souligne un expert, il s'agit en fait de mieux cerner aujourd'hui les conditions de mise en œuvre et d'exploitation des procédés qui sont encore mal connus.

5.4. Le cas de la filière Cimenterie

Pour la filière Cimenterie, les pistes de travail sont les suivantes :

- ⇒ **Caractérisation des déchets**⁴⁹ (ce qui entre)
- teneur en métaux lourds : « *ils sont le plus souvent en concentration très importante* »⁵⁰
 - teneur en chlore : « *nécessite le contrôle le plus strict pour le process mais surtout pour les normes de produits finis – il n'y a pas d'incidence sur les émissions* »
 - teneur en soufre. Pour un expert cimentier, la teneur en soufre n'est pas critique et n'a donc pas lieu d'être évoquée comme un enjeu
- ⇒ **Adaptation des sous-produits de pyrolyse/thermolyse au procédé de co-incinération envisagé** : « *essentielle car les cokes de thermolyse peuvent contenir des concentrats de métaux lourds* ». Toutefois, un expert indique que les taux de substitution acceptables sont à définir au cas par cas en fonction de la qualité du combustible et du processus industriel.

D'autres enjeux ont aussi été évoqués mais n'ont pas été confrontés aux avis d'autres experts :

- ✓ La mise en place de filière de prétraitement permettant d'obtenir un « combustible » homogène
- ✓ Identifier les études sur la fiabilité du piégeage des polluants dans la matrice cimentière

⁴⁹ conditionnés par les normes ciment

⁵⁰ Selon un expert, compte tenu du manque de contrôle sur les DIB, ils sont le plus souvent en concentration plus importante que dans beaucoup de DIS



5.5. Le cas des Centrales Thermiques

Pour les centrales thermiques, l'enjeu principal semble résider dans la démonstration de la faisabilité technique et environnementale de l'approche : « *C'est l'ensemble de la chaîne de contrôle et de commande qui doit être adaptée et bien sûr l'aspect neutralisation des fumées.* » Par ailleurs, certains font remarquer que « *les centrales thermiques disposent d'équipements fragiles ne tolérant pas les fumées résultant des combustions de déchets (exemple des surchauffeurs vapeur à haute température >400°C)* »

Dans ce contexte, 3 pistes de travail ont été identifiées :

- ✓ caractériser les déchets qui entrent : quels types de déchet, quels contrôles à la réception ... ;
- ✓ adapter les boucles de régulation aux nouvelles contraintes de temps d'ignition et de combustion différentes du charbon ;
- ✓ étudier les effets de corrosion dus aux DIB sur les équipements existants.

IV. Synthèse sur les enjeux d'étude et de R&D sur les filières thermiques

	Amont / Déchets	Optimiser / Développement	Aval / Résidus
Incinération	<ul style="list-style-type: none">• Mieux définir les pré-traitements à réaliser	<ul style="list-style-type: none">• Optimisation combustion• Blocage du lit et encrassement chaudière des lits fluidisés• Fiabilité des grilles sur fours à grillés	<ul style="list-style-type: none">• Formalisation de diagnostics résidus (notamment lits fluidisés)• Amélioration traitement / valorisation mâchefers
Cimenterie	<ul style="list-style-type: none">• Mieux définir les caractéristiques des déchets et pré-traitements• Adaptation des sous-produits de thermolyse aux procédés de co-incinération		
Thermolyse / Pyrolyse	<ul style="list-style-type: none">• Mieux définir les pré-traitements à réaliser	<ul style="list-style-type: none">• Faire un point précis sur expériences en cours• Améliorer la combustion / préparation des produits carbonés• Améliorer la fiabilité des fours et périphériques	<ul style="list-style-type: none">• Améliorer la stabilité des sous-produits dans le temps• Caractériser / recenser les résidus
Centrale thermique	<ul style="list-style-type: none">• Caractérisation des déchets et procédures de contrôle	<ul style="list-style-type: none">• Adapter les boucles de régulation• Etudier les effets de corrosion dus aux DIB	



VI. LES PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE LA FILIERE THERMIQUE POUR LE TRAITEMENT DES DIB

6.1. Les principales tendances

La filière thermique pourrait être amenée à se développer dans les prochaines années en France d'un facteur 2, principalement au dépend de la mise en décharge (cf partie 3).

Compte tenu du niveau de développement de la thermolyse / pyrolyse, la majorité des experts considèrent que cette croissance profitera d'abord à l'incinération.

Les technologies plus spécifiques aux DIB et plus faciles à exploiter (incinérateur rotatif, lit fluidisé) se développeront au détriment des solutions plus traditionnelles et moins adaptées aux DIB (fours à grille notamment). Plusieurs experts ont indiqué que le lit fluidisé connaîtra la plus forte progression.

Constatons que sur ce dernier point, certains ont émis des réserves :

« ceci suppose une validation et un retour très rapide et positif sur cette technologie »

« le devenir de cette technologie est très lié au statut des poussières (qui pourraient passer en classe 1) »

Au delà, la cimenterie et d'une manière générale « les procédés industriels qui ont besoin d'énergie et de matières premières avec le cracking thermique des déchets en outil de prétraitement » devrait également profiter du développement de la filière thermique en France. Toutefois, un expert indique que cela est vrai si les niveaux d'émission restent raisonnablement accessibles (cf. réglementation).

6.2. Le cas de la thermolyse/pyrolyse

Pour la majorité des experts interrogés, la pyrolyse/thermolyse pourrait se développer à moyen terme sur des niches d'application, où la concurrence avec les technologies classiques est faible.

En particulier un consensus semble se dégager sur :

- ✓ les gisements de DIB spécifiques (à condition que les modes de valorisation plus simples soient saturés précise un expert) :
 - pneus
 - mono flux de plastiques
 - résidus de broyage automobile non affinés
 - refus de centres de tri



- ✓ Les DIB à propriétés particulières :
 - à faible PCI (peu de matière organique et une fraction minérale) ; comme par exemple les boues
 - à fort PCI (>6000 Kcal/kg) et à températures de fusion des inertes inférieures à 900°C (là où l'on commence à rencontrer des problèmes avec l'incinération)
 - sans fluctuations brutales de PCI, de taux de volatils, d'humidité (d'autant plus vrai pour les petites unités décentralisées sans grande inertie thermique) et sans la présence de produits formant des eutectiques
- ✓ Comme pré-traitement des déchets pour leur utilisation en cimenterie ou en centrales thermiques par exemple (thermolyse seule)⁵¹. Plusieurs experts ont cependant indiqué que les problèmes de coût / qualité des cokes par rapport aux déchets à prix négatif n'étaient pas résolus.
- ✓ Pour des installations de petites capacités, que ce soit au niveau des collectivités locales, des industriels ou des groupements d'industriels.

Son développement dans les domaines où elle rentre directement en concurrence avec l'incinération (traitement de mélange et/ou de déchets dont les propriétés sont proches/assimilables des OM, filière mixte DIB/OM) ne se fera qu'au cas par cas et uniquement si elle présente un « plus économique » par rapport aux solutions classiques – ou, comme le fait remarquer un expert, « *dans une commune particulièrement verte* ».

Dans tous les cas, le développement de cette filière technologique en France ne se fera que si les problèmes techniques rencontrés en phase d'exploitation sont résolus. Plus largement, un expert indique que « *la filière se développera si les retours d'expérience industrielle sont positifs (technique, risque, coût, ...) et la caractérisation des déchets est maîtrisée* ».

Les arguments structurels en faveur de la thermolyse (capacité cimenterie insuffisante pour absorber les DIB) sont contrés par plusieurs experts qui indiquent que les capacités installées en Europe sont suffisantes (sur le moyen terme) pour éliminer les DIB (moyennant cependant une préparation adéquate et une compatibilité avec le process).

En revanche, le positionnement de la thermolyse vis à vis de la valorisation matière pourrait constituer un véritable « plus » pour cette technologie (cf. le cas de l'automobile). Rappelons cependant que la réglementation dans ce domaine ne sera applicable qu'à horizon 2015.

Il apparaît enfin que les avantages de la pyrolyse / thermolyse au plan environnemental ne semblent pas constituer aujourd'hui un élément décisif dans l'acte d'achat (les arguments techniques, économiques et réglementaire apparaissant prioritaires). Notons quand même que pour certains experts, la thermolyse bénéficie d'un crédit d'image important auprès de certaines collectivités locales : « *la pyrolyse / thermolyse présente un certain charme en tant qu'outil marketing : c'est tout beau, tout nouveau et enfin, on ne parle plus d'incinération !* »

⁵¹ Constatons cependant qu'au contraire un expert précise que la « thermolyse / pyrolyse à combustion intégrée dispose d'une image de solution économique complète » et se développera plus que les procédés à combustion séparée (« difficulté de commercialisation, image de transfert de pollution »).



6.3. Le cas particulier de la thermolyse non intégrée (ThS)

Comme nous venons de le voir ci-avant, un consensus assez large apparaît en ce qui concerne le développement de la thermolyse comme pré-traitement des déchets en cimenterie et plus largement dans les autres procédés industriels. Certains émettent cependant des réserves, sans pour autant réfuter l'hypothèse du développement de la filière :

« l'absence d'information objective sur les aspects économiques du système constituent encore un frein à la diffusion de cette approche » ;

« l'avenir de la thermolyse en co-incinération pourrait être limité car l'utilisation du coke dépend de sa qualité intrinsèque (fonction du DIB traité) » ;

Au-delà, la problématique de cette filière apparaît être aujourd'hui celle du choix entre l'internalisation ou l'externalisation de l'étape de pyrolyse/thermolyse dans la filière co-incinération, même si comme le constate un expert « il n'y a pas de solutions génériques et l'analyse doit se faire au cas par cas ».

A ce stade aucune des deux voies ne semble emporter la préférence des experts :

Internalisation	Externalisation
<ul style="list-style-type: none">• « problèmes de coûts de transport si externalisation »• « risque de situations monopolistiques des fournisseurs de cokes de pyrolyse dans le cadre d'une externalisation »• « risque d'inflation des prix après fidélisation de la clientèle dans le cas d'une externalisation »	<ul style="list-style-type: none">• « chacun son métier, l'opérateur « préparateur » sera bien souvent le collecteur des déchets et le cimentier restera dans sa spécialité »• « permet de limiter les volumes de déchets transportés : transport uniquement des produits à co-incinérer »• « d'accord, mais les montages contractuels ne seront tenables que s'ils sont basés sur un grand gisement et avec des partenaires solides (Vivendi, Lyonnaise,...) »

6.4. Le cas de la filière mixte DIB/OM

Il n'y a pas de consensus large sur les perspectives d'évolution de cette filière.

Les arguments semblent cependant plutôt aller en faveur d'une diminution / stagnation de la filière DIB/OM à moyen terme en France :

- ✓ volonté des collectivités de se recentrer sur l'incinération des OM, évitant ainsi les risques liés au traitement des DIB. Par ailleurs, blocage de l'opinion publique et difficulté des montages juridiques OM/DIB
- ✓ part limitée de DIB effectivement traitable en filière mixte (en raison de leur « volatilité ») ;
- ✓ surcoût lié à la gestion des DIB en mélange avec les OM (leurs caractéristiques étant spécifiques).
- ✓ capacité d'incinération à la baisse en France : fermeture des vieilles UIOM et quasi impossibilité d'en rouvrir de nouvelles (même si aujourd'hui il y a sur-capacité).
- ✓ Directive Voynet



Plusieurs experts ont indiqué toutefois que le choix se ferait au cas par cas. Ainsi par exemple, les collectivités en sur-capacité pourraient accepter des DIB afin de rentabiliser les investissements consentis : « *Les limites dans les rayons de collecte économiques imposent de mélanger les DIB aux OM pour atteindre la capacité nominale* ». Il y a apparemment consensus sur ce point, même si des experts constatent que ce type d'approche ne connaîtra pas une diffusion large.

D'autres ont indiqué que dans l'hypothèse d'un développement de la filière, celui-ci se ferait d'abord sur des applications spécifiques (avec des centres régionaux de regroupement) et pour les DIB assimilables (emballages, déchets de cantine,...).

Pistes de travail :

⇒ Réalisation d'études techniques / économiques / juridiques afin d'éclairer la décision des collectivités (quel gisement éventuellement à considérer, quelles garanties exiger, quelles modalités contractuelles mettre en œuvre etc...)

6.5. Les enjeux pour la construction d'incinérateurs spécifiques pour les DIB

Quelle que soit l'évolution de la filière mixte DIB/OM, il y a globalement un consensus sur l'enjeu de traiter les DIB spécifiques aux activités industrielles sur des filières spécialisées. Toutefois, le travail n'a pas permis de dégager un consensus entre les experts sur la question des incinérateurs spécifiques.

Dans l'hypothèse d'un marché pour ce type d'équipement, celui-ci concernerait plutôt des applications spécifiques (co-incinération avec DIS sur certaines plate-forme régionale, filière automobile etc...).

Les principaux freins évoqués par les experts au développement de cette filière sont :

- ✓ l'émergence des procédés de thermolyse / pyrolyse ;
- ✓ les blocages socio-économique de type NIMBY (« not in my backyard ») ;
- ✓ l'intégration de certains DIB dans la filière OM ;
- ✓ le développement des voies de prévention.



Annexe



Présentation de la méthode DELPHI

La méthode Delphi⁵² est « l'utilisation systématique d'un jugement intuitif d'un groupe d'experts » - N. Dalkey et O. Helmer (1963). D'après l'un des pères de la méthode, O. Helmer, la technique Delphi aurait été mise au point dès le milieu des années 50 pour les besoins de l'armée américaine⁵³. Elle aurait fait depuis, selon certains auteurs, l'objet de plusieurs milliers d'applications aux Etats-Unis et de plusieurs centaines en Europe. On considèrera ces estimations avec prudence dans la mesure où O. Helmer, lui-même, se refuse à avancer des chiffres.

La méthode Delphi procède par interrogation d'experts à l'aide de questionnaires successifs, afin de mettre en évidence des convergences d'opinions et de dégager d'éventuels consensus.

L'enquête se fait par voie postale et de façon anonyme afin d'éviter les effets de « leaders ». Les questions portent, par exemple, sur les probabilités de réalisation d'hypothèses ou d'événements. La qualité des résultats dépend étroitement du soin avec lequel a été établi le questionnaire et choisis les experts.

Pour être pertinente, la méthode suppose d'une part, que l'on fasse appel à de véritables experts, c'est-à-dire des personnes réellement compétentes pour répondre aux questions posées et d'autre part, que l'avis d'un groupe d'experts est généralement meilleur que celui d'un expert isolé.

La méthode Delphi proprement dite comprend plusieurs étapes successives d'envois de questionnaires, de dépouillement, d'exploitation. Comme le rappelle G. Ducos (1983), on promet à chaque expert « une prime de dédommagement et on lui demande de ne répondre qu'aux questions où il s'estime le plus compétent ou, ce qui est mieux, d'évaluer son propre niveau de compétence vis-à-vis de chaque question ».

L'objectif des questionnaires successifs, comme l'écrivent R. Saint-Paul et P.F. Tenière Buchot (1974) est de « diminuer l'espace interquartile tout en précisant la médiane ».

Source : prospective et planification stratégique – Michel GODET

⁵² Le mot Delphi a été choisi par référence symbolique à la ville de Delphes, célèbre par ses oracles.

⁵³ Propos recueillis en septembre 1984 à Carmel (Californie) où le Dr Helmer a pris sa retraite.