



**Les
cahiers
du**

CLIP

Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement

**Déchets
Énergie
Environnement**

*Etude prospective
du potentiel de déchets mobilisables
à des fins énergétiques
en France à l'horizon 2020*

N° **5** Juillet 1996

CLIP

Club d'Ingénierie
Prospective Energie et
Environnement

1, rue du Cerf - 92195 Meudon

Liste des membres

ADEME : Agence de
l'Environnement et de la Maîtrise de
l'Energie

ARP (Renault)

CEA : Commissariat à l'Energie
Atomique

CIRAD : Centre de Coopération
International en Recherche
Agronomique

CNRS/Programme ECOTECH
(Centre National de la Recherche
Scientifique/ Programme

Interdisciplinaire de Recherche sur
les Technologies pour
l'Environnement et l'Energie),

CSTB : Centre Scientifique et
Technique du Bâtiment

EDF : Electricité de France

GDF : Gaz de France

IFP : Institut Français du Pétrole

INERIS : Institut National de
l'Environnement Industriel et des
Risques

INRETS : Institut National de la
Recherche sur les Transports et leur
Sécurité

PSA : GIE PSA Peugeot Citroën

STEG : Société Tunisienne de
l'Electricité et du Gaz

Des responsables des ministères
chargés de l'Environnement, de
l'Industrie, de la Recherche, de la
Coopération et du Plan font partie du
Comité de Coordination et
d'Orientation Scientifique.

Directeur de publication :

Benjamin DESSUS

Rédaction : Carine BARBIER

Maquette : Ivan Pharabod

Sommaire

Etude prospective du potentiel de déchets mobilisables à des fins énergétiques en France à l'horizon 2020

Editorial	5
Synthèse	7
Introduction	11
Première partie	
Les scénarios de valorisation	13
<i>Scénarios de traitement et de valorisation énergétique des déchets à l'horizon 2020</i>	
Seconde partie	
Analyse économique	51
<i>Analyse technico-économique de la valorisation des déchets</i>	
Troisième partie	
Gaz à effet de serre	73
<i>Conséquences de la valorisation énergétique des déchets sur les émissions de gaz à effet de serre</i>	
Quatrième partie	
Analyse sociologique	85
<i>Analyse sociologique de la valorisation énergétique des déchets</i>	
Conclusion	95
Table des matières	97

Editorial

Le présent numéro des cahiers du CLIP, dans une mise en page renouvelée pour améliorer sa lisibilité, est entièrement consacré au problème des déchets. En effet, avec le soutien financier de l'Ademe et du Ministère de l'Environnement, le Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement a entrepris une étude prospective du potentiel de déchets mobilisables à des fins énergétiques en France à l'horizon 2020.

Cette étude, de plus de 18 mois, a mobilisé plusieurs équipes : le Certop, l'Inestène, Solagro, Ecotech. Les équipes spécialisées de l'Ademe ont apporté également leur concours en mettant à disposition l'ensemble des données dont elles disposent et en apportant avis et propositions tout au long de ce travail. Au cours de l'étude, plusieurs présentations ont été faites au CLIP ; elles ont permis aux membres du CLIP d'apporter leurs commentaires, leurs critiques et leurs suggestions à ce travail.

Les conclusions de ce travail nous semblent arriver à point nommé, au moment où des politiques de gestion et d'élimination se dessinent au niveau national (loi sur l'interdiction de la mise en décharge des déchets non ultimes, politiques de recyclage, plans départementaux etc).

L'étude fait ressortir à la fois l'importance des investissements locaux à consentir dans les années qui viennent, les enjeux énergétiques et environnementaux locaux et globaux associés aux choix de filières de traitement et de valorisation énergétique, les contradictions éventuelles soulevées par les rythmes de pénétration des différentes techniques de recyclage et de modes de traitement des déchets. Elle met aussi en évidence l'enjeu énergétique et environnemental que représente le recueil et la valorisation énergétique du méthane issu des décharges existantes. Nous espérons que ce travail collectif et les recommandations rencontreront un accueil favorable, non seulement auprès des membres de notre Club, mais aussi auprès de tous ceux, pouvoirs publics nationaux et locaux, industriels et associations qui sont aujourd'hui préoccupés de ces questions difficiles.

Benjamin Dessus, Directeur du CLIP

DÉCHETS ÉNERGIE ENVIRONNEMENT

Etude prospective du potentiel de déchets mobilisables à des fins énergétiques en France à l'horizon 2020

Etude réalisée par :

Carine Barbier, Benjamin Dessus, Sylvie Lacassagne (CNRS-Ecotech),
Christian Couturier (Solagro), Sébastien Fenet, Pierre Radanne (Inestene), Philippe Clanet,
Marie-Christine Zelem (Certop-Université de Toulouse Le Mirail)

Synthèse

L'évaluation du potentiel énergétique issu du traitement des déchets a été réalisée à partir de scénarios d'évolution de la production annuelle de déchets, de répartition entre les filières de traitement, et de modes de valorisation énergétique. Les déchets considérés sont les ordures ménagères, les déchets industriels banals, les déchets de l'industrie agro-alimentaire et les boues de stations d'épuration. Est également prise en compte la récupération du biogaz des centres d'enfouissement techniques.

Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

► Environ 1 Mtep est valorisée aujourd'hui par les installations de traitement des déchets. A l'horizon 2020, 4 à 5 Mtep peuvent être produites chaque année en moyenne, selon les scénarios, par le traitement des déchets avec récupération d'énergie et le captage du gaz de décharge.

Ainsi, en plus des 8 TWh produits actuellement par les usines d'incinération, 24 TWh

supplémentaires d'énergie finale seraient produits en 2020. A partir de 2002, environ 11 TWh d'électricité seraient produits par an, dont près de 10 TWh par des usines d'incinération. En 2020, avec des hypothèses assez volontaristes de valorisation sous forme de chaleur, celle-ci constituerait 45% de l'énergie finale produite, l'électricité 45% et le gaz pour un usage industriel direct ou reversé sur les réseaux de gaz naturel 10%.

▀ La mise en application de la réglementation sur l'interdiction de la mise en décharge des déchets non ultimes à partir de 2002 implique de lourds investissements notamment en terme de capacités d'incinération. De 8 millions de tonnes de déchets incinérés en 1990, dont 6 Mt avec récupération d'énergie, les besoins passent à 27 ou 28 Mt à incinérer et 3 Mt à méthaniser en 2002.

▀ Grâce au développement simultané d'une politique de collecte sélective des déchets, les capacités d'incinération nécessaires se stabiliseraient au delà de 2002, pendant que le nombre d'installations de méthanisation ou de compost, et de recyclage, continuerait de croître.

▀ Afin d'éviter des besoins toujours croissants d'usines d'incinération, une politique d'incitation à la limitation de la production des déchets en amont et au développement important de la collecte sélective est nécessaire. Cela pourrait néanmoins entraîner, du fait de la réglementation sur l'interdiction de la mise en décharge, un surdimensionnement des capacités d'incinération au delà de 2002. En effet, la capacité nécessaire en 2002 risque de se trouver trop importante au delà de cette date, compte-tenu de l'évolution du recyclage et du traitement biologique. Il serait alors probablement préférable d'autoriser temporairement la mise en décharge contrôlée

d'une fraction des déchets, le temps que la mise en place de collectes sélectives se généralise.

▀ Actuellement, le coût de l'incinération (hors recettes) oscille entre 450 et 550 francs/tonne de déchets traités. Ce coût pourrait atteindre 800 F par tonne à moyen terme compte-tenu du renforcement des réglementations sur le traitement des fumées et sur le stockage des résidus. L'incinération avec récupération d'énergie est un mode de traitement très capitalistique et peu flexible. Les économies d'échelle sont importantes jusqu'à une capacité de 15 t/h et marginales au delà de cette taille.

▀ Le coût de la méthanisation des fermentescibles en digesteurs est de l'ordre de 300 à 400 F/tonne. Ce coût diminuera probablement compte-tenu de l'évolution des techniques, et grâce à l'expérience acquise à l'étranger. La valorisation énergétique du biogaz issu des digesteurs ou des centres de stockage est économiquement rentable quelle que soit la solution envisagée.

▀ Si on calcule un coût global du traitement des déchets en combinant différents modes de traitement (recyclage, incinération, traitement biologique, stockage), on constate que le traitement spécifique des déchets fermentescibles génère une économie par rapport à une solution *recyclage + incinération*. Cette économie varie de 0 à 40% selon les cas. Cette économie augmente avec le taux de collecte des fermentescibles et avec la taille de la collectivité.

▀ En général, toute solution réduisant la part incinérée est économiquement intéressante. Mieux vaut un incinérateur de faible capacité mais ne brûlant strictement que ce qui ne peut être considéré comme ultime, plutôt qu'une usine de grande taille pour une incinération en vrac.

► La solution la plus économique est le *recyclage + traitement biologique + stockage*, donc sans incinération. Cela suppose que les déchets résiduels après la collecte des recyclables et des fermentescibles soient considérés comme des déchets ultimes, et traités en centre d'enfouissement contrôlé. Cette solution est plutôt adaptée aux zones rurales, où la production de déchets est plus faible. Elle suppose une forte valorisation des fermentescibles et des recyclables, afin de limiter la quantité stockée.

► L'incinération des déchets conduit à un surplus d'émissions de gaz à effet de serre sur la période quels que soient les scénarios. Ce surplus est de l'ordre de 5 à 8 Mt d'équ.CO₂ par an si on prend pour référence les émissions actuelles du parc EDF pour la production d'électricité (à fort contenu en nucléaire). Si la production d'OM est limitée à 390 kg/habitant/an en 2020 et la teneur en plastiques à 14%, on constate un ralentissement des émissions produites au delà de 2002. Dans le cas contraire, les émissions de gaz à effet de serre continuent de progresser d'année en année.

► La récupération du gaz de décharge permet d'éviter de l'ordre de 8 Mt d'équ.CO₂ en 2002, année où la production de méthane est la plus importante compte-tenu de la loi sur la fermeture des décharges. Du fait de la substitution d'énergies fossiles par le biogaz, la méthanisation des déchets fermentescibles contribue également de manière non négligeable à éviter l'émission de gaz à effet de serre. De ce point de vue, la filière méthanisation est supérieure à une filière de production directe de compost.

► Grâce essentiellement à la valorisation du gaz de décharge qui compense les émissions dues à l'incinération, le bilan global des scénarios de traitement des déchets est favorable en terme d'effet de serre en 2002, avec 0,6 à 2,3 Mt d'équ.CO₂ évitées (référence pour la

production d'électricité : parc EDF). Cependant, avec l'arrêt de la mise en décharge, les quantités de méthane émises et valorisées s'amenuisent. Le bilan devient ainsi négatif : en 2020, entre 1,5 et 5,3 Mt d'équ.CO₂ sont émises par l'ensemble des filières de traitement des déchets.

► Les émissions de CO₂ sont essentiellement dues à l'incinération des plastiques. Une analyse de sensibilité montre que le renforcement du recyclage des plastiques de 10% conduit à une baisse de 16% des émissions de CO₂ de la filière incinération avec récupération d'énergie. Si, de plus, on favorise la valorisation de l'énergie en chaleur plutôt qu'en électricité (la part valorisée en chaleur passant de 35% à 57%), les émissions de gaz en effet de serre en 2020 sont réduites environ de moitié par rapport aux scénarios initiaux.

► Si l'on compare ces scénarios à des scénarios avec incinération sans récupération d'énergie et sans développement de la collecte sélective, on constate que le recyclage et la valorisation énergétique permet d'éviter 10 à 12 Mt d'équ.CO₂ en moyenne par an sur la période (réf. parc EDF). Sur les 10 Mt d'équ.CO₂ évitées par an, 45% sont évitées grâce à la récupération du gaz de décharge, 33% grâce à la récupération d'énergie et 22% grâce au recyclage. Le bilan s'améliore encore si on limite la production de déchets à la source, ou si le recyclage des plastiques progresse.

► Une enquête auprès des particuliers et des élus locaux montre que la gestion des déchets est perçue comme quelque chose de complexe. Il apparaît difficile d'obtenir une information complète sur l'ensemble des choix possibles et des problèmes posés. De ce point de vue, les professionnels ne semblent pas jouer leur rôle en matière d'information, ou peuvent être accusés de ne diffuser qu'une information partielle, voire partielle.

La gestion des déchets apparaît pour les élus comme une source de conflits, où compétences et pouvoirs locaux s'entremêlent. La concertation dans le cadre intercommunal est parfois difficile. La volonté d'obtenir un large consensus autour des décisions prises, d'une part, et le poids des industriels du déchet, d'autre part, peuvent conduire les élus à s'en remettre à ces derniers en adoptant un schéma de gestion "clefs en main", avec si possible un financement par tiers-investissement. Le "tout incinération" se trouve ainsi souvent favorisé comme solution de facilité.

▀ La récupération d'énergie à partir du traitement des déchets est mal connue. Elle est perçue comme une question très secondaire, comme la "cerise sur le gâteau". Elle est évoquée dans les plans départementaux parce que la loi l'oblige. Le seul mode connu est la production d'énergie à partir de l'incinération. La concurrence et les conditions faites par les principaux producteurs d'énergie ont leur importance sur les choix de valorisation énergétique. Si la collecte sélective est associée à la préservation de l'environnement, il ne semble pas que la valorisation énergétique, ce qu'elle implique dans les choix de traitement et les conséquences sur l'environnement, soient perçus de la même manière et constituent un argument auprès des populations.

En conclusion de cette étude, la principale difficulté qui apparaît dans le traitement des déchets tient dans la gestion des flux à moyen et long terme, compte-tenu du temps de mise en place des différents modes de traitement, et notamment des filières de collecte sélective dont l'efficacité dépend fortement de la sensibilisation et des pratiques des populations. C'est ainsi que la loi sur l'interdiction de la mise en décharge des déchets non ultimes en 2002 comporte des aspects contradictoires avec une politique de développement du recyclage et de traitement biologique des fermentescibles ou encore de limitation de la

production de déchets à la source. Pour respecter la loi sur l'interdiction de la mise en décharge, les collectivités locales sont contraintes de s'engager dès aujourd'hui sur des capacités d'incinération sans être certaines que celles-ci seront nécessaires à plus long terme. Ceci pourrait conduire à freiner les politiques de tri et le développement des modes de traitement alternatifs à l'incinération, pour simplement maintenir une certaine rentabilité des installations existantes. Or, les conséquences en terme d'émissions de gaz à effet de serre dues à l'incinération sont non négligeables et vont de fait à l'encontre des engagements pris par la France à ce sujet.

De manière générale, si les élus locaux semblent très sensibilisés à l'importance de la collecte sélective en vue du recyclage ou du traitement biologique des déchets, il en est autrement sur les enjeux des modes de valorisation énergétique et des conséquences environnementales, en particulier sur les émissions de gaz à effet de serre.

La récupération d'énergie devient maintenant systématique dans les nouvelles installations d'incinération. Par contre, il semble qu'au moins 4 projets sur 5 prévoient une valorisation en électricité seule, ce qui du point de vue à la fois du rendement énergétique et des émissions de gaz à effet de serre n'est pas optimal. Pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, une politique favorisant la valorisation de l'énergie sous forme de chaleur serait nécessaire afin d'inverser la tendance actuelle.

L'étude réalisée fait ressortir que les choix en matière de valorisation énergétique quels qu'ils soient, devraient non pas intervenir en fin de parcours comme une question annexe, mais être pris en compte à part entière dès la genèse des choix de traitement des déchets.



Introduction

Dans le cadre des politiques de développement des énergies renouvelables, de protection de l'environnement, et d'élimination des déchets, nous avons souhaité analyser dans cette étude les enjeux de la valorisation énergétique des déchets, à moyen et long terme.

Si l'on écarte la valorisation énergétique de déchets industriels par les industries elles-mêmes, qui ne concernent pas directement les collectivités locales, tels que les déchets de bois notamment, environ 1 Mtep est valorisée chaque année à partir quasi-uniquement d'usines d'incinération.

Compte-tenu des choix faits par la France au travers des différentes lois concernant les déchets et de la progression de leur production annuelle, nous avons cherché à évaluer le potentiel énergétique supplémentaire mobilisable à l'horizon 2020 et les conséquences en terme d'effet de serre.

Les types de déchets pris en compte dans l'étude sont principalement ceux que les collectivités locales ont à gérer, soit directement, soit parce que ces déchets seront traités en grande partie par les mêmes installations. Il s'agit des ordures ménagères, des déchets industriels banals, des déchets de l'industrie agro-alimentaire et des boues de stations d'épuration. A cela s'ajoute la récupération d'énergie des centres d'enfouissement techniques. Les déchets de l'agriculture dont les quantités sont très importantes, mais qui relèvent d'une problématique particulière et qui auraient nécessité un travail plus lourd, n'ont pu être traités dans le cadre de cette étude.

L'évaluation du potentiel énergétique a été réalisée à partir de scénarios d'évolution de la production annuelle des déchets considérés, de répartition entre les filières de traitement, et de modes de valorisation énergétique.

La logique globale qui a présidé à l'élaboration de ces scénarios ne repose en aucun cas sur une maximisation du potentiel énergétique mobilisable, mais sur des choix respectueux de l'environnement.

ronnement et de la préservation des ressources naturelles en favorisant par exemple le recyclage ou encore la méthanisation des fermentescibles, ces choix tenant compte par ailleurs du cadre législatif actuel. Ainsi, on peut considérer que les résultats obtenus quant au potentiel énergétique sont plutôt un minimum. Il faut ajouter que l'évaluation du potentiel énergétique ne prend pas en compte le bilan énergétique du recyclage (solde entre l'énergie consommée pour le recyclage et l'énergie qui aurait été consommée pour une production classique des matériaux ayant le même usage), bilan qui, d'après les évaluations existantes, serait généralement positif, c'est-à-dire économe en énergie.

La loi du 13 juillet 1992 concernant l'élimination des déchets, a renforcé sensiblement le dispositif mis en place dans le passé. Elle favorise notamment la valorisation des déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie. Cette loi impose également la suppression des décharges traditionnelles. A compter du 1er juillet 2002, les installations d'élimination des déchets par stockage ne seront autorisées à accueillir que des déchets ultimes. Sachant que ces installations accueillent aujourd'hui environ la moitié des 24 millions de tonnes d'ordures ménagères, les besoins en investissements dans d'autres filières de traitement sont considérables.

Si chacun s'accorde à dire que la définition du "déchet ultime"¹ est relativement floue, nous avons fait le choix de ne pas préjuger de l'interprétation qui en sera faite et de considérer que la totalité des déchets passera par une filière de valorisation matière ou énergétique à l'horizon 2002.

A la suite de la première partie de l'étude présentant les scénarios de traitement et de valorisation énergétique des déchets, une analyse économique des coûts de traitement et de valorisation énergétique des filières incinération, méthanisation et récupération du gaz de décharge permet de donner quelques éléments de comparaison entre les filières et les combinaisons possibles de modes de traitement. La troisième partie traite de l'impact de ces scénarios en terme de gaz à effet de serre.

La quatrième et dernière partie est consacrée à une étude sociologique sur la perception de la problématique des déchets et en particulier de la valorisation énergétique par les différents acteurs. Elle vise à identifier les obstacles existants ou potentiels à une gestion cohérente de déchets et respectueuse de l'environnement.



Note

¹ Est ultime au sens de la loi "un déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux."

Les scénarios de valorisation

Scénarios de traitement et de valorisation énergétique des déchets à l'horizon 2020

L'analyse du potentiel énergétique issu du traitement des ordures ménagères, des déchets industriels banals et des déchets d'IAA nous a conduit à exprimer les résultats en terme de "quantités à traiter", "contenu énergétique", "énergie primaire" et "énergie finale". Il est nécessaire de préciser la définition de ces termes en préambule.

Le contenu énergétique des déchets est le produit des quantités (exprimées généralement en millions de tonnes) par leur pouvoir calorifique. Dans le cas de l'incinération, le tonnage à traiter et le contenu énergétique

permettent notamment d'évaluer les capacités d'installations nécessaires.

L'énergie primaire ne concerne que l'énergie valorisée. Par exemple, la chaleur non valorisée en été n'est pas prise en compte comme énergie primaire. Seul le rendement des installations (four + chaudière et éventuellement turbine pour la production d'électricité) intervient entre l'énergie primaire et l'énergie finale. L'énergie finale est définie comme l'énergie distribuée à la sortie des installations, qu'il s'agisse de chaleur, d'électricité ou de gaz.

Le traitement des ordures ménagères

Les déchets municipaux comprennent les déchets ménagers (ou ordures ménagères, c'est à dire les déchets ramassés par les circuits de collecte organisés sous la responsabilité des municipalités), auxquels s'ajoutent les déchets d'espaces verts, les encombrants et déchets d'automobiles des ménages, et les déchets de l'assainissement.

Seules sont prises en compte les ordures ménagères (OM) proprement dites dans les calculs suivants, celles-ci incluant une frac-

tion des déchets industriels banals (DIB) collectés simultanément. L'Ademe estime à 6 Mt la production annuelle de DIB des entreprises de 1 à 9 salariés. Afin d'éviter un double compte dans cette étude entre l'analyse des OM et celle des DIB, nous avons considéré que 4 Mt de DIB étaient comprises dans l'évaluation de la production annuelle d'OM, et 2 Mt sont ajoutées à l'évaluation de la production de DIB des entreprises de 10 salariés et plus.

En 30 ans, la situation a fortement évolué : augmentation du tonnage de 63 % (soit 1,6 % par an), la part du plastique est multipliée par 10 et celles des emballages par 2. Ces évolutions sont liées à l'arrivée des matériaux de synthèse nouveaux et à des changements des modes de consommation (croissance des achats de produits alimentaires conditionnés au détriment des produits frais, diversification de la consommation, etc.).

L'évaluation des quantités d'ordures ménagères à traiter prend en compte deux périodes :

- 1995-2002 : période durant laquelle une part des ordures ménagères continuera à être mise en décharge. Cette part est considérée comme linéairement décroissante jusqu'à l'année 2002, à partir de laquelle ne seront autorisés à être mis en décharge que les déchets ultimes.
- 2002-2020 : la totalité des ordures ménagères est traitée.

Population et type d'habitat

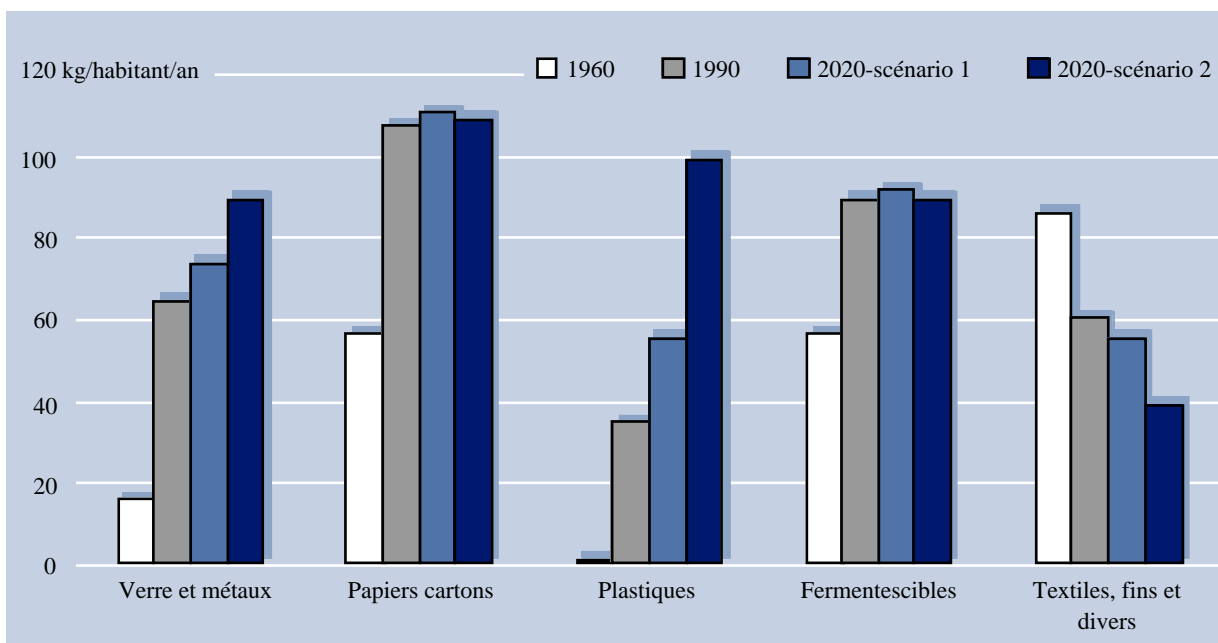
Les ordures ménagères sont comptabilisées selon un ratio en kg/habitant/an. Nous avons retenu les scénarios d'évolution de la population par région établis par l'INSEE, soit 61 millions d'habitants en 2020.

Les 22 régions administratives sont classées en trois zones. Chaque zone est caractérisée par la répartition approximative de la population entre zone urbaine-habitat vertical, zone urbaine-pavillonnaire/zone rurale concentrée, zone rurale dispersée. Cette répartition permet de faire des choix entre les filières de traitement de déchets.

Compte-tenu des techniques actuelles de tri mécanique, il est préférable pour avoir un compost de qualité d'envisager un tri à la source des déchets. Pour des raisons d'espace, de coût, et semble-t-il d'acceptation de la population, la collecte sélective d'ordures ménagères se met en place plus facilement dans les zones pavillonnaires, et plus généra-

Evolution de la production par catégorie de déchets

Source pour 1960 et 1990 : Ademe



lement dans des zones d'habitat horizontal en écartant les zones de très faible densité. Ainsi les filières de traitement des déchets par méthanisation ou compostage peuvent être envisagées plus facilement.

Nous avons cherché à évaluer si la répartition de la population entre ces types d'habitat (zone urbaine-habitat vertical, zone urbaine-pavillonnaire ou zone rurale concentrée, zone rurale dispersée) variait sensiblement d'une région à l'autre.

Le *Recensement général de la population en 1990* de l'INSEE donne le nombre de logements par régions en immeuble collectif ou maison individuelle.

Afin d'évaluer la part de la population en zone rurale dispersée, nous avons retenu le nombre d'habitants vivant dans des communes de moins de 1000 habitants. Nous avons considéré que la totalité de ces habitants vivait en maison individuelle.

Un second indicateur, inverse du précédent, est donné par la population vivant en zone de peuplement industriel et urbain (ZPIU).

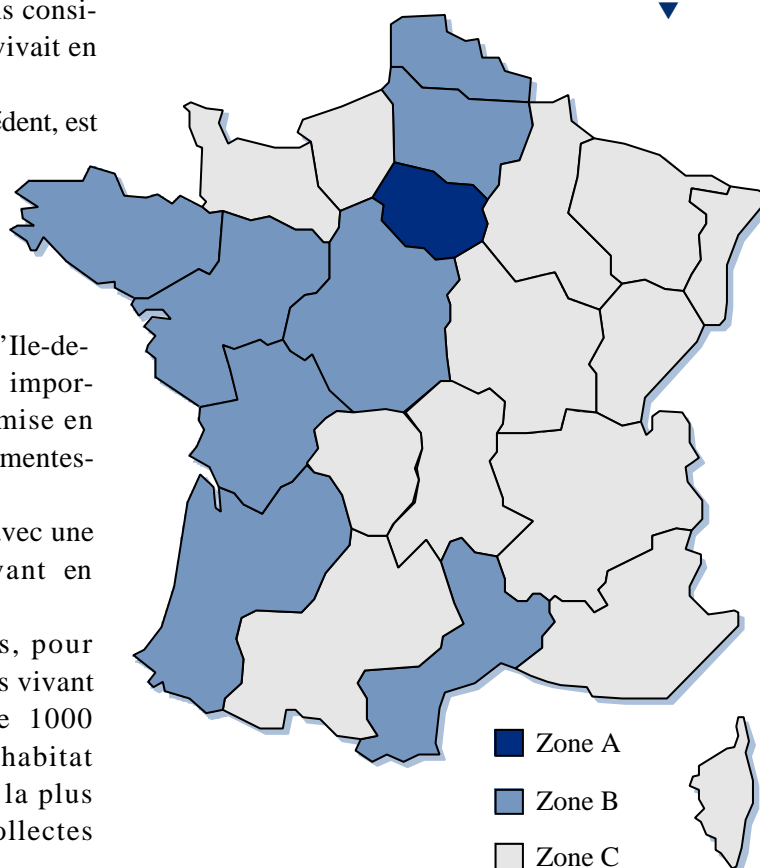
A partir de ces données, trois groupes de régions ont été déterminés :

- zone A : comprenant uniquement l'Ile-de-France, avec un habitat vertical très important, donc plutôt défavorable à la mise en place d'une collecte sélective des fermentescibles ;
- zone B : comprenant 13 régions, avec une part plus faible d'habitants vivant en immeuble collectif.
- zone C : comprenant 8 régions, pour lesquelles le pourcentage d'habitants vivant dans des communes de plus de 1000 habitants, ou en ZPIU, et en habitat horizontal est le plus élevé, zone la plus favorable à la mise en place de collectes sélectives.

Production et composition des ordures ménagères

L'analyse de la ressource donne une quantité d'ordures ménagères à traiter par région et par an. Nous cherchons à évaluer le potentiel énergétique supplémentaire issu du traitement des déchets. La part déjà traitée actuellement par des incinérateurs avec récupération d'énergie n'est donc pas prise en compte sur la période 1995-2020, considérant que ces installations vont perdurer ou seront renouvelées à l'identique. N'est pas non plus prise en compte la part des OM mise en décharge jusqu'en 2002.

Définition des zones géographiques pour la collecte sélective des déchets

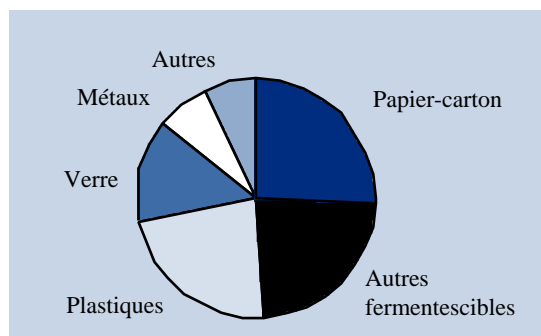
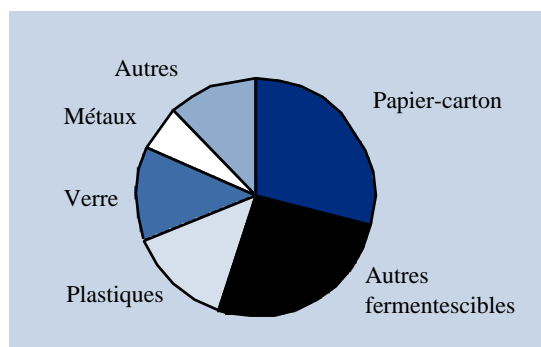
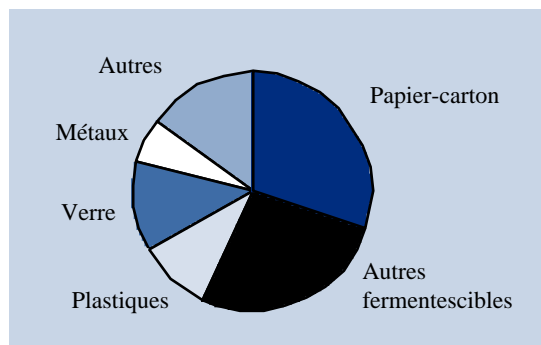


La seule source dont nous disposions permettant d'avoir une décomposition régionale des quantités incinérées avec récupération d'énergie, est l' *Enquête CNCU sur les consommations d'énergie des réseaux de chaleur en France (1995)*. Il s'agit donc des OM incinérées dans des installations alimentant des réseaux de chaleur, soit environ 5 Mt sur les 6 Mt incinérés avec récupération d'énergie en 1990⁽¹⁾. Près de 0,7 Mtep issue des UIOM est actuellement consommée par les réseaux de chaleur, sur environ 1 Mtep d'énergie produit au total par les usines d'incinération avec récupération d'énergie. Le potentiel que nous cherchons à évaluer, et qui sera représenté dans l'ensemble des graphiques de l'étude, est donc le potentiel énergétique supplémentaire par rapport au 0,7 Mtep consommée actuellement par les réseaux de chaleur.

Nous faisons l'hypothèse que la composition des ordures ménagères est identique partout en France. Cette composition est déterminée pour les années 2002 et 2020 avec un accroissement linéaire de 1995 à 2002 et de 2002 à 2020, en tenant compte d'une croissance du tonnage par habitant et de la part des plastiques.

La production d'ordures ménagères (hors encombrants et déchets de jardin) est évaluée à 385 kg/hab en 1995. Dans un premier temps, deux scénarios d'évolution de la quantité et de la composition des ordures ménagères ont été réalisés, le scénario 1 étant basé sur un ralentissement de la croissance de la production d'OM par habitant et par an (390 kg/hab/an en 2020), le scénario 2 sur une croissance plus forte de la production d'OM (430 kg/hab/an en 2020) avec une augmentation sensible de la part des plastiques.

Afin d'analyser la sensibilité des scénarios en fonction du tonnage d'ordures ménagères par



▲▲▲
Composition des OM
en 1995 (385 kg/hab/an)

▲▲
Composition des OM en 2020
dans le scénario 1 (390 kg/hab/an)

▲
Composition des OM en 2020
dans le scénario 2 (430 kg/hab/an)
ou dans le scénario 3 (500 kg/hab/an)

habitant, un troisième scénario est présenté dans ce paragraphe, basé sur un rythme de croissance de la production d'ordures ménagères similaire aux trente dernières années. La production d'OM par habitant serait alors de 500 kg en 2020, la composition est identique à celle du scénario 2.

Contenu énergétique des ordures ménagères



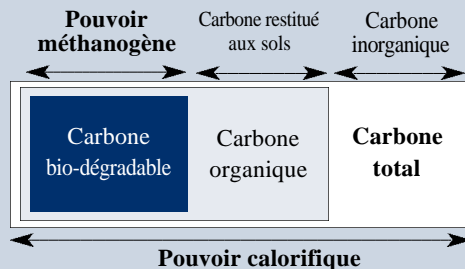
Nous avons fait les hypothèses suivantes concernant le *pouvoir calorifique* et le *pouvoir méthanogène* (PCH4) des divers composants des ordures ménagères :

en kWh/tonne	PCI ⁽¹⁾	PCH4 ⁽²⁾
Papier-carton	2811	1744
Autres fermentescibles	906	1047
Plastiques	7806	0
Verre	0	0
Métaux	0	0
Autres	1628	628

(1) Amorce, (2) Solagro

Le pouvoir méthanogène représente la quantité de méthane récupérable (exprimée en énergie) par fermentation des déchets. Pour une tonne brute d'OM, le pouvoir calorifique est le triple du pouvoir méthanogène pour deux raisons principales :

- une part du carbone n'est pas biodégradable (plastiques, soit la moitié du pouvoir calorifique),
- une part du carbone organique n'est pas dégradée par méthanisation, mais constitue la fraction restituable aux sols (amendement organique). Cette fraction représente la moitié du carbone organique.



Filières de traitement des ordures ménagères

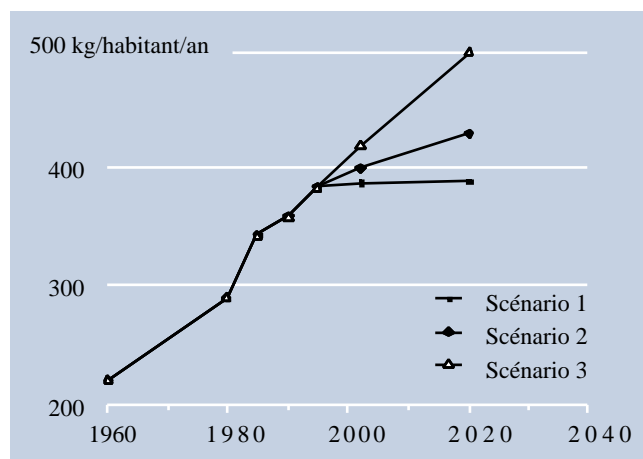
Il s'agit de déterminer au niveau régional la part des déchets incinérée, méthanisée, recyclée ou compostée. Ces modes de traitement sont soit complémentaires, soit en concurrence, selon les différents composants des ordures ménagères.

Hypothèses quant à la combinaison des modes de traitement

Nous envisageons trois filières intégrant une complémentarité entre les modes de traitement :

- 1 Recyclage d'une partie du papier-carton, du verre, des métaux et des plastiques, compost d'une partie du papier-carton et autres fermentescibles, incinération des déchets restants.
- 2 Recyclage d'une partie du papier-carton, du verre, des métaux et des plastiques, méthanisation d'une partie du papier-carton

Production d'ordures ménagères à l'horizon 2020



et autres fermentescibles, incinération des déchets restants.

3 Recyclage d'une partie du papier-carton, du verre, des métaux et des plastiques, incinération des déchets restants.

Chaque commune ou syndicat intercommunal adopte une des trois filières pour le traitement des OM. Une combinaison des trois filières apparaît au niveau de la région.

La combinaison des trois filières est identique pour les régions regroupées dans une même

zone. Les hypothèses apparaissent dans le tableau ci-dessous.

On considère qu'en 2020, le recyclage est généralisé et atteint donc le maximum des possibilités. Une hypothèse identique est faite sur le tri des fermentescibles. Les taux choisis ont été déterminés à dire d'experts. La multiplicité des facteurs concourant aux possibilités de recyclage ou tri des fermentescibles introduit une incertitude incontestable. Néanmoins, retenir des taux assez volontaristes implique que le potentiel énergétique

Répartition des filières de traitement des déchets par zone

Filières	Zone A	Zone B	Zone C
1. Incinération, recyclage, compost	20%	30%	40%
2. Incinération, recyclage, méthanisation	20%	30%	40%
3. Incinération, recyclage	60%	40%	20%

**Hypothèses
de taux de recyclage
et de tri
des fermentescibles**

%	Taux en 2002		Taux en 2020	
	Recyclage	Tri des fermentescibles	Recyclage	Tri des fermentescibles
Papier-carton	14	10	35	25 (1)
Autres fermentescibles	-	28	-	70
Plastiques	8	-	20 (2)	-
Verre	44 (3)	-	80	-
Métaux	24	-	60	-
Autres	-	12	-	30 (4)

(1) Taux pour les filières 1 et 2. Pour la filière 3 (incinération et recyclage), on considère que les papiers-cartons triés vont en totalité au recyclage, le taux de recyclage est donc de 24% en 2002 et 60% en 2020.

(2) 75% des flacons pourraient être recyclés, les flacons représentant 20% des OM. Nous faisons par ailleurs l'hypothèse que 5% supplémentaires pourraient être recyclés d'ici 2020 du fait de l'aboutissement des recherches actuellement menées.

(3) Le taux de recyclage est de l'ordre de 20% aujourd'hui.

(4) Cette catégorie est essentiellement constituée de fines biodégradables à 70%.

%	Zone A		Zone B		Zone C	
	2002	2020	2002	2020	2002	2020
Incinération	81	57	80	53	78	50
Méthanisation	2	5	3	7	5	10
Recyclage	14	33	13	32	13	30
Compost	2	5	3	7	5	10

Part des OM mobilisables selon les zones

PCI moyen des OM incinérées

En kWh/tonne	2002	2020
Scénario 1	2330	2880
Scénarios 2 et 3	2590	3680

obtenu peut être considéré à l'inverse comme un minimum.

En 2002, 40% de l'objectif de tri de 2020 est atteint : la première partie des OM à recycler est assez facile à récupérer ; ceci implique néanmoins une mise en place de filières de collectes sélectives assez rapide.

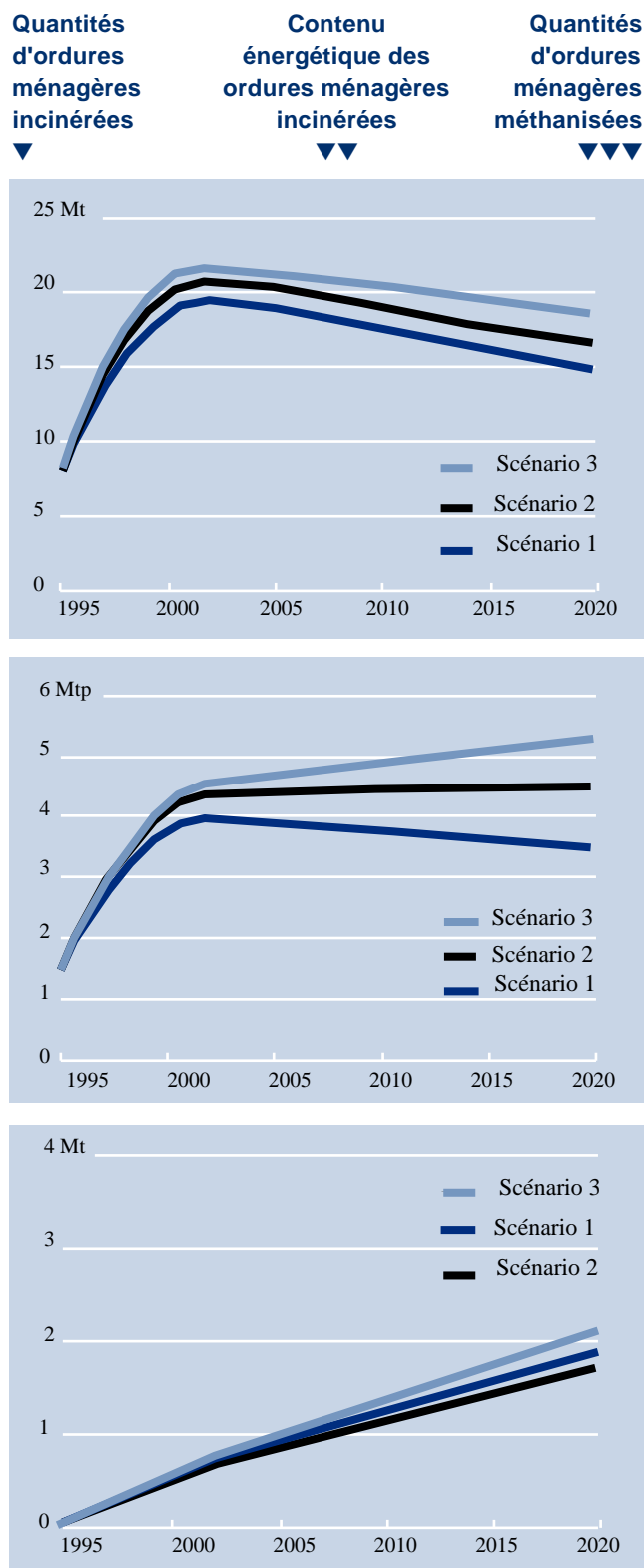
Selon la zone et donc la combinaison des filières de traitement des déchets, nous obtenons la répartition entre les modes de traitement présentée dans le tableau page précédente.

Quantités et contenu énergétique des OM à traiter

Bien que nous ayons fait l'hypothèse d'un développement rapide des filières de collecte sélective des déchets (40% de l'objectif de 2020 réalisé les sept premières années), nous pouvons constater qu'en 2002, entre 78 et 81% des OM non mises en décharge doivent être incinérées. En 2020, la part à incinérer ne représente plus que 50 à 57% des OM.

Les quantités et le contenu énergétique des ordures ménagères à traiter durant la période sont représentés par les courbes en page suivante.

Du fait de l'interdiction de mise en décharge directe en 2002 (alors qu'à l'heure actuelle 51% des OM sont mises en décharge), l'accroissement des quantités à traiter est plus rapide que la mise en place de tri sélectif. Ainsi, dans les trois scénarios, le tonnage d'ordures ménagères à incinérer atteint un sommet en 2002, puis décroît ensuite avec le renforcement de la collecte sélective des déchets et donc du recyclage et de la méthanisation ou du compost des fermentescibles. Le second graphique représente le contenu énergétique des OM à incinérer. Il s'agit du



produit des quantités par le PCI moyen des OM².

Le PCI des OM augmente fortement, notamment dans les scénarios 2 et 3, du fait de la forte part de plastiques (le taux de recyclage des plastiques envisagé n'atteint que 20% en 2020).

Ainsi dans les scénarios 2 et 3, bien que les quantités incinérées diminuent entre 2002 et 2020, le contenu énergétique reste stable, voire augmente.

Dans le cas du scénario 1, la part des plastiques étant plus faible dans la composition des OM, le contenu énergétique diminue entre 2002 et 2020. Il y a alors un risque que les importantes capacités d'incinération mises en place d'ici 2002 pour répondre à la réglementation sur l'interdiction de mise en décharge, soient surdimensionnées en 2020. Nous reviendrons sur ce sujet avec la prise en compte notamment des déchets industriels banals.

Près de deux millions de tonnes d'ordures ménagères pourraient être méthanisées en 2020, soit environ 12%. Ceci montre que le traitement des OM par méthanisation reste assez marginal pour ce qui concerne les ordures ménagères seules.

Sensibilité du contenu énergétique des OM par rapport aux emballages

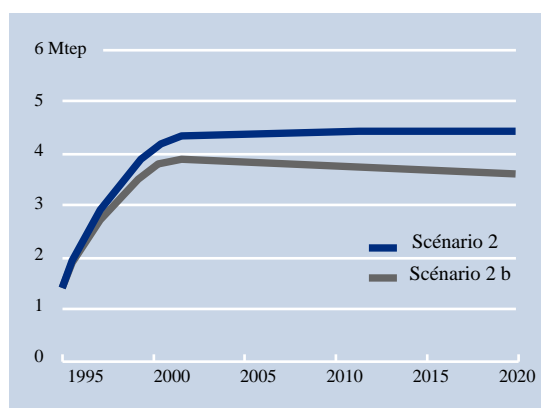
Deux variantes du scénario 2 ont été faites. Dans le scénario 2 b, la composition des OM du scénario 1 a été appliqué au scénario 2 (part des plastiques de 14% au lieu de 23% en 2020). L'évolution du contenu énergétique s'inverse à partir de 2002 et décroît lentement.

Dans le scénario 2 c, nous avons fait l'hypothèse d'un renforcement du tri des emballages

ayant pour conséquence :

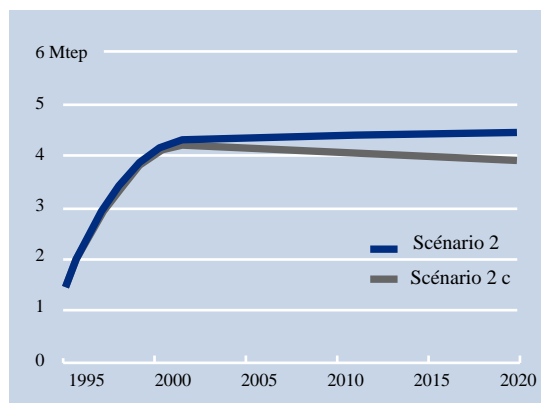
- une augmentation de 10% du taux de recyclage des plastiques par rapport au taux antérieur (soit 30% en 2020),
- une augmentation de 5% du taux de recyclage et du taux de tri pour le traitement biologique du papier-carton (soit respectivement 40% et 30% en 2020).

On constate également une légère décroissance du contenu énergétique après 2002.



Contenu énergétique des ordures ménagères incinérées, avec faible évolution de la part des plastiques dans la composition des OM

Contenu énergétique des ordures ménagères incinérées, avec renforcement du recyclage des plastiques et du papier-carton



Valorisation énergétique

Energie issue de l'incinération

L'énergie produite en UIOM peut être valorisée de trois façons : chaleur seule, électricité seule ou cogénération. Les critères de choix principaux sont les coûts d'investissement de l'installation et de la distribution, les prix de vente de la chaleur et de l'électricité, la taille de l'UIOM, la possibilité de vendre de la chaleur.

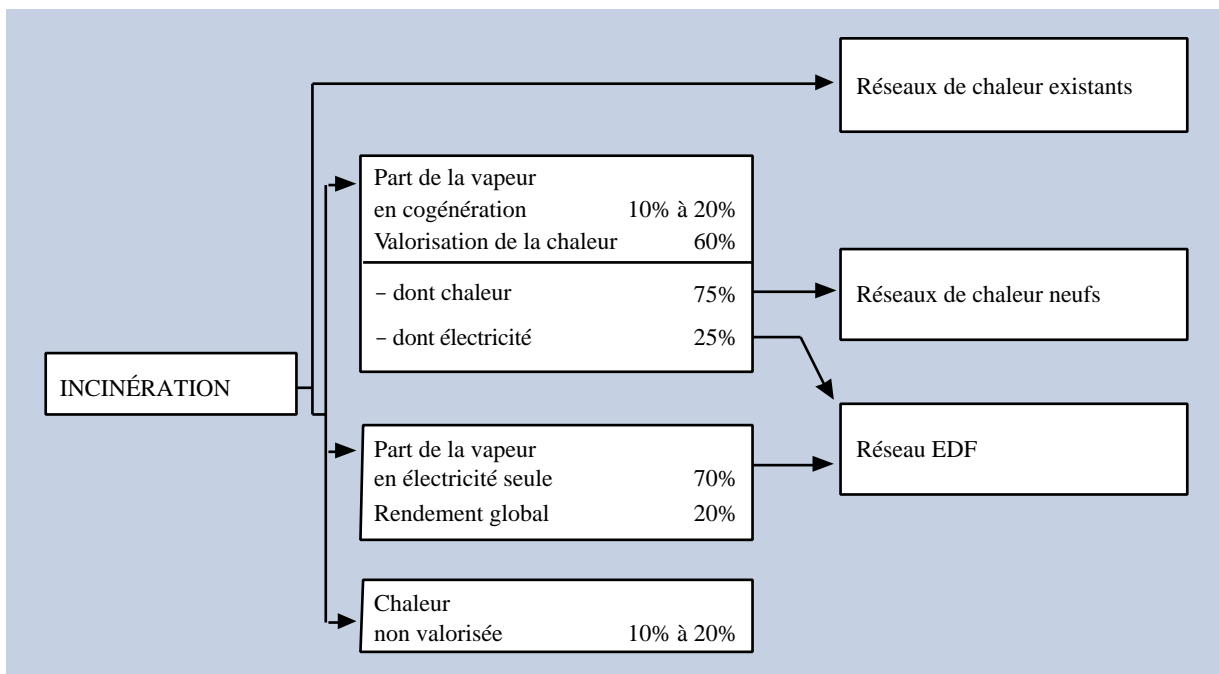
Il est, tout d'abord, possible de substituer de l'énergie issue des déchets aux énergies fossiles consommées pour l'alimentation des réseaux de chaleur existants. Le reste de l'énergie produite par les UIOM sera en partie valorisée, soit par des systèmes en cogénération alimentant de nouveaux réseaux de chaleur et connectés au réseau EDF, soit par la production d'électricité seule.

Les réseaux de chaleur existants

La France comptait 373 réseaux de chaleur en 1993. Ce chiffre est à peu près stable depuis plusieurs années. Sur une consommation totale de plus de 3 Mtep par an toutes sources d'énergie confondues, la part de l'énergie issue des UIOM progresse : elle est passée de 16% en 1986 à 22% en 1993, soit près de 1% par an.

Nous faisons l'hypothèse que la tendance actuelle de substitution d'énergies au profit des résidus urbains va se poursuivre et que la part des énergies consommées en 2020 par les réseaux de chaleur sera donc doublée. Nous considérons que cette substitution va se faire aux dépens du charbon et du fioul lourd. Ainsi en 2020, 40% de la consommation actuelle de charbon et de fioul lourd par région sera substituée³. En 2002, le taux de substitution est de 15% (le rythme de substitution est

Usages de l'énergie issue des incinérateurs



donc plus fort les sept premières années). Pour des raisons de simplification, nous considérons que l'alimentation de réseaux de chaleur existants est assurée par des installations produisant uniquement de la chaleur.

Les réseaux de chaleur neufs

En 1993, les ventes de chaleur se sont élevées à 4,8 TWh. La répartition actuelle de ces ventes par secteur utilisateur est la suivante : 62% dans l'habitat, 30% dans le tertiaire, 7% dans l'industrie, 1% dans l'agriculture.

La construction de réseaux de chaleur est très coûteuse, notamment en zone déjà urbanisée. Cependant la chaleur issue d'installations en cogénération reliées à des UIOM présente un bilan énergétique et environnemental parmi les plus intéressants. En conséquence, nous faisons l'hypothèse qu'un effort est fait par les collectivités locales pour construire des réseaux de chaleur supplémentaires, alimentant essentiellement des industries fortes consommatrices d'énergie et des ensembles du tertiaire. La chaleur produite par les installations en cogénération des UIOM se répartit alors de la manière suivante : industrie 40%, tertiaire 30%, habitat 22%, pertes en réseau 8%.

L'arrêt de la mise en décharge directe en 2002 combiné à la progression du recyclage entraîne des besoins d'incinération plus

importants en 2002 qu'en 2020, donc une production d'énergie plus importante en 2002. Afin de ne pas construire des réseaux de chaleur d'ici 2002 qu'il ne sera plus possible d'alimenter en seconde période, nous considérons que 10% de l'énergie produite par les UIOM (hors réseaux de chaleur existants) seront valorisés dans les réseaux de chaleur neufs d'ici 2002. Cette part atteindra 20% en 2020.

Nous faisons l'hypothèse, afin de valoriser au mieux l'énergie, que les installations en cogénération (dont le rendement est meilleur) sont préférées aux installations pour la production de chaleur seule. Afin de tenir compte du rendement de ces installations et de la chaleur non valorisée en été, nous considérons que le rendement global annuel est de 60%.

Les proportions d'électricité et de chaleur dans les installations en cogénération sont fixées respectivement à 25% et 75%⁴.

L'électricité produite, hors auto-consommation, est revendue à EDF.

Energies consommées par les réseaux de chaleur

Source : Enquête statistique du CNCU, 1995

	1993			2020
	Nombre de réseaux*	en ktep	en %	Hypothèses en %
Charbon	82	735	24	14
Fioul lourd	216	729	24	14
Résidus urbains	68	663	22	42
Gaz de réseau	210	550	18	18
Electricité annexe	373	121	4	4
Géothermie	45	116	4	4
Achat de chaleur	16	83	3	3
Electricité chauffage	33	21	0,6	0,6
Fioul domestique	156	12	0,3	0,3
Bois	5	8	0,2	0,2

* 66% des réseaux utilisent plusieurs énergies

Production d'électricité seule

La production de chaleur a deux limites principales : le coût important de la construction de réseaux de chaleur et la nécessité de disposer d'utilisateurs à proximité. Afin de limiter la construction de réseaux de chaleur, nous considérons donc qu'une part très importante (70%) des installations produiront de l'électricité seule.

La valeur du rendement global (four+chaudière+turbine à vapeur) adoptée pour les installations de production d'électricité est de 20%⁵.

Energie non valorisée

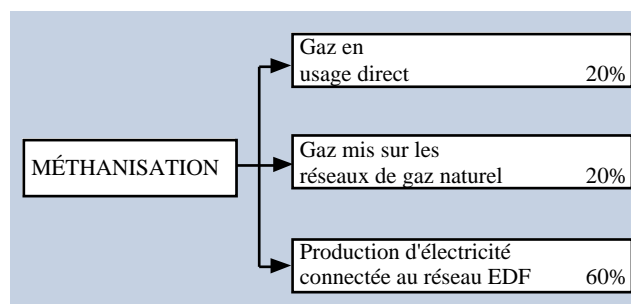
Enfin, il est probable qu'il ne sera pas possible de valoriser la totalité de l'énergie produite en UIOM du fait d'installations de relativement petite taille, ou d'autres contraintes. Nous considérons donc que 10 à 20% de la chaleur n'est pas valorisée, selon la période.

Energie issue de la méthanisation

Nous avons choisi, après une consultation à dire d'expert, la répartition des usages du méthane présentée dans le schéma ci-contre. Les pertes à la sortie du digesteur, avant transformation, sont évaluées à 5%. Les pertes à l'épuration du gaz afin de le mettre aux normes du réseau GDF sont de 1%. Le rendement du moteur pour la production d'électricité est de 33%.

Le rendement des chaudières pour usage direct du gaz est de 85%. Le rendement global pour la production d'électricité est de 29%⁶.

La production de compost à partir des effluents de la méthanisation est évaluée à



▲ Usage du biogaz issu des digesteurs

40% de la masse entrante de déchets fermentescibles (humidité à 40%).

Résultats

Les graphiques présentés en pages suivantes illustrent les principaux résultats.

► En énergie primaire, ce sont 1,3 Mtep supplémentaires qui peuvent être produits par l'incinération des ordures ménagères en 2020 dans le scénario 1 et 1,8 Mtep dans le scénario 2, l'énergie valorisée actuellement par les usines d'incinération étant de 1 Mtep. L'énergie finale supplémentaire produite est de 8,3 à 9,3 TWh, en 2002, selon les scénarios et de 10,9 à 14,2 TWh en 2020.

► On constate dans le scénario 1 que, bien que le contenu énergétique global des OM en 2020 soit en diminution par rapport à 2002, la production d'énergie finale continue de croître. Cela s'explique par le fait que la part de la production de chaleur augmente fortement entre 2002 et 2020, puisque 20% de l'énergie produite, hors alimentation des réseaux de chaleur existants, alimente de nouveaux réseaux de chaleur. Ainsi en 2020, la produc-

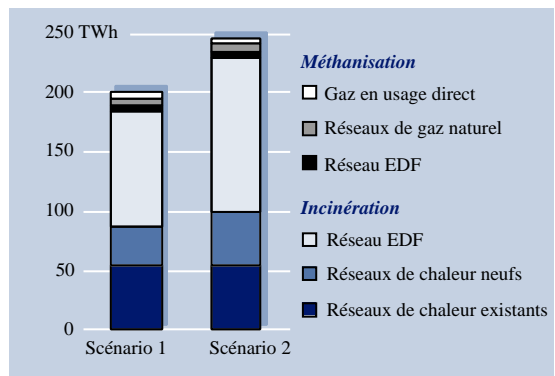
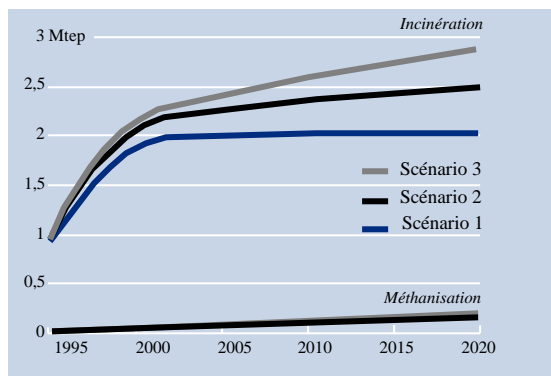
tion de chaleur dépasse la production d'électricité (dont le rendement est nettement inférieur).

► Dans le scénario 2, les quantités importantes d'énergie produite conduisent à renforcer la production d'électricité. Ainsi en 2020, celle-ci est prédominante par rapport à la production de chaleur.

► Malgré des choix de développement assez volontaristes du tri des fermentescibles, la

méthanisation reste un mode de production d'énergie marginal pour ce qui concerne les ordures ménagères. Pour les deux scénarios, la production d'énergie en 2020 est environ de 1,1 TWh, soit 150 ktep. Cela représente 0,5 % (dont 0,1% distribué par le réseau) de la consommation actuelle⁷ de gaz naturel en France. Les facteurs qui concourent à ce résultat en comparaison de l'énergie produite par l'incinération sont les suivants :

- Les fermentescibles ne représentent que la moitié des OM.

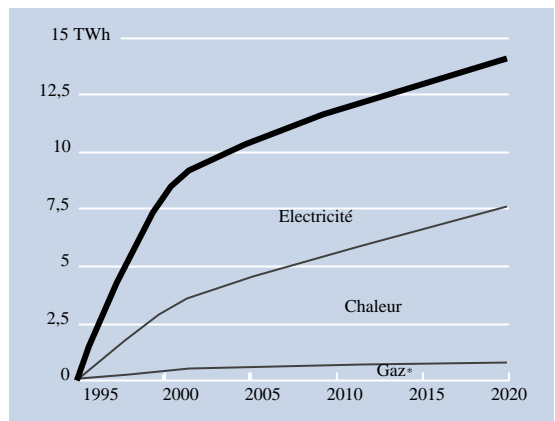
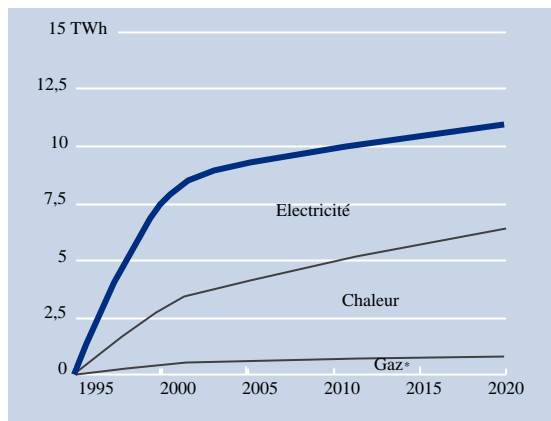


Sénario 1,
Energie finale
supplémentaire
produite
par le traitement
des ordures
ménagères

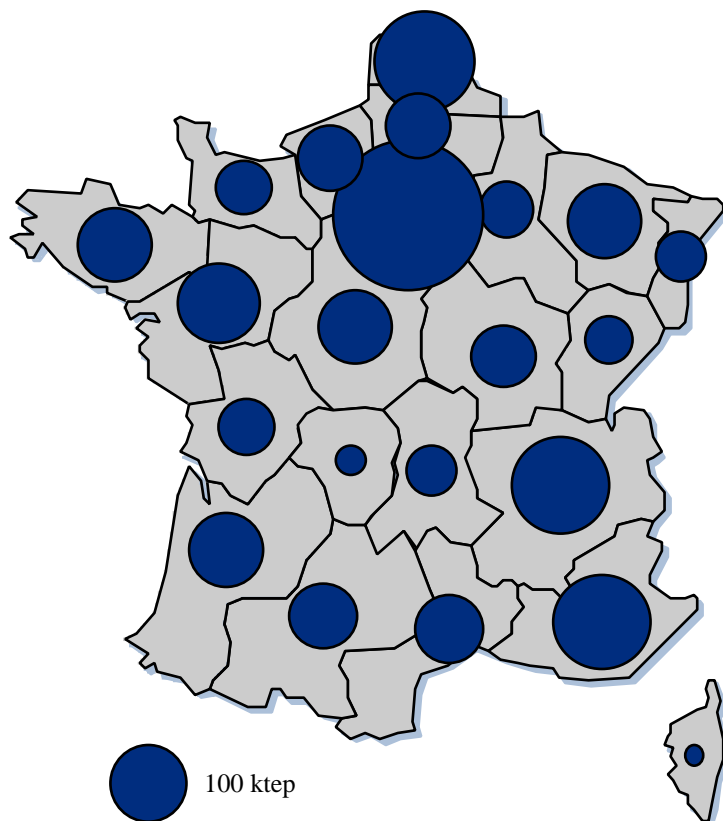
**Energie primaire
produite
par le traitement
des ordures
ménagères**

**Energie finale
supplémentaire
produite
par le traitement
des ordures
ménagères
cumulée sur 25 ans**

Sénario 2,
Energie finale
supplémentaire
produite
par le traitement
des ordures
ménagères



Potentiel supplémentaire
d'énergie primaire en 2020
issu du traitement des ordures ménagères



- Seulement une partie est “raisonnablement” récupérable par un tri à la source. Par ailleurs, une telle collecte ne peut probablement pas se mettre en place partout.
- Le pouvoir méthanogène est limité, la même quantité de fermentescibles (hors papier-carton) produit à peine plus d'énergie par méthanogénèse que par combustion. En ce qui concerne les papiers-cartons, la production d'énergie est nettement plus faible.

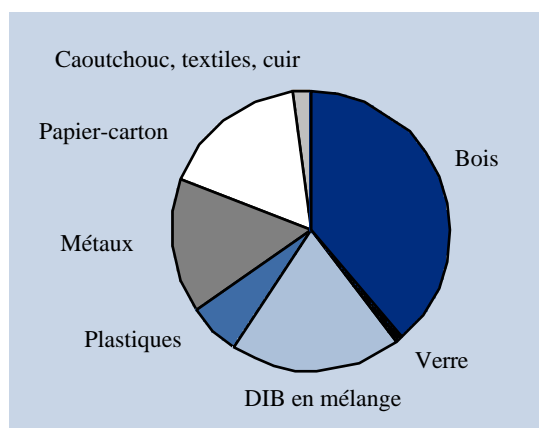
► Sur 25 ans, le potentiel supplémentaire d'énergie disponible cumulé est de 200 TWh

selon le scénario 1 et de 245 TWh selon le scénario 2. Cela représente en énergie primaire respectivement, 35 Mtep et 44 Mtep. Environ un tiers de cette énergie alimente les réseaux de chaleur. L'essentiel de l'énergie produite est de l'électricité (126 à 165 TWh), choix fait au départ, l'alternative étant la construction de nouveaux réseaux de manière beaucoup plus importante.

Le traitement des déchets industriels banals

Les données sont issues d'une enquête nationale réalisée par l'Ademe. Elle évalue à environ 25 millions de tonnes la production actuelle de déchets industriels banals (DIB) en France. Ce chiffre ne prend pas en compte l'essentiel des déchets de l'industrie agro-alimentaire⁸ (que nous traiterons par ailleurs), ni les déchets de démolition. L'enquête porte donc sur le secteur industriel, le BTP et sur le commerce de gros et de détail.

Nous avons réintégré 2 Mt de DIB issues des



▲
Composition actuelle des DIB

Production annuelle de DIB par secteur, en milliers de tonnes

Industries extractives	115
Ind. agricoles, agro-alim.	1712
Textile, habillement	442
Cuir, chaussure	81
Bois	8602
Papier, carton, imprimerie	3001
Chimie, raffinage	525
Caoutchouc, plastiques	698
Minéraux non métalliques	292
Métallurgie	2145
Fabrication de machines	552
Electricité, électronique	462
Matériel de transport	727
Autres industries	2472
Construction	1920
Commerce de gros	1454
Commerce de détail	2592
Total	27792

entreprises de moins de 10 salariés (non comprises dans l'étude Ademe). En effet, estimés au total à 6 Mt par an, les deux tiers de ces déchets sont déjà comptabilisés dans les ordures ménagères et assimilés.

Nous considérons donc une production annuelle de DIB de plus de 27 millions de tonnes, production qui est supposée stable dans la période à venir.

Production et composition des DIB

Un tiers des DIB est constitué par du bois issu essentiellement de l'industrie du bois et dont 50% connaîtra une valorisation matière.

La production de déchets du commerce est évaluée à près de 5 Mt, soit 20% du total. Les 1,7 Mt de déchets pris en compte pour les IAA sont essentiellement des emballages.

	Mélange	Verre	Métaux	Plastiques	Caoutch.,....	Papier-C	Bois	Ensemble
Valorisation matière	5%	73%	95%	35%	25%	62%	50%	49%
Valorisation énergétique	13%	1%	0%	3%	8%	5%	32%	16%
Non valorisé	82%	27%	5%	62%	67%	34%	18%	35%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

▲ Destination des DIB selon leur nature en pourcentage

Près de 50% des DIB ont pour destination une valorisation matière et 18% une valorisation énergétique. Le reste est détruit ou mis en décharge, ou encore a une destination inconnue.

Notre analyse porte sur les possibilités de traitement des déchets non valorisés à l'heure actuelle, considérant que les 67% de DIB valorisés actuellement continueront de l'être dans le futur et que nous ne cherchons pas à modifier leur destination.

Sont donc traités dans la suite de l'étude 9 millions de tonnes de DIB non valorisés, dont la composition est représentée dans le graphique ci-dessous. Cela représente environ 150 kg par habitant et par an.

Nous précisons que l'enquête de l'Ademe

indique 26% de bois non valorisé, soit environ 2,6 Mt. Nous avons estimé dans l'étude précédente du CLIP⁹ que 500 000 tonnes de palettes, cagettes... pouvaient être valorisées à des fins énergétiques en chaudière à bois. En tenant compte d'une politique volontariste de tri des DIB, on estime qu'en 2020, près d'1 Mt de bois pourrait être valorisé en chaudière à bois plutôt que par incinération. Cette quantité de bois est retirée de l'étude qui suit.

Filières de traitement des DIB

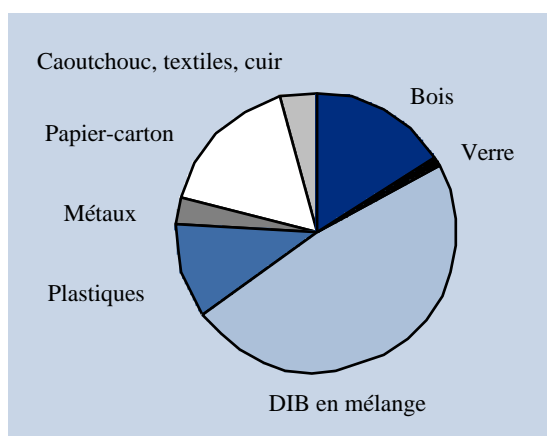
Les combinaisons de modes de traitement sont appliqués ici de la même manière que dans la partie concernant les ordures ménagères.

Les hypothèses sur l'évolution des taux de recyclage des différents composants des DIB et des taux de tri pour la méthanisation ou le compostage sont présentées dans le tableau page suivante. Ces taux concernent les 27 Mt de DIB. Ils sont ensuite recalculés pour les 9 Mt non valorisés.

Ne disposant pas de la composition des *DIB en mélange*, les taux retenus sont équivalents aux taux appliqués aux ordures ménagères. Cette fraction des DIB est donc assimilée aux ordures ménagères et passera par les mêmes filières de traitement.

Nous considérons que la valorisation matière des métaux (95%) n'évoluera plus significativement.

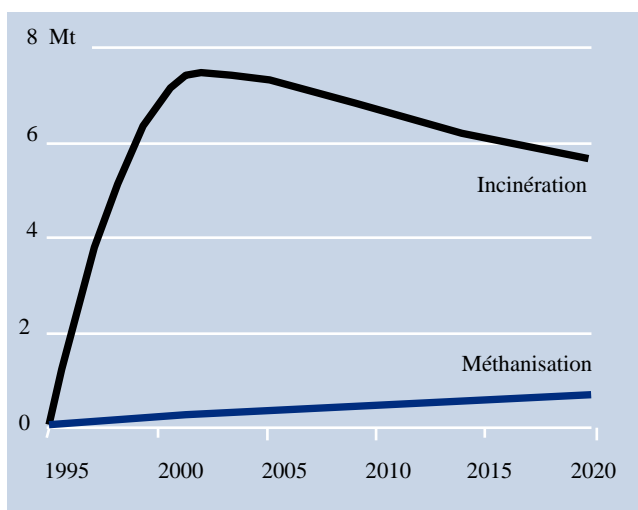
Composition des DIB actuellement non valorisés (total : 9 Mt)



	1995 *		Hypothèses pour 2020			
	Valorisation énergétique	Valorisation matière	Valorisation énergétique	Valo.matière / recyclage	Méthanisation ou compost	Incinération
DIB en mélange	13%	5%	13%	25%	20%	42%
Verre	1%	73%	1%	80%	-	19%
Métaux	0%	95%	0%	95%	-	5%
Plastiques	3%	35%	3%	60%	-	37%
Caoutch., textiles, cuir	8%	25%	8%	40%	-	52%
Papier-carton	5%	62%	5%	66%	14%	29%
Bois	26%	50%	37%	50%		13%
Total	14%	50%	14%	43%	12%	34%

* Enquête Ademe

▲ **Hypothèses d'évolution des taux de valorisation pour l'ensemble des DIB**



▲ **Quantité supplémentaire de DIB traités avec valorisation énergétique**

▼ **Part des DIB mobilisables**

	2002	2020
Incinération	85%	62%
Méthanisation	2%	6%
Recyclage	11%	26%
Compost	2%	6%

Les taux pour l'année 2002 sont équivalents à 40% de l'objectif de 2020 pour la partie des DIB non valorisée actuellement.

Selon la combinaison des filières de traitement des déchets, nous obtenons la répartition entre les modes de traitement présentée dans le tableau ci-dessous.

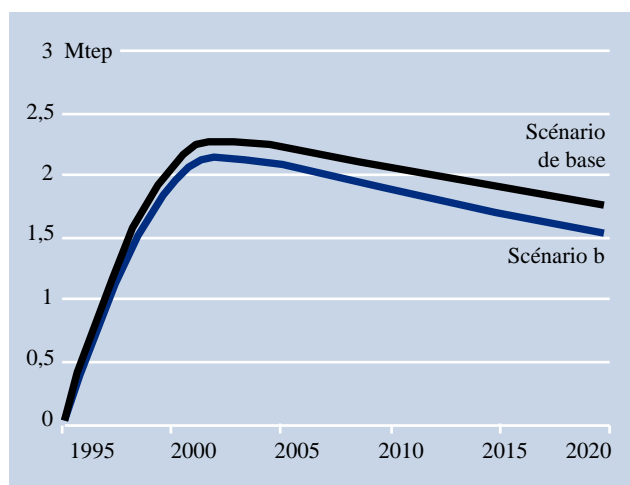
Quantités et contenu énergétique des DIB à traiter

Les taux d'incinération évoluent selon une courbe identique à ceux des ordures ménagères. Plus de 7 Mt de DIB devront être incinérés en 2002, contre 5,2 Mt en 2020.

Le tonnage et la composition des DIB restant stables sur la période, on constate une évolution similaire du contenu énergétique des DIB incinérés. La décroissance du contenu énergétique entre 2002 et 2020 est importante du fait du renforcement du recyclage et de la valorisation des fermentescibles.

Le PCI moyen des DIB incinérés est de l'ordre de 3200 kWh par tonne en 2002 et de 3400 kWh/t en 2020.

►
**Contenu énergétique
 des DIB supplémentaires incinérés,
 avec renforcement du recyclage
 des plastiques et du papier carton**



Sensibilité du contenu énergétique des DIB par rapport aux emballages

L'hypothèse d'un renforcement du tri des emballages a été faite de manière similaire au scénario 2 c pour les OM (cf page 20). Le scénario b prend en compte :

- une augmentation de 10% du taux de recyclage des plastiques par rapport au taux antérieur (soit 70% du total des DIB en 2020),
- une augmentation de 10% du taux de recyclage et du taux de tri pour la méthanisation ou le compostage des papier-cartons (soit respectivement 71% et 19% en 2020).

On constate une décroissance du contenu énergétique après 2002 nettement plus forte que dans le scénario de base.

Valorisation énergétique

Les DIB seront traités dans les mêmes installations (incinérateurs et digesteurs) que les ordures ménagères, les usages potentiels de l'énergie sont donc identiques et se répartissent entre la production de chaleur pour alimenter des réseaux de chaleur, la produc-

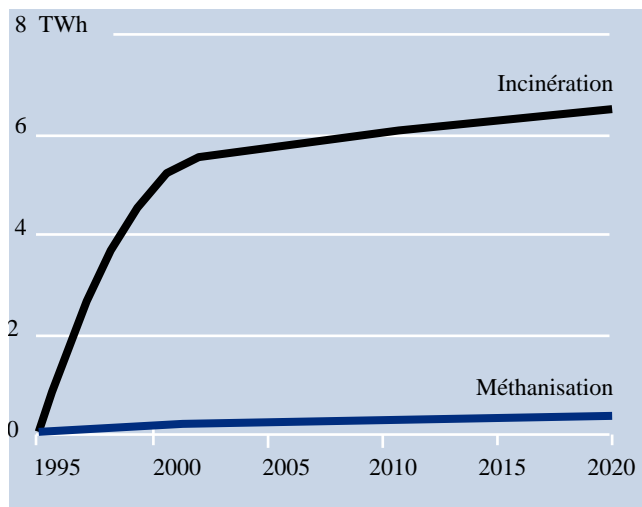
tion d'électricité et la production de gaz en usage direct ou distribué par les réseaux de transport de gaz naturel.

On considère qu'un tiers de l'énergie alimentant les réseaux de chaleur existants provient des DIB.

Les résultats

► L'énergie finale supplémentaire produite par l'incinération des déchets industriels banals est de 5,4 TWh, en 2002, selon les scénarios et de 6,2 TWh en 2020, soit de l'ordre de la moitié de l'énergie supplémentaire produite par les ordures ménagères. Cette augmentation sur la période est due à l'accroissement de la part de la chaleur, celle-ci atteint 50% de l'énergie finale en 2020. En énergie primaire, environ 1 Mtep supplémentaire par an serait fournie par l'incinération des DIB sur la période 2002-2020.

► La méthanisation d'une partie des DIB en mélange et du papier-carton procure 135 GWh en 2002 en énergie finale et 329 GWh en 2020 (soit respectivement 18 et 44 ktep d'énergie



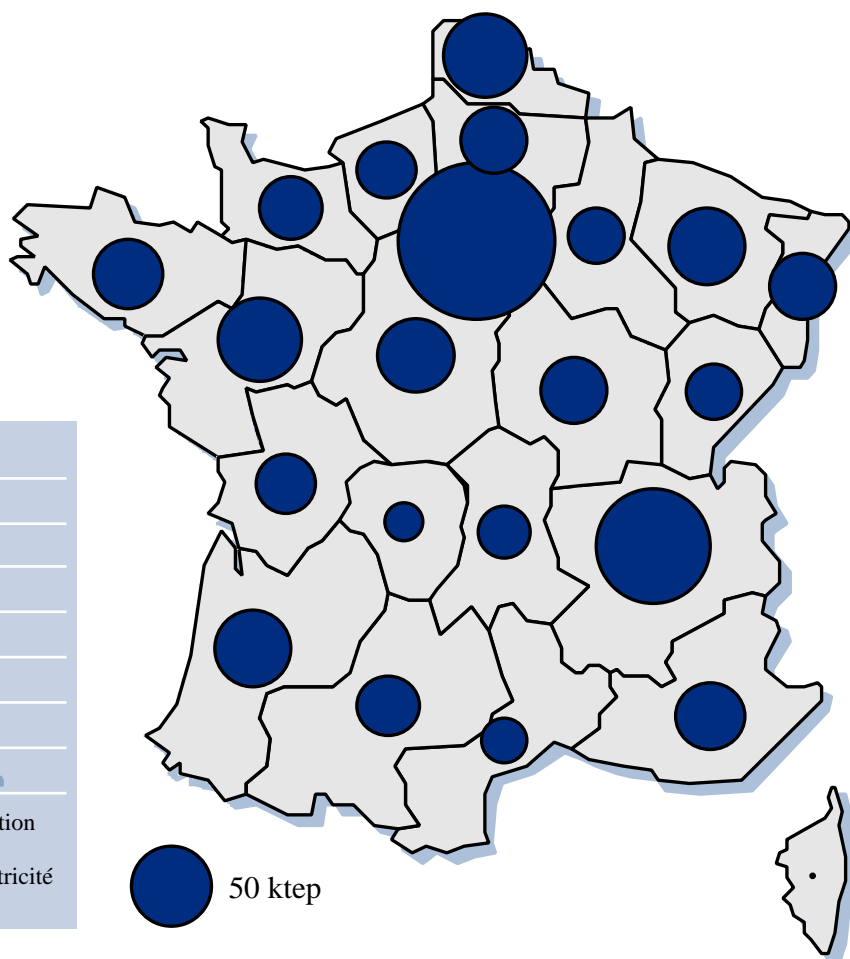
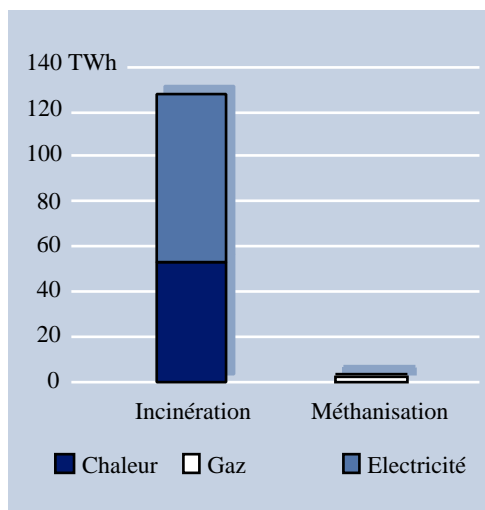
primaire). En 2020, plus des deux tiers du gaz produit est utilisé en usage direct ou reversé sur les réseaux de gaz naturel.

► Sur 25 ans, le potentiel d'énergie supplémentaire cumulé est de 128 TWh, soit en énergie primaire près de 27 Mtep. Environ un tiers de cette énergie alimente les réseaux de chaleur. L'essentiel de l'énergie produite est de l'électricité (82 TWh).

Potentiel d'énergie primaire en 2020 issu du traitement des DIB

Energie finale supplémentaire issue du traitement des DIB

Energie finale cumulée sur 25 ans



Les déchets des Industries agro-alimentaires

Pour déterminer un potentiel énergétique des déchets des industries agro-alimentaires (IAA), la première étape a consisté à déterminer, pour chaque type de produit, les quantités produites et leur contenu énergétique.

En seconde étape, nous avons adopté des taux de mobilisation à des fins énergétiques, qui tiennent compte des pratiques actuelles de gestion de ces produits.

Evaluation du potentiel mobilisable à des fins énergétiques

Estimations de la production annuelle

Le volume et la nature des déchets, sous-produits et co-produits des industries agro-alimentaires, restent relativement mal connus. Les estimations réalisées par l'ADEME totalisent près de 40 millions de tonnes de déchets, dans lesquelles sont comptabilisés par exemple 5,7 Mt de terre issues de la récolte de betterave, 9 Mt de lactosérum liquide, 12 Mt de pulpes de betteraves à faible teneur en matière sèche... Par ailleurs, une bonne partie de ces produits sont réutilisés en alimentation animale ou comme matière première secondaire pour l'industrie : considérés comme des sous-produits s'ils trouvent preneur dans ces filières, ils peuvent devenir des déchets dès lors que les conditions de rachat deviennent peu attractives ou que les débouchés se saturent. C'est le cas par exemple pour les pulpes

et vinasses de betteraves, pour lesquelles des recherches sont menées pour de nouvelles valorisations, dont la méthanisation ou la combustion.

Ne disposant pas de scénarios d'évolution de ces productions, nous considérons que les tonnages et la part subissant une valorisation matière restent stables sur la période.

Estimation du pouvoir énergétique par catégorie de produits

Nous avons repris les données de l'ADEME, reconverties en tonnage de matière sèche et de matière organique afin de calculer le potentiel calorifique, ou de matière organique dégradable, et de déterminer le potentiel méthano-gène. Il s'agit seulement d'estimations.

Si l'on ne considère que les 30 millions de tonnes de déchets d'origine animale ou végétale, les quantités de matières sèches représentent 10 millions de tonnes, dont 5 millions de tonnes de produits organiques dégradables. Le potentiel énergétique annuel global s'élève à 2 millions de tep (méthanisation et combustion).

La plupart des produits peuvent être soit incinérés, soit méthanisés. Mais les produits très liquides se prêtent mal à l'incinération, tandis que les produits à forte teneur en matière sèche sont souvent ligneux et mal adaptés à la méthanisation. Pour faire la part entre les deux voies, nous avons d'abord tenu compte du taux d'humidité.

	Caractéristiques				Méthanisation optimisée			Combustion optimisée		
	kt brutes	ktMS	ktMO	ktMOd	A	B	C	A	B	C
Abattage bovins, volailles, charcuteries, accoupage...	3 969	1 149	921	372	30	25	104	0	0	86
Lait, vin, boissons	11 516	1 300	1 240	744	53	89	168	0	12	3
Fruits & légumes	2 940	546	502	301	0	130	0	0	0	0
Betteraves	8 223	3 772	2 663	2 088	67	208	291	0	0	363
Céréales, plantes industrielles	3 816	3 488	3 371	1 621	0	0	0	17	16	1 122
TOTAL	30 464	10 255	8 698	5 126	149	452	564	17	28	1 575

MS : matière sèche, MO : Matière organique, d : dégradable

▲
Caractéristiques des principaux déchets des IAA et potentiel énergétique par catégorie de produits et par filière (en ktep)

- Les produits présentant une trop forte teneur en eau n'ont pas été comptabilisés dans le potentiel "combustion".
- Pour les autres cas (rares), c'est la filière présentant le plus fort potentiel énergétique qui a été retenue. C'est le cas par exemple des mélasses de betterave, compte tenu de leur fort pouvoir méthanogène, et comptabilisées dans le potentiel "méthanisation". A l'inverse, la quasi totalité des déchets de céréales, à fort contenu calorifique, est comptabilisée dans le potentiel "combustion".

Potentiel par catégorie de produits

Actuellement, les deux-tiers environ du potentiel sont valorisés en alimentation animale ou en matière première, 20 % sont enfouis en décharge, le reste est épandu ou composté, une fraction marginale faisant l'objet d'une valorisation énergétique ou étant incinérée.

Ces modes de gestion actuels déterminent des "catégories" de produits :

Catégorie A : Ce sont les produits identifiés comme des déchets à éliminer et traiter, et

pour lesquels les techniques de méthanisation ou de combustion sont disponibles ou sur le point de l'être. C'est le cas notamment des pulpes humides de betteraves, de plus en plus concurrencées en alimentation animale par le maïs notamment, des matières stercoraires, des lisiers d'abattoirs, des lies, etc... Ces produits doivent ou devront subir un traitement, et les filières énergétiques répondent dans ce cas à un besoin.

Catégorie B : Ce sont les déchets et sous-produits qui font déjà l'objet d'une valorisation agronomique. Il s'agit par exemple d'une partie des pulpes et vinasses de betteraves, des déchets de transformation des fruits et légumes, du marc de raisin épuisé issu de distillation...

Catégorie C : Ce sont les produits valorisés en alimentation animale ou en industrie chimique : il s'agit plus ici de co-produits.

Hypothèses sur les taux de mobilisation à des fins énergétiques

Pour chiffrer un potentiel mobilisable à l'horizon 2020, nous avons affecté à chaque

catégorie de produits un taux de mobilisation qui dépend des utilisations actuelles.

Deux types de calculs ont été menés :

- calcul du potentiel “*techniquement mobilisable*” : il s’agit du potentiel énergétique des déchets concernés par un traitement de dépollution, en écartant les déchets qui font l’objet d’une valorisation matière, notamment pour l’alimentation animale ou l’industrie chimique. Ce potentiel représenterait en 2020 1 Mtep, soit un tiers du potentiel physique. La principale différence est due à l’exclusion des co-produits céréaliers.
- calcul du potentiel “*accessible*” : les déchets à éliminer peuvent suivre différentes filières de traitement, certains par exemple peuvent être facilement soit compostés directement, soit épandus sur place. Nous retenons ici la fraction concernée par une filière énergétique, incinération ou méthanisation.

Le potentiel accessible en 2020 représenterait ainsi 600 ktep. Les principaux gisements sont les suivants :

- déchets et sous-produits humides et fermentescibles des industries de la betterave, du vin, du lait : 350 ktep,
- sous-produits de transformation des fruits et légumes : 65 ktep,
- déchets d’abattoirs : 60 ktep,
- co-produits issus de la transformation des céréales et plantes industrielles : 135 ktep.

Valorisation énergétique

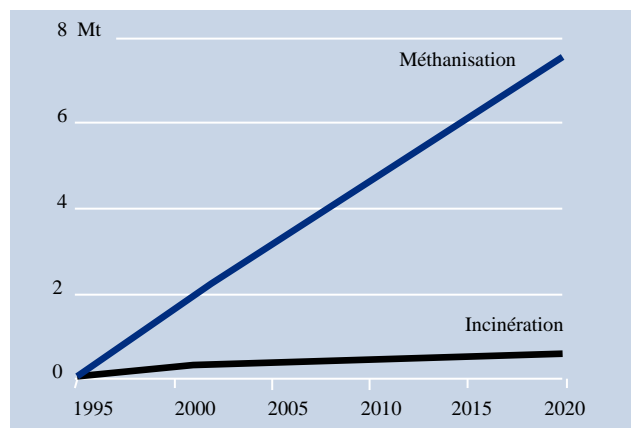
L’essentiel des installations de méthanisation vont accueillir des déchets de l’industrie agro-alimentaire. Viendront en complément les fermentescibles des ordures ménagères et des DIB collectés à cet effet. Les usages possibles du biogaz sont identiques à ceux déjà présentés pour les OM et les DIB.

Les résultats

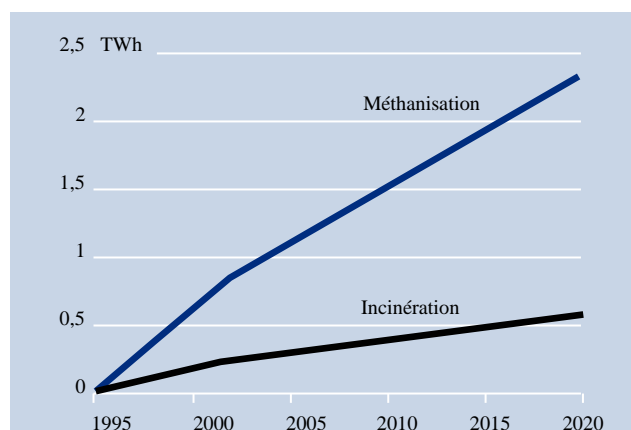
Quantités et caractéristiques des déchets valorisés en énergie

Le tonnage global valorisé en énergie serait de l’ordre de 8,5 millions de tonnes, dont 7,8 Mt par méthanisation (12 à 29% de matières sèches selon les régions, 20% en moyenne, soit 1,6 Mt de MS) et 0,7 Mt par incinération (84 à 93% de matières sèches selon les régions, 91 % en moyenne, soit 0,6 Mt de MS).

Ainsi en 2020, les déchets d’IAA représenteraient en poids, près de 80% des déchets méthanisables, OM et DIB compris.

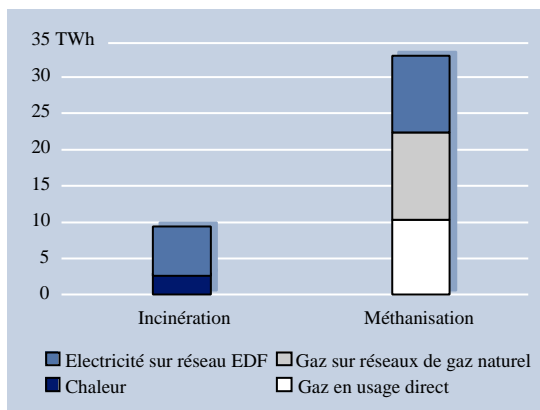


▲ Quantité de déchets d'IAA traités Energie finale ▼



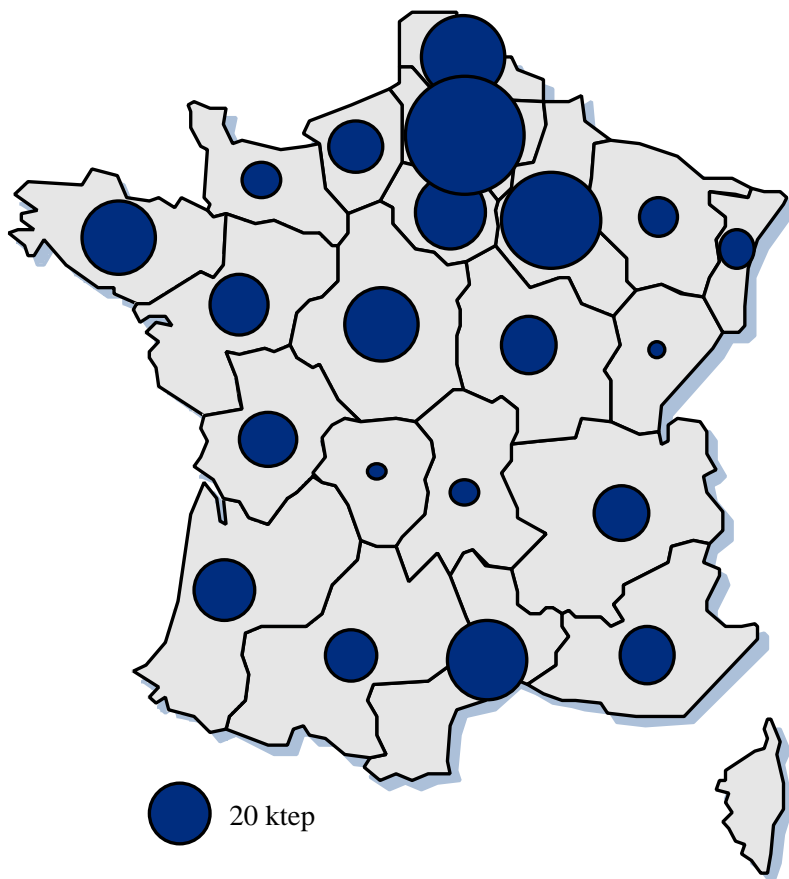
Cependant, ils ne représenteraient que les deux tiers de l'énergie produite.

En terme de contenu énergétique, la méthanisation représente le double de l'incinération, soit respectivement 400 ktep et 200 ktep en 2020.



▲ Energie finale cumulée sur 25 ans

▼ Potentiel d'énergie primaire en 2020 issu du traitement des déchets d'IAA



Potentiel total

Le potentiel énergétique accessible est de 1,2 TWh pour l'année 2002 et de 3 TWh pour l'année 2020. Ainsi, sur la période 1995-2020, plus de 42 TWh (soit 5,5 Mtep en énergie primaire) peuvent ainsi être récupérés en 25 ans, ce qui équivaut à 75% du potentiel énergétique des décharges sur la même période. Près de 4,5 Mtep de gaz peuvent être produits, soit plus de deux fois plus que le potentiel de gaz issu de la méthanisation des ordures ménagères.

Le gaz de décharge

L'étude s'intéresse aux centres d'enfouissement recevant aujourd'hui plus de 20.000 tonnes de déchets ménagers et assimilables par an. La détermination du gisement brut de méthane, correspondant au total des émissions de méthane sur ces sites depuis aujourd'hui jusqu'à l'arrêt de la fermentation méthanique, implique de connaître les tonnages enfouis, et le potentiel méthanogène des déchets.

Le potentiel méthanogène est évalué en première approche à partir de modèles théoriques de production, généralement admis par les experts. Le modèle adopté aboutit à une valeur théorique de 170 Nm³ de méthane par tonne de déchets.

Les tonnages enfouis sont extrapolés à partir de l'inventaire réalisé par l'AGHTM sur l'ensemble du territoire national (*ITOM 5, 1990*), et recalé par rapport aux données établies par les enquêtes de terrain menées par SOLAGRO, avec des structures associées (Rhônalénergie, délégations régionales de l'Ademe,...).

A partir de ce gisement brut, on peut déterminer un gisement techniquement récupérable, qui tient compte des rendements de méthanogénèse et de collecte, de l'ordre de 36% du potentiel théorique : soit 60 m³ de méthane par tonne de déchets ménagers.

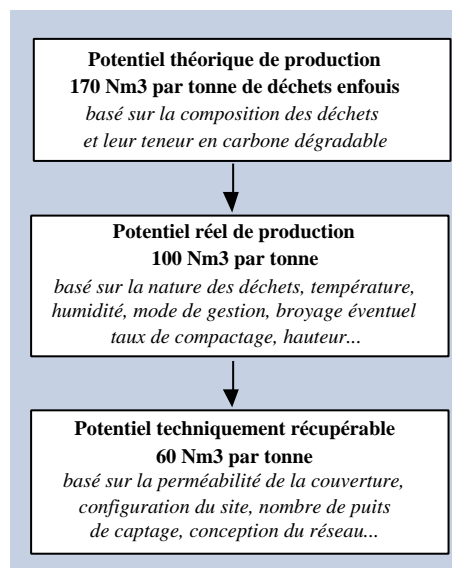
Tonnage enfoui, nombre des sites et répartition par taille

L'inventaire AGHTM donne le tonnage reçu quotidiennement sur 140 centres d'enfouissement techniques (CET) recevant plus de 70 tonnes de déchets par jour.

En supposant que ces CET reçoivent ces volumes 280 jours par an, ce seuil correspond à 20 000 tonnes/an. Cet inventaire permet de déterminer les quantités de déchets stockées en CET sur chaque région française, et d'en déduire un ratio par habitant. Il se dégage d'enquêtes régionales menées par Solagro que l'inventaire AGHTM paraît sous-évaluer les tonnages enfouis, de 25 à 200% selon les régions. Une

des raisons tient dans le fait que l'inventaire AGHTM disponible lors l'étude, ne comptabilise que les OM mises en décharge.

Même en excluant la région Rhône-Alpes, manifestement trop sous-évaluée, il semble qu'il convient de pondérer les chiffres AGHTM de 50%. Ce qui porte le tonnage total enfoui, sur ces sites de plus de 20 000 t/an, à 18 millions de tonnes par an, contre 12 Mt, soit 286 kg/habitant et par an. Ce chiffre de 18 Mt semble mieux correspondre à la réalité : 40% des 26 millions de

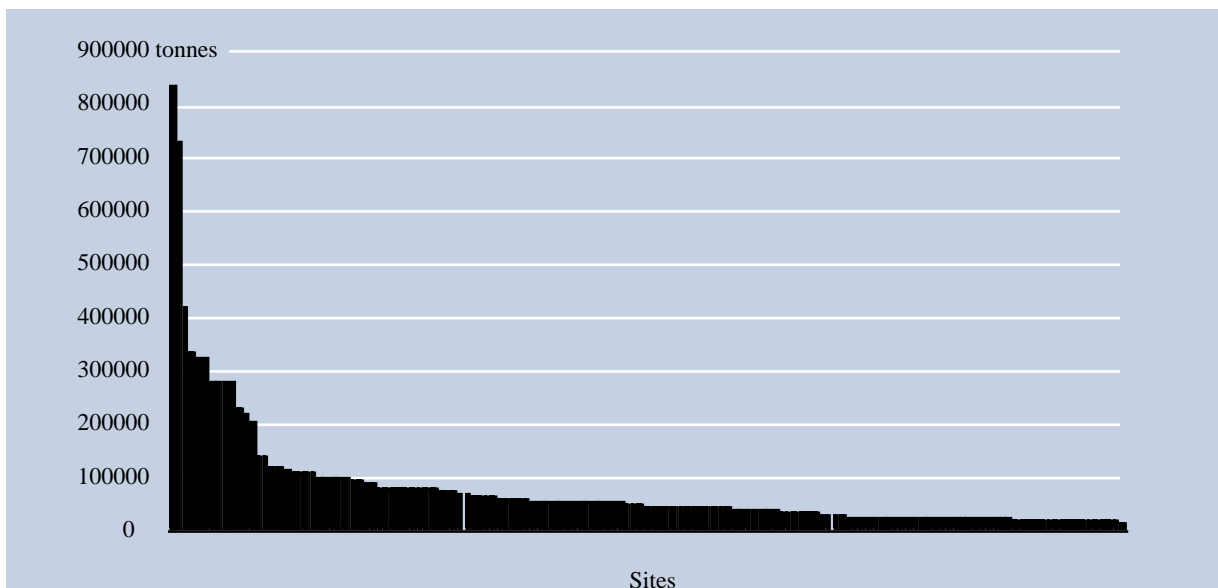


▲ Potentiel de production de méthane

	Tonnage par classe reçu annuellement			Total kt/an
	>100 kt	>50 kt	>50 kt	
Alsace	142	85	57	284
Aquitaine	131	79	53	263
Auvergne	221	132	88	441
Bourgogne	247	148	99	494
Bretagne	101	60	41	202
Centre	385	192	64	641
Champagne-Ardennes	298	149	49	496
Franche-Comté	0	0	38	38
Ile-de-France	4859	572	285	5716
Languedoc-Roussillon	574	105	21	700
Limousin	0	139	0	139
Lorraine	445	267	178	890
Midi-Pyrénées	270	160	70	500
Nord-Pas-de-Calais	718	377	122	1217
Basse-Normandie	237	79	79	395
Haute-Normandie	0	0	97	97
Pays de la Loire	406	243	162	811
Picardie	675	405	271	1351
Poitou-Charentes	0	0	50	50
PACA	1008	321	198	1527
Rhône-Alpes	398	375	363	1136
Total	11115	3888	2385	17388

▲ **Estimation des tonnages reçus
par les sites d'enfouissement (> 20000 tonnes/an)**

Sites classés selon le tonnage annuel reçu



tonnes de déchets municipaux enfouis, et une fraction non négligeable, peut-être de l'ordre de 20%, des 40 millions de tonnes de déchets industriels banals - sans compter les déchets agro-industriels.

La répartition selon les régions est très dispersée : on enfouirait 32 kg de déchets par habitant et par an en Poitou-Charentes, contre 795 en Picardie ! Les 5 régions enquêtées restent par contre beaucoup plus proches de la moyenne nationale (220 à 370 kg/hab.an).

Le nombre de sites concernés, selon l'inventaire AGHTM, doit également être réévalué de 20% environ (si l'on exclut le cas de Rhône-Alpes). Au total, la taille moyenne des 175 sites concernés est de 90.000 tonnes de déchets par an, contre 143 sites recevant 74.000 tonnes.

La taille des sites varie de 20 000 tonnes (seuil minimal des sites concernés) à 1 million de tonnes (deux centres d'enfouissement de la région parisienne).

Le graphique (ci-dessous) confirme au niveau national ce que montrent les enquêtes régionales : le gisement est concentré.

La répartition des sites par classe de taille, en corrigeant les données AGHTM par les enquêtes SOLAGRO, conduit à 180 sites de plus de 20.000 t/an, dont 48 de plus de 100 000 tonnes.

Potentiel énergétique techniquement récupérable

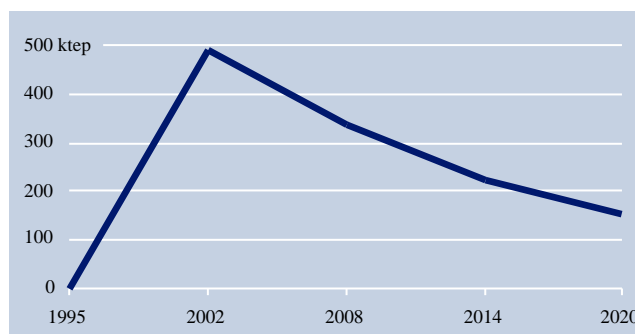
Les enquêtes de terrain montrent également comment évoluent les tonnages enfouis, site par site, dans la durée. Sur la globalité des sites enquêtés, le tonnage passe par un maximum autour de 1990-1995, après une croissance lente, et diminue progressivement jusqu'en 2002, date à laquelle les volumes de déchets fermentescibles enfouis deviennent en principe symboliques.

L'évolution de ces tonnages est capitale pour déterminer l'évolution du gisement énergétique, puisque la production de gaz se poursuit plusieurs décennies après l'enfouissement.

Les évolutions observées sur les régions enquêtées ont donc été extrapolées à l'ensemble des régions françaises.

Les données collectées sur les 50 sites enquêtés (totalisant des apports de 4 millions de tonnes de déchets par an) permettent de déterminer la courbe de production globale de méthane dans le temps. D'un site à l'autre, l'allure de ces courbes est très différente. Malgré tout, le profil global, par région, est très similaire d'une région à l'autre : stagnation jusqu'en 2002, puis décroissance inversement exponentielle.

Par extrapolation des principaux paramètres de production d'énergie dont le taux de méthane techniquement récupérable (60 Nm³ par tonne de déchets enfouis), le tonnage actuel de déchets reçus par classe de décharges et par région, année par année, nous amène aux



▲
Production cumulée sur 25 ans de méthane récupérable des décharges (>20 000 t/an).
(Exploitation actuelle sur cinq sites : 19 ktep/an)

ratios suivants (en fonction du tonnage reçu en 1995) :

- 2002 : 28 tep/1000 tonnes enfouies par an
- 2020 : 8,6 tep/1000 tonnes enfouies par an

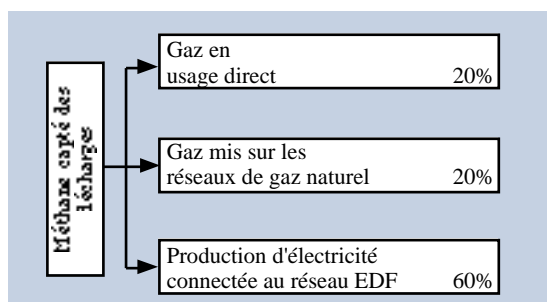
A partir de ces ratios et de la configuration pour chaque région (tonnages, nombre de sites, classe de taille), on peut déduire le gisement énergétique récupérable pour chaque région et chaque taille.

Valorisation énergétique du gaz de décharge

Les centres d'enfouissement techniques valorisant le gaz actuellement se répartissent de la façon suivante :

- 3 sites avec valorisation électrique (total 1500 m³/h de méthane)
- 3 sites avec utilisation directe (environ 1000 m³/h)
- 1 site avec production de carburant pour petites quantités (50 m³/h)
- prochainement 1 site avec production de gaz naturel (500 m³/h)

Les hypothèses retenues sont identiques à celles des installations de méthanisation (voir schéma page suivante).



La production de gaz naturel reversé sur les réseaux de transport de gaz naturel est pratiqué notamment dans plusieurs pays européens et aux Etats-Unis. Les Pays-Bas⁽¹⁰⁾, en particulier, ont une bonne expérience dans le domaine. Il faut cependant noter que ces pays nord-européens pratiquent une politique beaucoup plus volontariste que la France en matière de tri sélectif et donc que leurs centres d'enfouissement contiennent peu de substances susceptibles d'engendrer des composés organo-chlorés et organo-fluorés, celles-ci ayant été valorisées par ailleurs.

En France, un centre d'enfouissement technique est en cours d'installation à Montech dans le Tarn-et-Garonne, pour une production de 500 m³ par heure. Les opérations d'épuration du biogaz ont été considérées jusqu'à maintenant comme difficiles et coûteuses.

Compte-tenu du bon rendement énergétique de cet usage du gaz au regard de la production électrique, nous avons fait l'hypothèse volontariste que 20% des installations de récupération du gaz de décharge étaient en mesure de se substituer au gaz naturel d'origine fossile et d'être injecté en dilution dans les réseaux de transport, cela permettant un usage beaucoup plus souple de ce gaz.

Cependant cette hypothèse reste soumise à un certain nombre de contraintes :

- Tout d'abord, des contraintes d'ordre local, car l'injection du biogaz dans les réseaux de transport de gaz naturel implique que ceux-ci

se trouvent à une distance raisonnable du lieu de production du biogaz, sans quoi l'économie du projet n'est plus acceptable.

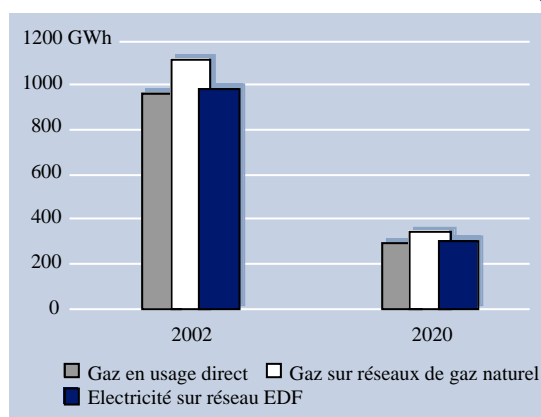
- Enfin, et surtout, cela suppose que le biogaz, même après traitement, ne contienne aucune substance (composés chlorés et fluorés notamment) qui risquerait, par son caractère corrosif, d'endommager le réseau de transport du gaz, mais également les équipements des clients du réseau de gaz, en particulier les évacuations de gaz brûlés, et de compromettre ainsi leur sécurité.

Les résultats

Nous avons fait l'hypothèse que le potentiel de méthane capté croît de manière linéaire entre 1995 et 2002, au rythme de l'équipement des décharges. Dans le même temps les quantités de déchets mise en décharge diminuent et deviennent nulles en 2002.

La production de méthane capté est à son maximum en 2002, soit 490 ktep. Elle décroît ensuite : elle est de 150 ktep l'année 2020. Le potentiel cumulé sur 25 ans est de 7,4 Mtep.

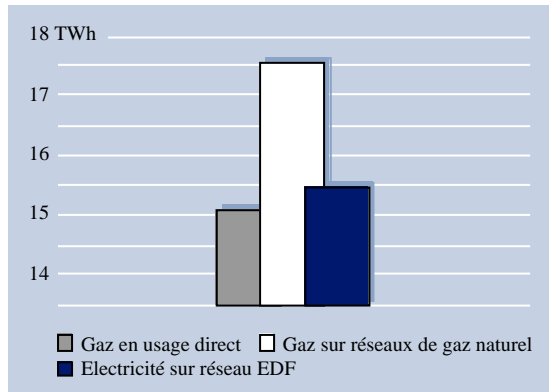
Energie finale produite par le captage du gaz de décharge



En 2002, 3 TWh seraient produits et près de 1 TWh en 2020. Les deux tiers sont constitués par du gaz, utilisé soit en usage direct, soit épuré et mis sur le réseau.

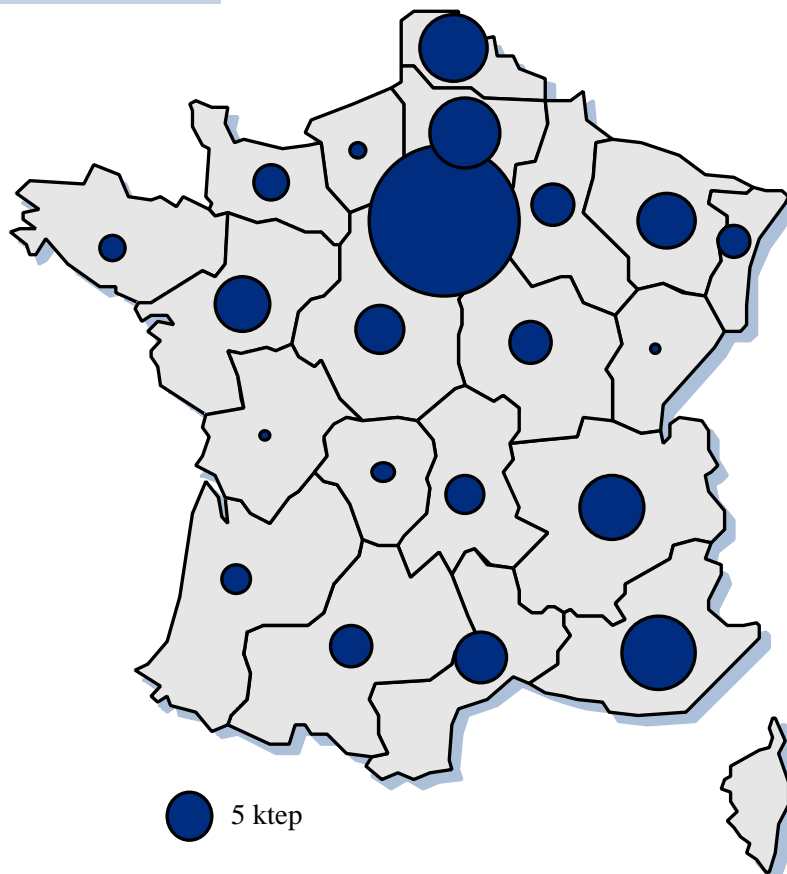
Au total, près de 47 TWh seraient produits

sur la période. Cela représente trois fois le potentiel énergétique issu de la méthanisation des ordures ménagères et 50% de plus que le potentiel issu de la méthanisation des déchets d'IAA.



Energie finale produite par le captage du gaz de décharge cumulée sur 25 ans

Potentiel supplémentaire d'énergie primaire en 2020 issu de la récupération du gaz de décharge



Les boues de stations d'épuration

Valorisation énergétique

Il existe deux façons de produire de l'énergie avec les boues de station d'épuration (STEP) : la méthanisation, largement développée aujourd'hui pour les boues, et l'incinération, utilisée dans certaines conditions particulières et appliquée aujourd'hui à 15 % du tonnage produit.

L'incinération des boues ne génère un bilan énergétique positif que si la teneur en matières combustibles est suffisante, ce qui implique des boues suffisamment déshydratées, en générale autour de 30 à 40%. La déshydratation étant une opération coûteuse, on cherche en général à se rapprocher de la valeur limite, rarement à la dépasser. On considère donc ici que l'incinération des boues ne génère pas d'énergie, et nous nous intéresserons uniquement à la méthanisation.

Le potentiel de production d'énergie par méthanisation des boues peut être estimé en première approche, par équivalent-habitant, de la façon suivante :

- production des boues : 30 kg de MS/EH.an¹¹
- teneur en matières volatiles : 66%
- taux de dégradation de la matière sèche

volatile : 50%

- productivité : 500 m³ de méthane par tonnes de MSV¹² détruite

Soit au total : 5 m³ de méthane par EH.an, ou 4,3 kep par EH.an.

La méthanisation des boues est déjà largement développée à l'échelle nationale. Les 170 stations recensées par Solagro possèdent une capacité de production d'énergie de 88.000 tep par an, et desservent 21 millions d'équivalent-habitants. En théorie, rien ne s'oppose à la généralisation de cette solution pour l'ensemble des stations d'épuration urbaines, au moins pour les 200 stations les plus importantes (capacité supérieure à 30.000 équivalent-habitants), quelle que soit la destination ultérieure des boues (y compris l'incinération).

Potentiel énergétique à l'horizon 2020

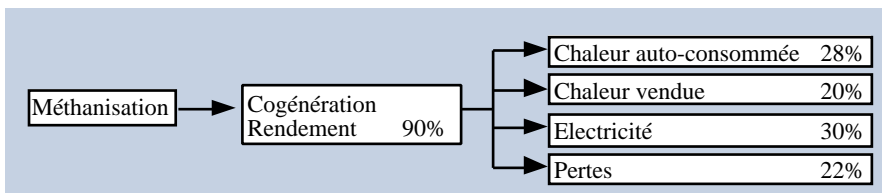
La détermination du potentiel à l'horizon 2020 repose sur les hypothèses suivantes :

- Les deux-tiers de la population seront raccordés à des stations d'une capacité supérieure à 30 000 équivalent-habitants en 2020, contre 38% aujourd'hui.
- La totalité de ces stations d'épuration méthanise les boues.

• Le potentiel de production par habitant est de 5 m³ de méthane par an, soit 4,3 kep/EH/an.

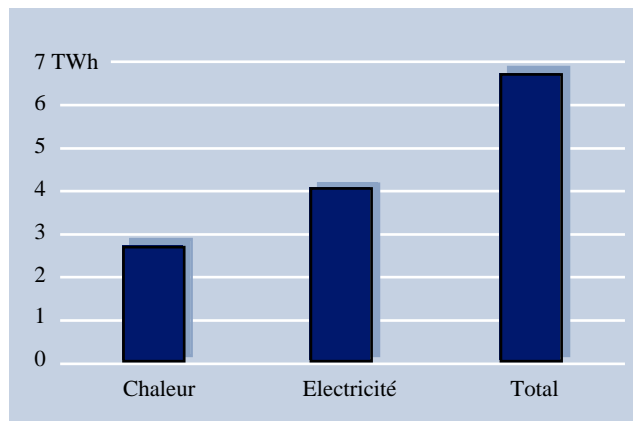
- On considère que 75% des STEP actuelles (> à

Usage du biogaz produit par méthanisation des boues



30 000 EH) ont un système de valorisation énergétique, une partie de cette énergie étant auto-consommée. Nous faisons l'hypothèse que ce taux atteint 82% en 2002 et 95% en 2020.

- Les installations de valorisation énergétique sont en cogénération. 28% de l'énergie est auto-consommée pour le réchauffement des digesteurs notamment, 20% est vendu en chaleur, 30% en électricité, et 22% de l'énergie est perdue (manque de clients pour la chaleur, notamment en été,...).



Energie finale supplémentaire cumulée sur 25 ans

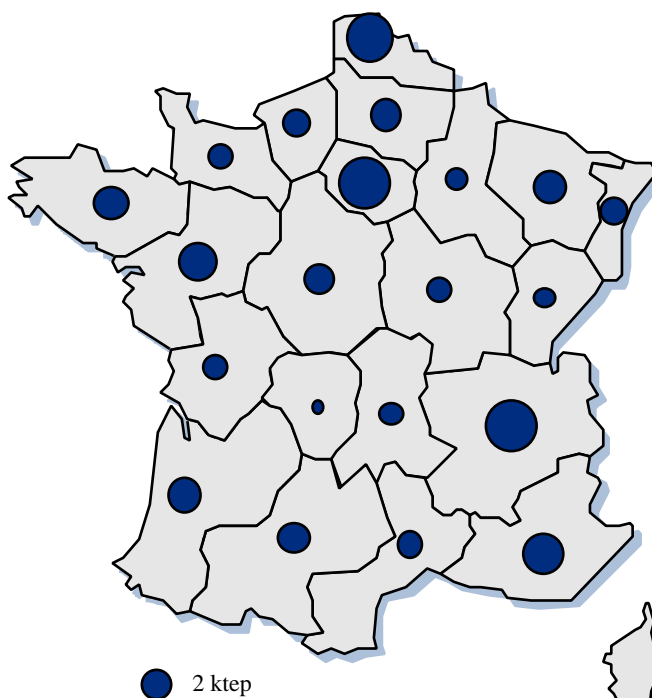
Résultats

Les stations d'épuration urbaines contribuent au bilan énergétique national pour une valeur de l'ordre de 35 000 tep aujourd'hui.

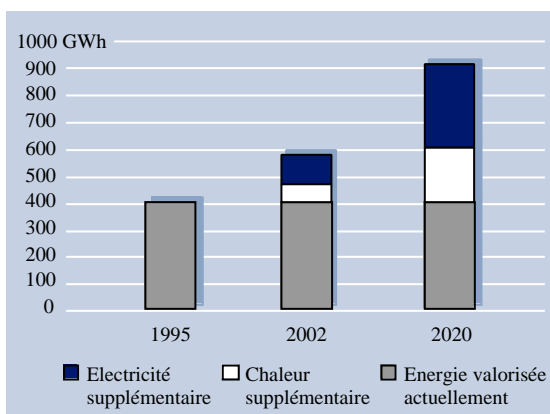
Ce potentiel peut augmenter jusqu'à environ 50 000 tep en 2002 et 85 000 tep en 2020.

Le gisement d'énergie supplémentaire (par rapport aux 35 000 tep produits actuellement par an), cumulé sur 25 ans, est de 0,7 Mtep.

Potentiel supplémentaire d'énergie primaire en 2020 issu de la méthanisation des boues de STEP



Energie finale produite par la méthanisation des boues de STEP



Bilan pour l'ensemble des déchets

Nous avons considéré que les OM, les DIB et les déchets d'IAA seront traités dans les mêmes installations, incinérateurs ou digesteurs. Il s'agit donc d'évaluer les quantités totales à traiter selon ces deux modes de traitement, sur la période, et les conséquences en terme d'investissements à réaliser.

Potentiel énergétique issu du traitement des ordures ménagères, des DIB et des déchets d'IAA

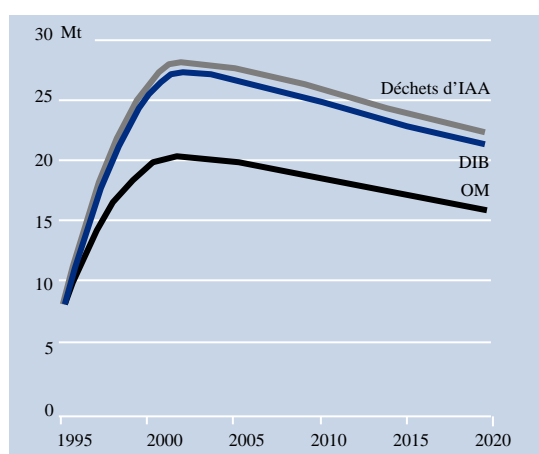
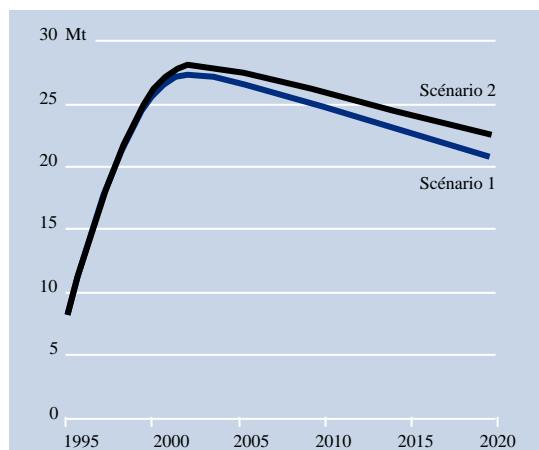
Quantité et contenu énergétique

En 2002, entre 22 et 23 millions de tonnes supplémentaires de déchets devront être incinérés selon les scénarios 1 et 2 de production d'ordures ménagères. Si on tient compte des 5 Mt environ incinérées actuellement avec valorisation énergétique, 28 à 29 millions de tonnes de déchets seront incinérés en 2002.

Il s'agit donc, entre 1995 et 2002, de multiplier par plus de cinq les capacités d'incinération avec récupération d'énergie.

Grâce au développement de la collecte sélective, le tonnage à incinérer en 2020 serait de 21 à 23 Mt de déchets.

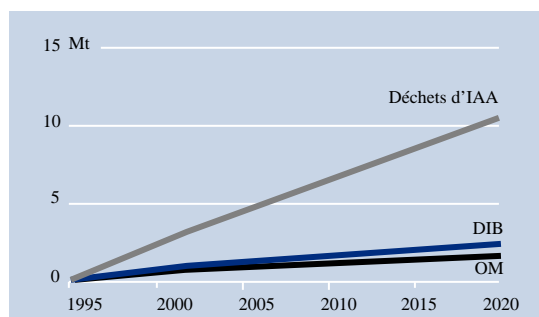
Le contenu énergétique des déchets à incinérer est de 5,8 Mtep en 2002 et 5,6 Mtep en 2020 pour le scénario 2. Dans l'hypothèse où



▲ Quantité de déchets à incinérer (OM, DIB et déchets d'IAA)

Part des déchets à méthaniser selon leur provenance (Scénario 2 pour les OM)

▲▲ Part des déchets à incinérer selon leur provenance (Scénario 2 pour les OM)



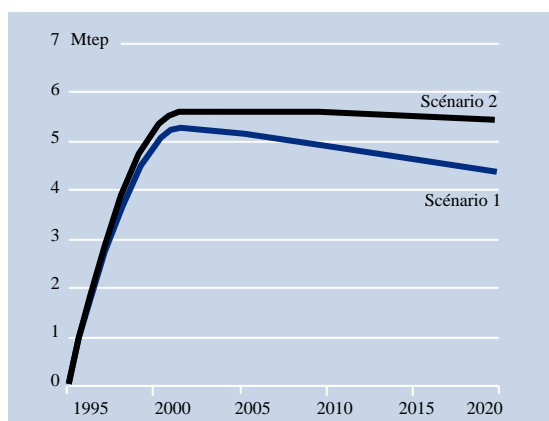
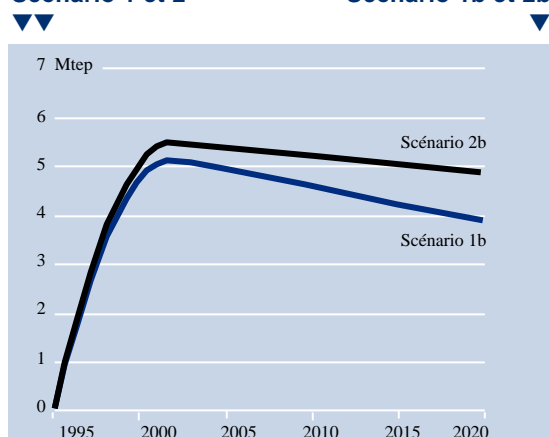
le taux de tri des plastiques et des papier-cartons est renforcé de 10% (scénario 2b), le contenu énergétique décroît de 5,5 Mtep en 2002 à 4,9 Mtep en 2020, soit de 11%.

Dans le cas du scénario 1, la décroissance du contenu énergétique est nettement plus forte : 5,3 Mtep en 2002 à 4,4 Mtep en 2020, soit une baisse de 17%. Avec le renforcement du tri des plastiques et des papier-cartons (scénario 1b), le contenu énergétique est de 5,1 Mtep en 2002 et 3,9 Mtep en 2020, soit une baisse de 24%.

**Contenu énergétique
des déchets supplémentaires
à incinérer (OM, DIB, déchets d'IAA)**

Scénario 1 et 2

Scénario 1b et 2b



Ce constat pose la question du dimensionnement des installations d'incinération au cours de la période. Il y a en France aujourd'hui environ 300 unités d'incinération dont 85 sont équipées de dispositifs de récupération d'énergie. 61% des installations traitent moins de 20 000 tonnes par an, 27% entre 20 000 et 40 000 tonnes par an et 13% traitent plus de 40 000 tonnes.

Le dimensionnement d'un incinérateur dépend du nombre de tonnes de déchets par heure à incinérer et de leur PCI. Ainsi si le PCI des déchets augmente, la quantité de déchets traitée à l'heure devra être réduite afin de ne pas dépasser une charge thermique du four déterminée.

Si le contenu énergétique des déchets reste à peu près stable entre 2002 et 2020 à technologie constante, comme c'est le cas dans le scénario 2, les mêmes capacités d'incinération seront nécessaires sur la période, bien que le tonnage des déchets traités baisse de manière importante.

Par contre si le contenu énergétique baisse également (scénarios 1, 1b, 2b), les installations construites en première période seront surdimensionnées en 2020. L'ajustement des capacités d'incinération peut se faire en partie avec le renouvellement des fours. Cependant de l'ordre de 8 Mt de déchets sont incinérés aujourd'hui contre les 28 ou 29 Mt qui devront l'être en 2002 compte-tenu de la réglementation sur la mise en décharge. La majorité des capacités d'incinération vont donc être construites d'ici 2002 et seront toujours en fonctionnement en 2020. De même, plus de 80% des installations actuelles doivent être mises aux normes en ce qui concerne le traitement des fumées ou fermées dans les années qui viennent.

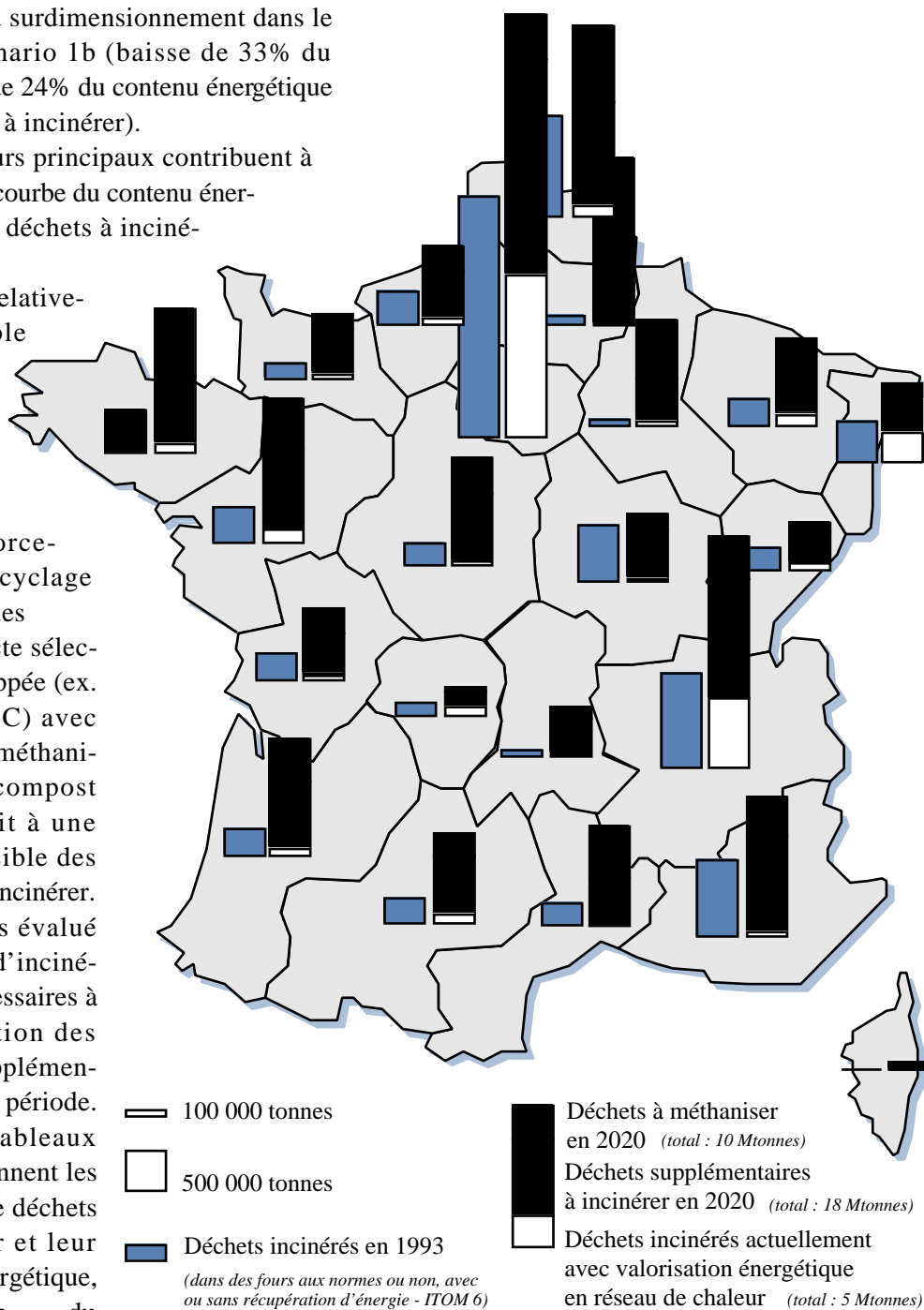
La possibilité d'ajuster les capacités d'incinération entre 2002 et 2020 ne sera pas forcément possible dans toutes les régions et risque de ne pas suffire pour répondre au surdimensionnement dans le cas du scénario 1b (baisse de 33% du tonnage et de 24% du contenu énergétique des déchets à incinérer).

Trois facteurs principaux contribuent à infléchir la courbe du contenu énergétique des déchets à incinérer :

- une part relativement faible des plastiques dans le contenu des déchets
- un renforcement du recyclage des plastiques
- une collecte sélective développée (ex. de la zone C) avec recyclage, méthanisation ou compost qui conduit à une baisse sensible des tonnages à incinérer.

Nous avons évalué le nombre d'incinérateurs nécessaires à l'incinération des déchets supplémentaires sur la période. Les deux tableaux suivants donnent les quantités de déchets à incinérer et leur contenu énergétique, l'évolution du

Quantité de déchets à incinérer ou à méthaniser (OM, DIB, déchets d'IAA) pour l'année 2020



nombre de fours nécessaires et le potentiel énergétique selon les scénarios.

On considère un incinérateur-type de 12 tonnes/heure traitant 100 000 tonnes de déchets par an. Nous faisons l'hypothèse que cet incinérateur a une technologie adaptée au PCI des déchets incinérés en 2002, entre 2700 et 2900 kWh/tonne selon les scénarios.

Plus de 210 fours de 12 t/h sont nécessaires en 2002 pour traiter les 22 millions de tonnes de déchets supplémentaires.

Ces fours n'acceptant qu'une charge thermique limitée, la hausse du PCI moyen des déchets entre 2002 et 2020 doit être compensée par une baisse des tonnages traités. Cela se produit pratiquement dans le scénario 2 puisque 223 fours sont nécessaires en 2002 et 216 en 2020 pour incinérer près de 18 Mt de déchets avec une PCI de 3640 kWh/tonne. Dans le scénario 1, 218 fours sont nécessaires contre seulement 182 en 2020, soit une surcapacité de 17%. Si on limite les investisse-

		OM	DIB	IAA	Total	
2002	Tonnage traité	kt	14799	7657	182	22637
	Contenu énergétique	ktep	2967	2265	56	5288
	Energie primaire	ktep	1287	957	54	2298
	Energie finale	GWh	7803	5683	238	13723
	PCI	kWh/tonne	2330	3430	3550	2710
	Nombre d'incinérateurs					218
2020	Tonnage traité	kt	10041	5681	650	16372
	Contenu énergétique	ktep	2494	1748	199	4441
	Energie primaire	ktep	1326	884	135	2345
	Energie finale	GWh	9733	6335	594	16663
	PCI	kWh/tonne	2880	3570	3550	3147
	Nombre d'incinérateurs					182



Incinération, scénario 1 pour les OM

Incinération, scénario 2 pour les OM



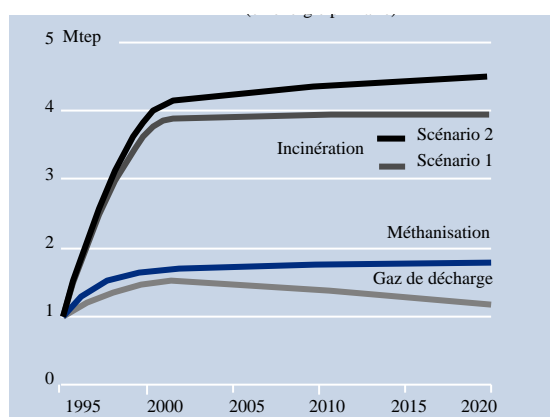
		OM	DIB	IAA	Total	
2002	Tonnage traité	kt	15390	7657	182	23228
	Contenu énergétique	ktep	3438	2265	56	5759
	Energie primaire	ktep	1476	957	54	2487
	Energie finale	GWh	8876	5683	238	14796
	PCI	kWh/tonne	2590	3430	3550	2880
	Nombre d'incinérateurs					223
2020	Tonnage traité	kt	11211	5681	650	17849
	Contenu énergétique	ktep	3655	1748	199	5601
	Energie primaire	ktep	2181	884	135	2856
	Energie finale	GWh	14678	6335	594	20065
	PCI	kWh/tonne	3781	3570	3550	3640
	Nombre d'incinérateurs					216

ments aux besoins de l'année 2020, il faudrait permettre la mise en décharge contrôlée de près de 4 millions de tonnes de déchets l'année 2002, soit 40 millions de tonnes cumulées sur la période 1995-2020.

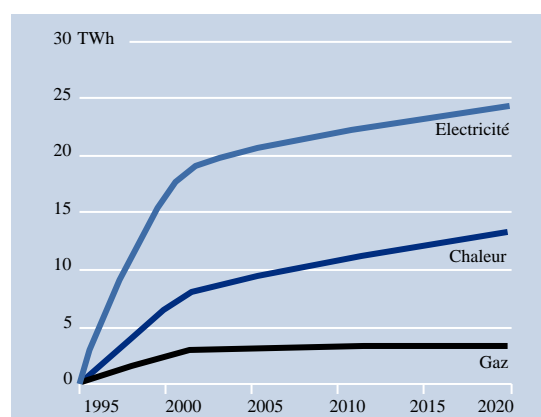
Dans le scénario 2b¹³, seulement 192 fours seront nécessaires en 2020 contre 218 en 2002. 2,6 millions de tonnes de déchets devraient être mis en décharge en 2002 pour éviter cette surcapacité.

Dans le scénario 1b¹³, près de 25% des investissements réalisés pour 2002 seront inutilisés en 2020.

En ce qui concerne les installations de méthanisation, plus de 10 millions de tonnes de déchets peuvent être traités en 2020. Si on considère un digesteur-type traitant 50 000 tonnes par an, plus de 60 installations sont nécessaires dès 2002 et 200 environ en 2020, soit en moyenne deux par département.



▲ **Potentiel énergétique issu du traitement des déchets (en énergie primaire)**



▲ **Potentiel énergétique supplémentaire issu du traitement des déchets selon les formes d'énergie (en énergie finale)**

Méthanisation, scénario 1 pour les OM



		OM	DIB	IAA	Total	
	Tonnage traité	kt	749	207	2171	3135
	Contenu énergétique	ktep	76	20	158	255
2002	Energie primaire	ktep	61	16	127	205
	Energie finale	GWh	451	122	941	1521
	Nombre digesteurs					62
	Tonnage traité	kt	1852	522	7755	10129
	Contenu énergétique	ktep	188	50	397	635
2020	Energie primaire	ktep	152	40	318	509
	Energie finale	GWh	1123	300	2353	3776
	Nombre digesteurs					202

Potentiel énergétique issu du traitement des déchets

En 2002, 3,7 Mtep peuvent être récupérés par l'incinération et la méthanisation des déchets selon le scénario 2 et 4,4 Mtep en 2020 (y compris le Mtep produit aujourd'hui). Dans le scénario 1, le potentiel est de 3,6 Mtep en 2002 et 3,8 Mtep en 2020.

A cela s'ajoute le potentiel issu des décharges, de 0,5 Mtep en 2002 et 0,15 Mtep en 2020. Ainsi, entre 4 et 5 Mtep d'énergie pourraient être produits par le traitement des déchets, soit environ 2% de la consommation d'énergie primaire en France.

En plus des 8 TWh produits actuellement par les usines d'incinération, près de 25 TWh supplémentaires seraient produits en 2020. L'énergie produite est essentiellement de l'électricité. A partir de 2002, de l'ordre de 11 TWh d'électricité seraient produits par an, dont près de 10 TWh par des usines d'inciné-

ration. La part de la chaleur augmente fortement du fait de la substitution d'énergie à des énergies fossiles dans les réseaux existants, et la construction de nouveaux réseaux de chaleur.

Potentiel énergétique global

Sur la période 1995-2020, 55 à 64 Mtep d'énergie peuvent être produits grâce à l'incinération des déchets selon les scénarios réalisés, soit en moyenne 2 à 2,5 Mtep par an pendant 25 ans.

En ce qui concerne la méthanisation des déchets et le captage du gaz de décharge, 15 Mtep peuvent être produits dont 7 par les décharges. Cela représenterait 20% de l'énergie totale produite sur la période.

Potentiel énergétique issu de l'incinération cumulé sur 25 ans

			OM	DIB	IAA	Total
Scénario 1	Energie primaire	Mtep	28	20	2	50
pour les OM	Energie finale	TWh	185	128	8	321
Scénario 2	Energie primaire	Mtep	35	20	2	57
pour les OM	Energie finale	TWh	229	128	8	365

Potentiel énergétique issu de la méthanisation des déchets et du captage du gaz de décharge cumulé sur 25 ans

		OM*	DIB	IAA	STEP	Décharges	Total
Energie primaire	Mtep	2,1	0,6	4,5	0,7	7,4	15
Energie finale	TWh	16	4	33	7	47	107

* résultats quasiment identiques pour les deux scénarios d'OM

Conclusion

Les principaux éléments à retenir sont les suivants :

► A l'horizon 2020, 4 à 5 Mtep peuvent être produits chaque année en moyenne, selon les scénarios, par le traitement des déchets avec récupération d'énergie et le captage du gaz de décharge.

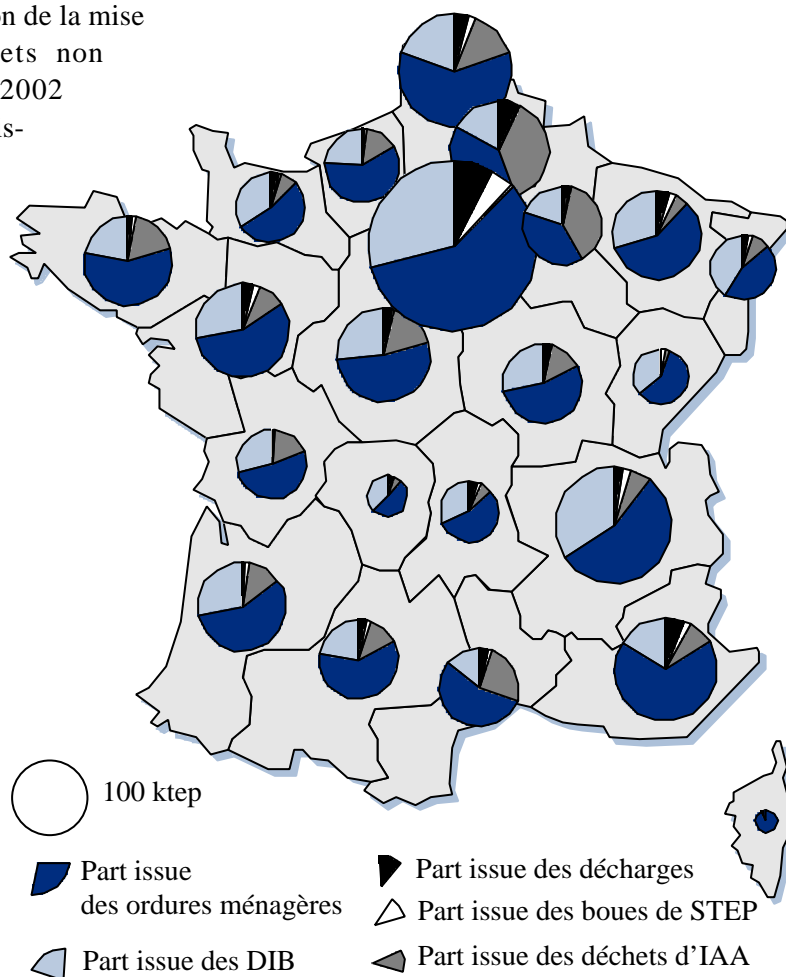
► La mise en application de la réglementation sur l'interdiction de la mise en décharge des déchets non ultimes à partir de 2002 implique de lourds investissements notamment en terme de capacités d'incinération. De 8 Mt de déchets incinérés en 1990, dont 6 Mt avec récupération d'énergie, les besoins passeraient à 27 ou 28 Mt à incinérer et 3 Mt à méthaniser en 2002.

► Grâce au développement simultané d'une politique de collecte sélective des déchets, les capacités d'incinération nécessaires se stabiliseraient au delà de 2002, pendant que le nombre d'installations de méthanisa-

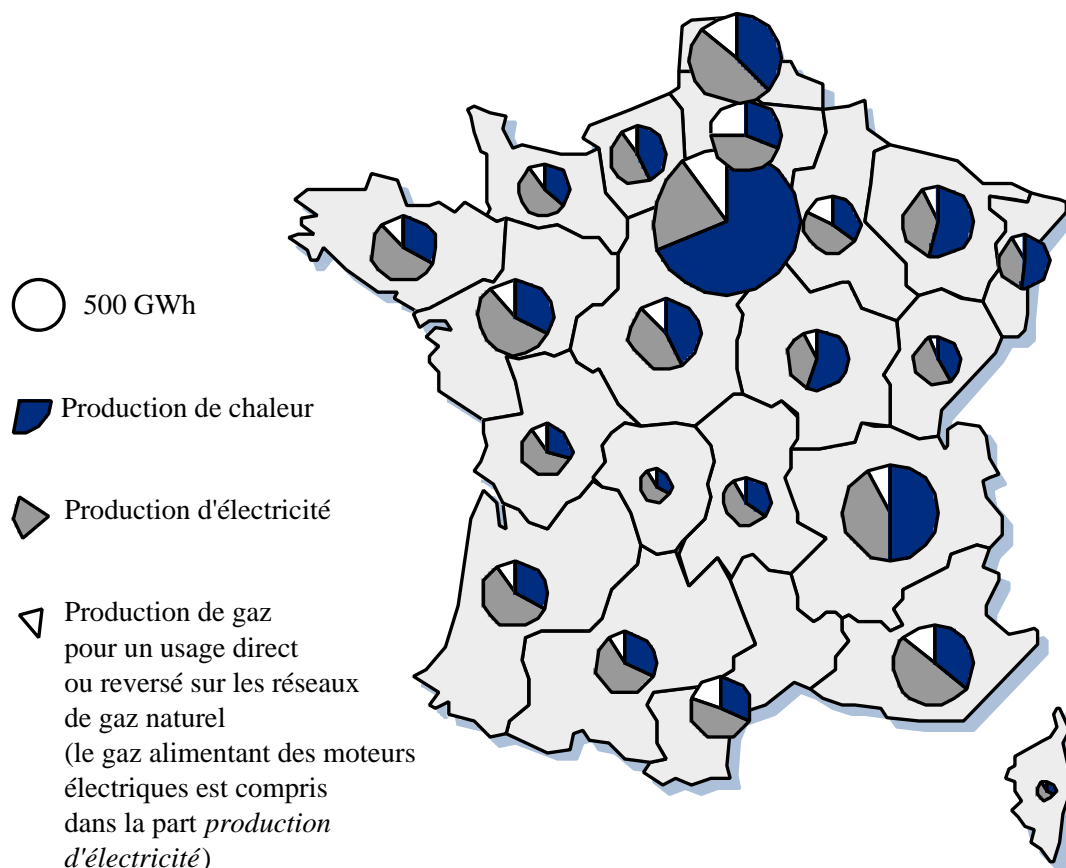
tion ou de compost, et de recyclage, continuerait de croître.

► Afin d'éviter des besoins toujours croissants en terme d'installations de traitement des déchets, une politique d'incitation à la

Potentiel d'énergie supplémentaire en 2020 selon les formes d'énergie (énergie primaire) ▼



Potentiel d'énergie supplémentaire en 2020 selon les formes d'énergie (énergie finale) ▼



limitation de la production des déchets en amont et au développement important de collectes sélectives, est nécessaire. Cela pourrait néanmoins entraîner, dans le cadre de la réglementation sur l'interdiction de la mise en décharge, un surdimensionnement des capacités d'incinération pour répondre aux besoins en 2002 par rapport aux années suivantes. Il serait alors probablement préférable d'autoriser temporairement la mise en

décharge contrôlée d'une fraction des déchets (de l'ordre de 10 à 20%), le temps que la mise en place de collectes sélectives se généralise.

Les coûts des différents modes de traitement choisis et leur combinaison sont présentés dans la seconde partie de cette étude.

Notes

- (1) Pour l'ensemble de l'étude, les données de référence sont celles de l'Inventaire des usines de traitement d'ordures ménagères de 1990 (ITOM 5), l'ITOM 6 n'étant pas encore disponible.
- (2) Le PCI moyen tient compte des taux de tri de chaque fraction des OM appliqués à chaque scénario.
- (3) Les incinérateurs sont essentiellement utilisés pour les ordures ménagères et pour les déchets industriels banals. Sur les quantités devant être incinérées, environ 2/3 vont provenir des OM et 1/3 des DIB. La substitution de charbon et de fuel lourd se fait donc aux deux tiers par de l'énergie provenant des OM, soit 2/3 de 40%.
- (4) L'auto-consommation d'électricité de l'installation est prise en compte dans le rendement global de l'installation, ainsi que dans le rapport électricité/chaaleur. Elle est évaluée à 80 kWh par tonne d'OM traitée.
- (5) L'auto-consommation d'électricité est également prise en compte.
- (6) L'auto-consommation d'électricité est prise en compte dans ces trois derniers rendements (45 kWh par tonne méthanisée)
- (7) Consommation en 1993 : 31,2 Mtep
- (8) sauf les déchets assimilables aux OM (emballages...)
- (9) *"Le bois-énergie en France, évaluation prospective du potentiel mobilisable à l'horizon 2015 et ses conséquences sur l'environnement"*, Les Cahiers du CLIP n°3, Octobre 1994.
- (10) Se référer à l'analyse économique, page 62
- (11) EH = Equivalent-Habitant, unité de mesure de la pollution urbaine
- (12) MSV = matières sèches volatiles, mesure de la fraction biodégradable des boues
- (13) Avec renforcement du tri des plastiques et des papier-cartons de 10% supplémentaires

Analyse économique

Analyse technico-économique de la valorisation des déchets

L'incinération avec récupération d'énergie

Coût global de l'incinération avec récupération d'énergie

L'incinération avec récupération d'énergie étant le mode de traitement le plus développé, c'est à son sujet que les informations sont les plus nombreuses. Toutefois, les conditions réelles de l'incinération sont très variables selon la taille, l'âge de l'installation, le mode de gestion, le système de traitement des fumées, le coût de la mise en décharge de classe 1 (déchets spéciaux) pour l'exploitant, etc...

Nous présentons dans ce qui suit la décomposition des coûts d'investissement et d'exploitation d'après 6 cas types¹⁴ : deux cas sans récupération d'énergie, quatre avec (dont trois en électricité seule et un en valorisation thermique). Les coûts à la tonne traitée font apparaître la charge totale pour la collectivité

en incluant les frais financiers et l'amortissement annuel.

Les coûts d'investissement

Les principaux postes d'investissement sont :

- Voirie, génie civil et construction des bâtiments,
- Systèmes de combustion,
- Systèmes de récupération d'énergie,
- Systèmes de traitement des fumées.

Dépenses de voirie, de génie civil et de construction des bâtiments

Les dépenses les plus importantes dans le coût total d'investissement sont celles de voirie, de génie civil et de construction des bâtiments.

Elles représentent entre 20 et 30% du coût total. Pour des usines d'incinération de 5 à 20 t/h, le coût varie de 4 MF à 3,5 MF par tonne/heure. L'élasticité des dépenses de voirie par rapport à la taille est de 2/3 jusqu'à une capacité de 15 t/h.

L'effet taille s'atténue au-delà d'une capacité de 10 tonnes/heure et devient quasiment nul au delà de 15 tonnes/heure (soit un four d'environ 100 000 tonnes de capacité annuelle). En effet, les contraintes de site s'accroissent plus que proportionnellement à la taille des installations (zone urbaine où l'espace est plus cher et les contraintes architecturales plus fortes,...).

Les systèmes de combustion

Le second poste le plus coûteux, et qui dépend directement de la capacité des installations, est celui des systèmes de combustion (fours) et de récupération des mâchefers. L'économie d'échelle est faible sur ce poste. Pour des usines de 5 à 20 t/h, le coût est autour de 1,9 à 2 MF par tonne/heure.

Jusqu'à une taille moyenne comprise entre 10 et 15 tonnes/heure, l'agrandissement des UIOM se fait habituellement par l'accroissement de la capacité des fours. Au delà de cette taille, l'accroissement des capacités de traitement se fait par l'adjonction d'un ou de plusieurs fours, ceci en raison de l'absence d'économies d'échelle sur cette partie de l'investissement.

Les systèmes de récupération d'énergie

Trois choix sont possibles : valorisation électrique, valorisation thermique ou cogénération. Les systèmes de récupération d'énergie représentent entre 15 et 20 % du coût d'invest-

tissement total. Ce coût se décompose en coût des chaudières, des aérocondenseurs, de la tuyauterie. Dans le cas de la production d'électricité, il faut y ajouter le coût du turboalternateur et dans celui de la production de vapeur celui du raccordement au réseau de chaleur. Les économies d'échelle existent jusqu'à une taille de 15 tonnes/heure. Au delà les coûts se stabilisent aux alentours de 2 MF/t/h.

Les systèmes de traitement des fumées

L'exigence d'une dépollution plus poussée induit des surcoûts d'une double nature :

- Un surcoût au niveau de l'usine d'incinération. Il résulte d'un nouveau dimensionnement des fours mais surtout de l'adjonction d'équipements de déchloration et d'un dépoussiérage renforcé des gaz de combustion. Les dépenses de fonctionnement sont en outre majorées des consommables.
- Un surcoût résultant de la séparation des REFIO (résidus d'épuration des fumées) et des mâchefers, ces derniers nécessitant un stockage en centre d'enfouissement technique de classe 1.

Le poste *traitement des fumées* représente entre 15 et 20% du coût d'investissement total. Pour des usines de 5 à 20 t/h, le coût varie de 3,2 à 2,7 MF par t/h.

Le renforcement des réglementations a des conséquences sur le coût du traitement des ordures ménagères. La réglementation française, basée sur la date d'autorisation d'exploitation des incinérateurs et la taille de l'installation, induit des distorsions au niveau économique qui rendent difficile l'établissement d'une relation entre la taille de l'incinérateur et le coût d'investissement des systèmes de traitement des fumées.

Par exemple, un incinérateur de 1 t/h dont

l'autorisation d'exploitation date de 1989 pourra émettre 600 mg/Nm³ de poussières tandis qu'un incinérateur de 3 t/h, dont l'autorisation d'exploitation date de 1991 ne pourra en émettre que 30 mg/Nm³.

Coût total moyen d'investissement

Pour une capacité de 10 à 20 t/h, le coût d'investissement est de l'ordre de 15 MF/t/h avec la répartition approximative suivante :

- génie civil : 20-25%
- stockage, alimentation : 10%
- combustion : 15-20%
- système de récupération d'énergie : 15-20%
- système de traitement des fumées : 20-25%
- divers : 10%

La courbe de coût d'investissement peut être décomposée en deux parties :

- D'une capacité de 0 à 15 t/h, les coûts d'investissement sont fortement décroissants en raison de l'importance des coûts fixes.
- Après 15 t/h, les coûts d'investissement se stabilisent. Il n'y a donc pas d'économie d'échelle sur les installations de grosse taille. En effet, plus la taille est importante, plus certaines contraintes sont fortes. Au niveau du traitement des fumées, l'augmentation de la taille implique de meilleurs systèmes de dépollution, donc plus onéreux. Au niveau des dépenses de voirie, l'augmentation de la taille induit une plus grande prise en compte des critères architecturaux et d'intégration dans le paysage.

Pour une usine d'incinération de 10 t/h, l'amortissement de l'investissement (15 MF par t/h) sur 20 ans à un taux d'actualisation de 8% s'élève à 220 F par tonne.

Les coûts d'exploitation

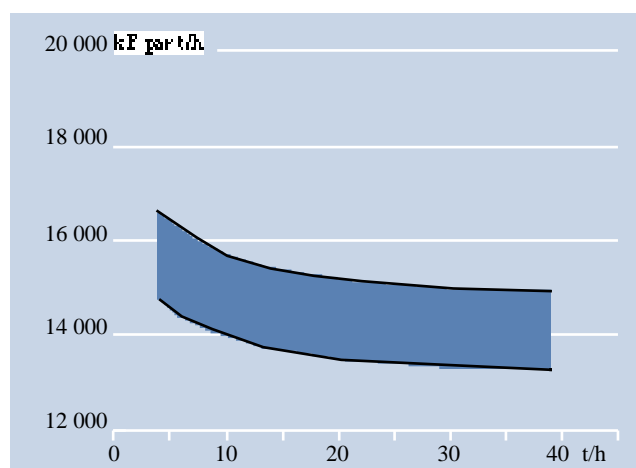
Les coûts d'exploitation sont difficilement appréhendables dans la mesure où ils recouvrent des réalités très différentes selon les incinérateurs. En effet, les deux postes les plus importants, la main d'oeuvre et le traitement des mâchefers et des REFIOM, varient fortement selon les cas :

- Le nombre d'employés varie selon le statut juridique de l'incinérateur. Une UIOM gérée en régie directe emploie souvent plus de main d'oeuvre qu'une exploitation en concession ou gestion déléguée.
- Les dépenses de mise en décharge des mâchefers dépendent des quantités produites et donc des fours utilisés.

Les coûts d'exploitation représentent entre 30% et 50% du coût total de traitement des ordures. On distingue les coûts d'exploitation fixes et les coûts d'exploitation variables.

Les coûts fixes sont composés des coûts en personnel, des abonnements au réseau E.D.F., des assurances, des frais administratifs. Ils sont indépendants du tonnage d'ordures traitées.

Coût d'investissement d'une usine d'incinération



tées et, dans une certaine mesure de la taille de l'installation. C'est pourquoi le poids relatif des coûts fixes est plus important dans les installations de petite taille que dans celles de grande taille.

Les coûts variables représentent quant à eux les coûts dépendant de la quantité de déchets produits : personnel supplémentaire, consommation d'énergie, quantités de mâchefers à mettre en décharge.

Les coûts de mise en décharge varient en fonction du type de décharge : ils sont approximativement de 220 F/t pour une décharge de classe 2 (qui accueille les OM et les DIB) et de 1200 francs pour une décharge de classe 1 (qui accueille les déchets industriels spéciaux)¹⁵. En outre, la loi du 13 juillet 1992 prévoyant l'interdiction de la mise en décharge directe en 2002, ce coût augmentera dans les années à venir, renchérissant donc également les coûts d'exploitation variables des unités d'incinération. Les mâchefers et les REFIOM seront stockés à des coûts plus élevés.

A ces coûts doivent toutefois être retranchés les gains que l'UIOM réalise en s'acquittant d'une taxe sur l'émission de polluants moins élevée lorsqu'elle respecte les normes les plus strictes : une usine ancienne, avant mise aux normes, doit payer en moyenne 1,425 franc/tonne incinérée tandis qu'une usine aux normes paye 0,342 franc/tonne incinérée¹⁶.

Ainsi, si pour des installations de même taille, l'investissement requis par le système de traitement des fumées par voie sèche est moins élevé que celui par voie humide, les dépenses d'exploitation et celles d'enfouissement des résidus sont, elles, beaucoup plus élevées et rendent le premier système plus onéreux. Dans ce cas également, on ne peut s'attendre à un effet de taille significatif, chaque four devant être équipé de systèmes de traitement des fumées.

Les coûts d'exploitation sont compris entre 175 et 200 francs/tonne, auquel s'ajoute la mise en décharge des REFIOM (60 F/tonne d'OM environ) et des mâchefers (de 20 à 60 F / tonne d'OM selon la part mise en décharge). Les coûts d'exploitation seraient alors de 250 à 320 F par tonne de déchets incinérés.

Les recettes d'exploitation

Les données présentées ici sont issues de la dernière enquête réalisée par Amorce¹⁶ concernant les UIOM.

Prix de vente de la chaleur

La quantité vendue dépend des besoins de l'acheteur : un réseau qui ne dessert que des logements valorise moins de chaleur qu'un réseau qui dessert des industries ou des hôpitaux gros consommateurs d'énergie en été. Le taux de valorisation de la chaleur produite est donc le paramètre essentiel de l'équilibre économique de la récupération de chaleur.

Le prix de vente du kWh est négocié selon les conditions d'enlèvement et le prix de l'énergie substituée. Il est aussi le résultat d'un arbitrage politique.

Actuellement, le prix du MWh sortie usine varie de 50 à 210 F HT. La recette de chaleur par tonne d'ordures incinérée varie de 40 à 200 F, avec une moyenne de 85 F.

Prix de vente de l'électricité

L'électricité produite par l'usine d'incinération peut être autoconsommée (90 kWh par tonne incinérée). L'économie sur la facture d'achat à EDF est de l'ordre de 30 à 40 cts par kWh.

L'usine peut également alimenter en électricité des bâtiments lui appartenant, par une ligne privée ou en passant par le réseau EDF (moyennant une indemnité).

Enfin, l'électricité peut être revendue à EDF. Dans le cas d'électricité produite à partir d'usines de traitement des déchets ou d'installations en cogénération, EDF a l'obligation de racheter cette électricité. Les tarifs d'achat sont déterminés par EDF en tenant compte de deux facteurs :

- les coûts de combustibles qu'elle n'a pas à engager pour produire l'électricité fournie par les producteurs autonomes,
- les coûts d'investissement qu'elle évite grâce au fait qu'une puissance supplémentaire est installée.

Les tarifs d'achat se décomposent en deux parties :

- une prime fixe pour chaque kW installé par le producteur autonome correspondant à

l'investissement évité. Cependant, pour qu'un investissement soit réellement évité il faut que EDF soit assuré de la pérennité de cette puissance. C'est pourquoi des pénalités très importantes sont perçues en cas de défaillance d'un producteur autonome.

- une indemnité forfaitaire pour chaque kWh livré au réseau, selon les jours et les heures. Les recettes moyennes constatées sont de 20 à 23 cts/kWh sans puissance garantie et de 24 à 28 cts/kWh avec puissance garantie. La recette par tonne incinérée est de 70 à 100 F HT.

Coût global de l'incinération avec récupération d'énergie

Amortissement	220 F/t
Exploitation	250 à 320 F/t
Total	470 à 540 F/t
Recettes de la vente d'énergie	-90 F/t

Coût marginal de la production de vapeur

Bénéfices liés à la vente de chaleur

	5 t/h		8 t/h		16 t/h	
	12 MW	50 GWhe	18 MW	80 GWhe	36 MW	160 GWhe
Investissement	<i>kF</i>	<i>cts/kWh</i>	<i>kF</i>	<i>cts/kWh</i>	<i>kF</i>	<i>cts/kWh</i>
Production (1)	16000	-	26000	-	44000	-
Réseau vapeur (4 km)	20000	-	21500	-	25000	-
Refroidissement évité	-3000	-	-4600	-	-6000	-
Traitement des fumées évité	-3800	-	-6000	-	-10000	-
Solde investissement	29200	5,9	36900	4,7	53000	3,4
Exploitation (2)	720	1,4	950	1,2	1380	0,9
Coût de production	3694	7,4	4708	5,9	6778	4
Recettes	-	10,4	-	10,4	-	10,4

(1) Les investissements de production d'énergie comprennent les postes de récupération d'énergie (chaudière + périphériques) et de production à proprement dit (détendeur, surchauffeur)

(2) Coûts d'exploitation : 2 % du montant total de l'investissement

Capacité horaire	5 t/h	8 t/h	16 t/h
Tonnes incinérées par an	35000 tonnes	56000 tonnes	112000 tonnes
Bénéfices de la vente de chaleur	3 cts/kWh	4,5 cts/kWh	6,4 cts/kWh
Bénéfices par tonne incinérée	43 F/tonne	64 F/tonne	92 F/tonne

Le coût marginal de la production d'énergie

Fautes de données sur la cogénération, nous n'aborderons que la production d'électricité seule et la production de chaleur seule¹⁷.

La production de chaleur

Les investissements nécessaires sont une chaudière, un détendeur, un surchauffeur, un dispositif de comptage, le raccordement au réseau de chaleur. Les rendements globaux moyens sont de l'ordre de 65%. Ils sont plus faibles lorsque le fluide caloporteur utilisé est de l'eau surchauffée puisqu'il est nécessaire d'installer un échangeur vapeur/eau.

Les coûts sont plus faibles dans le cas de l'utilisation de la vapeur que dans celui de l'eau surchauffée puisque les rendements sont plus élevés et les coûts d'investissement plus faibles. (Voir tableaux page précédente)

La production d'électricité

Les équipements de production d'électricité par des UIOM se composent d'une chaudière, d'une turbine, d'un alternateur, et du raccordement au réseau EDF. L'incinération d'une tonne d'ordures ménagères permet la vente de 350 à 420 kWh électriques.

L'analyse du coût marginal de production d'énergie montre qu'il s'agit d'une activité économiquement viable, notamment pour les plus grosses installations.

La valorisation énergétique ne peut en aucun cas faire de l'incinération une opération à coût nul. La valorisation électrique est le mode de valorisation qui rapporte les recettes les plus faibles : le rendement global est de l'ordre de 20 à 25% pour la production d'électricité contre une valorisation en moyenne de 65% pour la chaleur.

Coût marginal de la production d'électricité ▼ Bénéfices liés à la vente d'électricité ▼▼

Capacité horaire	5 t/h		8 t/h		16 t/h	
Puissance installée	2 MW		3.2 MW		6.5 MW	
Production d'énergie	14 GWhe		22 GWhe		45 GWhe	
Investissement	<i>kF</i>	<i>cts/kWh</i>	<i>kF</i>	<i>cts/kWh</i>	<i>kF</i>	<i>cts/kWh</i>
Production d'énergie	19000	-	26000	-	36000	-
Récupération	10000	-	18000	-	32000	-
Refroidissement évité	-3000	-	-4600	-	-6000	-
Traitement des fumées évité	-3800	-	-6000	-	-10000	-
Solde investissement	22200	16,2	33400	15,5	52000	11,8
Exploitation (1)	1160	8,3	1760	8,0	2720	6,0
Coût de production	3421	24,5	5162	23,5	8016	18
Recettes (2)	-	27	-	27	-	27

(1) Coût annuel d'exploitation : 4 % du montant total de l'investissement

(2) Moyenne pondérée entre l'achat d'électricité évité à 35 cts/kWh et la vente d'électricité à 25 cts/kWh

Capacité horaire	5 t/h	8 t/h	16 t/h
Tonnes incinérées par an	35000 tonnes	56000 tonnes	112000 tonnes
Bénéfices de la vente d'électricité	2,5 cts/kWh	3,5 cts/kWh	9 cts/kWh
Bénéfices par tonne incinérée	10 F/tonne	14 F/tonne	36 F/tonne

Perspectives d'évolution des coûts d'incinération

Le durcissement des réglementations en matière de traitement des fumées et de stockage des résidus de l'incinération (mâche-fers et REFIOM) aura pour conséquence le renchérissement des coûts. La quantification de cette augmentation est toutefois délicate. Elle a été estimée à l'aide de différentes sources¹⁸ (voir tableau ci dessus).

Une nouvelle directive européenne sur l'incinération pourrait imposer de traiter les dioxines et les oxydes d'azote. Les coûts d'exploitation atteindraient ainsi 300 F/t.

Le coût de gestion des mâche-fers varie selon leur destination (valorisation ou mise en décharge). Dans l'hypothèse où le coût de mise en décharge classe 2 évolue à 400 F par tonne enfouie, le coût de stockage des mâche-fers serait de 120 F/tonne d'ordures.

Concernant la gestion des REFIOM, la stabilisation peut atteindre 2000 F/tonne (soit 100 F par tonne d'OM), et le stockage 1000 F/tonne (soit 50 F par tonne d'OM).

A l'avenir, le coût de la tonne incinérée pourrait alors atteindre 800 F.

Conclusion sur l'incinération

Actuellement, le coût de l'incinération (hors recettes) oscille entre 450 et 550 francs/tonne de déchets traités selon les matériels utilisés, la capacité des installations et le facteur de charge, le mode de valorisation retenu. L'effet taille est important jusqu'à une capacité de 15 t/h. Après ce seuil, il est considérablement

	Coûts des installations existantes	Coûts des projets à court-moyen terme
Investissement	220	220-290
Exploitation	175-200	190-310
Gestion des mâche-fers	20-70	50-120
Gestion des REFIOM	50-80	80-150
Total dépenses	465-570	540-870
Recettes	90	70-90
Coût global de fonctionnement	375-480	450-800

Estimation des coûts d'incinération d'unités à venir (en francs par tonne)

réduit par l'augmentation des contraintes de site et de traitement des fumées.

L'incinération avec récupération d'énergie est donc un mode de traitement très capitalistique et peu flexible. Il nécessite une bonne maîtrise des techniques, un approvisionnement régulier sur l'année et une composition constante des déchets.

L'examen des coûts d'investissement et d'exploitation des UIOM plaide pour une gestion globale du problème des déchets à l'échelle de la commune ou du département. En effet, le dimensionnement des unités d'incinération dépend de la prévision de croissance de la quantité de déchets produites par la commune. Si l'on prévoit une croissance de 2% par an de la quantité de déchets et une durée de vie de 20 ans de l'installation, alors on doit surdimensionner l'investissement de 48% par rapport aux besoins initiaux ! Les coûts d'investissement à la tonne augmentent donc du fait de la volonté de gestion à long terme des déchets. C'est pourquoi il est utile de rechercher des solutions moins capitalistiques et plus souples. Un compromis doit être trouvé entre le dimensionnement des unités pour assurer la gestion à long terme et la minimisation des coûts à court terme pour la collectivité.

Le choix des technologies doit prendre en compte non seulement le rendement thermique du four mais également la quantité de mâche-fers et de REFIOM qu'il produit. Ainsi, choisir un four et un système de traitement des fumées dont les coûts d'investissement sont élevés mais les quantités de résidus à stocker sont faibles, peut s'avérer un choix pertinent à long terme. Ici, le simple calcul du coût de l'incinération à la tonne n'est pas suffisant. Il faut raisonner en coût global à la

tonne de déchets traitée.

Le même raisonnement doit s'appliquer au choix du mode de valorisation dont nous avons vu que les coûts d'investissement et d'exploitation varient peu d'un mode de valorisation à l'autre. Le choix dépend alors de l'environnement de l'incinérateur : l'existence d'un réseau de chaleur ou d'entreprises consommatrices de vapeur plaide en faveur de la valorisation thermique.

La méthanisation des déchets ménagers

La méthanisation centralisée des déchets est un mode de traitement très peu développé en France. De ce fait, les données économiques sont partielles et ne correspondent pas à des prix de marché. Ils sont différents dans chaque cas et dépendent de nombreux paramètres. Les chiffres annoncés ci-dessous sont donc indicatifs.

tion centralisée industrielle pour les déchets ménagers en France. Par ailleurs, de nombreuses industries (dans les secteurs agro-alimentaires, papetiers, etc...) méthanisent déjà leurs déchets organiques.

La société Valorga exploite à ce jour deux usines, l'une à Amiens, l'autre à Tilburg aux Pays-Bas.

Le procédé de méthanisation

Le procédé développé par la société Valorga constitue la seule expérience de méthanisa-

Aspects techniques

Le procédé Valorga se caractérise par la fermentation en continu et à forte concentration en matières sèches. Il permet d'obtenir un taux de dégradation élevé pour des temps de séjour courts. Cela se traduit par une production de gaz importante et une réduction du volume du fermenteur.

Les usines Valorga

	Amiens	Tilburg
Date de mise en service	1988	1994
Capacité	55000 tonnes/an	52000 tonnes/an
Forme de valorisation	vapeur	alimentation du réseau de gaz
Coût de traitement/tonne	450 F	318 F

Le méthane issu de la fermentation des déchets organiques contient 60 à 65% de méthane, 35 à 40% de dioxyde de carbone, 20 à 4000 ppm d'hydrogène sulfuré. Le pouvoir calorifique supérieur est de 6,5 à 7 kWh/Nm³. Il peut être utilisé en l'état dans une chaudière, un four, un moteur ou une turbine et permettre la production d'électricité.

L'affinât est un amendement organique qui peut être valorisé. Cependant se pose le problème de la qualité de cet amendement organique. Sans tri préalable des déchets, il a un prix nul (du fait de la présence de plastique, d'antibiotiques, etc...). Il faudrait donc développer la collecte sélective en amont afin d'obtenir un amendement de haute qualité.

Analyse économique

Le nombre d'expériences étant limité, il est difficile, de déterminer des coûts de traitement génériques à propos de la méthanisation par le procédé Valorga. Cependant, la société avance des coûts de traitement détaillés, prenant en compte à la fois les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation sur la base d'une unité de 25.000 tonnes.

Sur la base de ces hypothèses, les coûts comparables de la méthanisation sont les suivants :

Amortissement :	141 francs/tonne
Exploitation :	231 francs/tonne
Recettes d'exploitation :	- 40 francs/tonne
Coût total de traitement :	332 francs/tonne

Taille de l'unité	25.000 t/an
Montant total de l'investissement	38 M.F.
Déchets utilisés	Déchets ménagers fermentescibles triés à la source
Taux de refus des déchets	15 %
Traitement des refus	50 % en décharge à 220 Frs/t 50 % en incinération à 450 Frs/t
Valorisation	Electrique
Recettes liées à la vente d'électricité	21 cts/kWh
Recettes liées à la vente de compost	0
Nombre de personnes employées	6

Hypothèses de calcul du coût de la méthanisation des déchets par le procédé Valorga
(source : Valorga) ▲

D'après Valorga, l'effet d'échelle est non négligeable puisque le coût de traitement pour une unité de 70 000 t/an serait de 280 F/tonne. La taille optimale d'une usine de méthanisation des déchets est, selon le constructeur, comprise entre 50 et 60 000 t/an.

Remarquons que les coûts de traitement de la ville d'Amiens sont supérieurs au coût prévisionnel en raison de l'absence de collecte sélective en amont ce qui entraîne un taux de refus plus important.

Ces chiffres appellent quelques remarques :

- Les coûts affichés par Valorga correspondent au coût complet du traitement d'une tonne d'ordure ménagère dont 85% seulement sera méthanisée. Ce coût intègre l'incinération de 50% des refus de tri (coût : 450 francs/tonne) et la mise en décharge des 50% restants (coût : 220 francs/tonne). La méthanisation n'évite donc pas soit la mise en décharge soit l'incinération. Cette seconde éventualité implique alors des coûts d'investissements supplémentaires. C'est là la première limite de la méthanisation des déchets ménagers : elle doit s'intégrer dans une politique globale de gestion des déchets

intégrant plusieurs modes de traitement.

- Les coûts de traitement se répartissent en coût d'investissement pour 38% et en coût d'exploitation pour 62%. La première différence entre l'incinération et la méthanisation centralisée est donc la plus faible intensité capitalistique du second mode de traitement. L'importance des coûts d'exploitation est due à celle des coûts d'inertage des 15% de refus de méthanisation et notamment du coût d'incinération. Ainsi, la mise en décharge de la totalité des déchets entraîne une diminution du coût d'exploitation de 11,7%.
- Dans les hypothèses retenues par Valorga, il est pris en compte un prix nul de rachat de l'amendement organique. Cela est dû au fait qu'il n'y a qu'un tri sommaire avant la méthanisation des déchets. Le compost obtenu n'est pas de bonne qualité et peut donc difficilement être valorisé. L'obtention d'un amendement de qualité, valorisable à un prix d'environ 50 Frs/tonne est possible si une collecte sélective des fermentescibles est mise en place.
- Le coût de la collecte sélective est difficile à appréhender en raison de l'absence d'une comptabilité analytique permettant une

décomposition fine des coûts. Toutefois, il apparaît que les surcoûts de la collecte sélective dépendent beaucoup des conditions de la collecte classique, c'est à dire de la nécessité, ou non, d'investir dans du matériel de collecte supplémentaire. En milieu urbain, où les collectes sont quotidiennes, la mise en place d'une collecte sélective ne pose pas de problème dans la mesure où le matériel existe. Le seul problème est l'organisation de cette collecte. Par contre, dans les zones rurales, la mise en place de la collecte sélective nécessite l'achat de nouveaux camions de ramassage afin d'augmenter le rythme des collectes.

Perspectives d'évolution des coûts

Compte-tenu de l'amortissement progressif des coûts de recherche-développement et d'ingénierie avec le développement de la filière, la tendance en Europe est à la réduction des coûts. (Voir tableau ci-dessous)

La valorisation énergétique du biogaz

L'analyse économique réalisée ici s'applique à la fois aux installations de méthanisation des déchets (digesteurs) et à la valorisation du gaz de décharge. Les sources proviennent des travaux de Solagro.

Plusieurs modes de valorisation du biogaz sont possibles : production de chaleur ou d'électricité et production de gaz pour un usage direct en industrie ou pour l'injecter dans les réseaux de gaz naturel. Pour référence, une installation de méthanisation traitant 50 000 tonnes de déchets fermentescibles par an, a une capacité de production de l'ordre de 6 MW thermiques ou de 2 MW électriques (pour un fonctionnement de 7500 h par an).

Estimation de l'évolution des coûts de la méthanisation (source : Solagro)

F/t	Coûts actuels		Coûts futurs	
	mini	maxi	mini	maxi
Amortissement	127	141	114	127
Exploitation	163	181	147	163
Résidus en décharge	8	23	11	30
résidus incinérés	16	45	21	60
Total	313	390	292	380
Recettes compost	-36	0	-36	0
Recettes gaz	-60	-40	-80	-40
Coût net	217	350	176	340

Valorisation du gaz en usage direct

L'usage direct du gaz en industrie est le procédé le plus simple et le plus économique, dès lors que le lieu d'utilisation est proche. Cela comporte néanmoins le risque de dépendre d'un seul acheteur. Le gaz doit être en général séché, filtré, éventuellement désulfuré. Le transport du gaz impose une sécurité sur sa qualité, telle que la teneur en oxygène qui doit être surveillée en continu.

Le biogaz peut être utilisé directement en chaudières, en fours, ou en veine d'air. Les brûleurs ou injecteurs doivent être modifiés pour accepter les caractéristiques de combustion du biogaz. La maintenance est un poste important du coût de la valorisation du biogaz. En effet, la composition du biogaz en éléments corrosifs impose le changement régulier de certaines pièces.

Les coûts des réseaux de gaz sont de l'ordre de 0,4 MF/km pour les canalisations. Les autres coûts (surpression, sécurités...) sont à étudier au cas par cas. Les coûts d'adaptation des brûleurs à air soufflé sont de l'ordre de 0,4 MF/MW, pour des puissances de l'ordre de 1 MW. Le coût de fonctionnement est évalué à 1 ct/kWh + 10% de l'investissement.

Ainsi, pour des distances inférieures de 500 mètres entre le site de production de biogaz et l'industrie, l'opération est équilibrée par rapport à la fourniture classique de gaz naturel, même pour de faibles puissances. Pour des distances supérieures à 1 km, il est nécessaire de fournir au minimum 1 MW.

Valorisation électrique

La taille des groupes peut varier de quelques dizaines de kW à plusieurs mégawatts (turbines à gaz). Les économies d'échelle sont

très importantes. Le constructeur Bergerat présente deux moteurs quasi-standard : 440 kW à 3,2 MF (prix public), 840 kW à 15 MF, soit un coût d'investissement compris entre 4500 et 7000 F/kW.Tab

Les coûts de production de l'électricité varient entre 25 et 50 centimes/kWh. Le tarif de rachat d'EDF pour 3500 h par an (hiver tarifaire) est de 50 cts/kWh, et de 25 à 30 cts/kWh pour 7500 heures par an. La production d'électricité à partir du gaz de décharge est donc rentable dans les deux cas.

Valorisation du biogaz en gaz naturel

Ce mode de valorisation est quasi-inexistant en France. Un site de valorisation du gaz de décharge à Montech est en cours d'installation, pour une production de 500 m³/heure. Ce type de valorisation est pratiqué cependant depuis plusieurs années dans d'autres pays d'Europe. Nous donnons ici les résultats constatés dans des installations existantes aux Pays-Bas et en Allemagne, relatives à la fois à des installations de méthanisation de déchets ménagers et à des sites de récupération du gaz de décharge.

Depuis 1987, la centrale de Tilburg aux Pays-

Coût de production d'électricité à partir du biogaz ▼

Fonctionnement annuel (en heures)	3500	7500
Puissance (en kW)	850	850
Investissement (en frs/kW)	6000	600
Conduite (ct/kWh)	2	1
Maintenance (ct/kWh)	12	10
Renouvellement (ct/kWh)	2	3
Frais financiers, gestion (ct/kWh)	9	4
Amortissement (ct/kWh)	17	8
Total (ct/kWh)	42	26

Bas, produit du gaz naturel à partir du gaz de décharge et de station d'épuration. En 1994, une usine de méthanisation des déchets ménagers organiques (procédé Valorga) a été raccordée. Il s'agit de la plus importante opération de référence en Europe. Cinq autres stations de production de gaz naturel issu du biogaz sont actuellement en service aux Pays-Bas.

Le coût d'investissement de la centrale de Tilburg a été de 17 millions de francs (hors captage du gaz qui représentait 7 millions de francs), sa capacité de production est de 1200 m³/heure de méthane, injecté dans le réseau de distribution local à 8 bars.

A Stuttgart, depuis 1985, la station d'épuration épure son biogaz aux standards du gaz naturel. Deux millions de m³ de gaz naturel est injecté par an dans le réseau local de distribution (capacité 300 m³/heure).

Aux Pays-Bas, les investissements spécifiques pour la production de gaz naturel varient de 1200 kF/kW PCS à 2500 kF/kW pour des débits de méthane de 150 à 1200 m³/heure. Les investissements spécifiques sur les prototypes construits par Solagro à Tours et à

Chambery sont de 4000 et 8000 F/kW pour respectivement 50 m³/h et 10 m³/h (en comptant la compression à 250 bars, puisque le gaz naturel est destiné à la carburation automobile).

L'investissement doit comprendre le coût de raccordement au réseau qui peut atteindre 25% de l'investissement global pour un site éloigné. La maintenance et la conduite de l'installation représente annuellement 6 à 9% des investissements. Les coûts de l'énergie et des matières consommables sont des postes importants : 0,4 à 0,6 kWh par m³ de méthane produit soit 1,4 ct/kWh de gaz.

Au total, le coût de production peut être estimé aux environs de 5 cts/kWh PCS dans de bonnes conditions pour un débit supérieur à 500 m³/h de méthane.

Coût de production du gaz naturel

Tilburg		Stuttgart	
Puissance installée	12 000 kW	Puissance	3000 kW
Investissement	17 000 kF (1,4 kF/kW)	Investissement	5300 kF (1,8 kF/kW)
Maintenance	1,1 cts/kWh	Maintenance	0,9 cts/kWh
Electricité	1,4 cts/kWh	Energie	2,2 cts/kWh
Frais financiers	1 cts/kWh	Personnel	0,6 cts/kWh
Amortissement	1,7 cts/kWh	Autres coûts	1,3 cts/kWh
		Annuités	3 cts/kWh
Total	5,2 cts/kWh	Total	8 cts/kWh
Prix de vente	9,2 cts/kWh	Prix de vente	13 cts/kWh
Temps de retour	4,5 ans		

Le stockage en centre d'enfouissement

Le coût de mise en décharge

Les contraintes réglementaires pesant sur les décharges vont radicalement changer au 1er juillet 2002. Jusqu'à cette date, tout déchet, quel qu'il soit, peut être éliminé en décharge. On distingue :

- les décharges de classe 1 accueillant des déchets industriels spéciaux,
- les décharges de classe 2 accueillant des ordures ménagères et des DIB,
- les décharges de classe 3 recevant les déchets inertes et les gravats.

Seront considérés comme admissibles en décharge au 1^{er} juillet 2002 les déchets suivants :

- les déchets de catégorie A qui regroupent les déchets résultants de tri et/ou de compostage et/ou de méthanisation des ordures ménagères ainsi que les DIB résultants d'opération de tri,
- les déchets de catégorie B qui sont les résidus d'incinération des ordures ménagères et les sables de fonderie.

En revanche, les déchets de la catégorie C (DIB, OM brutes, déchets verts, encombrants, boues en provenance de l'assainissement urbain) ne seront plus admis en décharge à cette date.

Ainsi, la loi du 13 juillet 1992 n'interdit pas à terme la mise en décharge des déchets mais la mise en décharge de déchets bruts (OM ou DIB non triés préalablement). L'évolution réglementaire pousse donc naturellement au tri et à la valorisation. Ainsi, bien que les flux de

déchets mis en décharge vont fortement diminuer dans les prochaines années, l'existence des décharges de classe 2 n'est pas remise en cause.

Les coûts de stockage dans des sites de ce type varient entre 200 et 500 francs/tonne. Les facteurs expliquant ces variations sont multiples.

On trouve tout d'abord des facteurs d'ordre purement technique. En fonction du type de sol, des investissements plus ou moins coûteux devront être réalisés pour éviter des infiltrations, etc...

Viennent ensuite des paramètres d'ordre fiscal : le transport des déchets entre les départements est découragé par l'établissement de taxes par certaines communes gestionnaires de décharge, pour les déchets provenant de l'extérieur du département. Enfin la gestion des décharges explique en partie le coût de traitement des déchets.

Malgré d'importantes variations, le coût de la mise en décharge reste le mode d'élimination des déchets le moins onéreux. Cela est dû à la faiblesse des coûts d'investissement et de maintenance (la mise en décharge est, à l'opposé de l'incinération, très peu capitalistique).

La récupération du biogaz

La récupération du gaz de décharge est adaptée aux décharges de classe 2 accueillant des ordures ménagères et des DIB. Le principe

de la récupération du biogaz est simple. Il consiste à installer des tuyaux de récupération en PEHD (polyéthylène haute densité) à l'intérieur de la décharge puis de drainer le gaz jusqu'à l'équipement de valorisation.

Afin que l'exploitation se fasse dans des conditions économiques viables, la décharge doit accueillir un minimum de 20.000 tonnes/an.

En France, peu de décharges sont équipées de systèmes de traitement des gaz alors que la récupération et le brûlage en torchère sont rendus obligatoires pour des raisons de sécurité pour les sites construits après 1987. Les préfets peuvent par ailleurs l'imposer pour les sites antérieurs.

De l'aveu même des professionnels de la récupération du biogaz, il est difficile de définir précisément des coûts tant ceux-ci varient selon les cas. Cependant, la récupération du biogaz implique deux types de coûts, les coûts de dégazage et les coûts de valorisation.

Les coûts d'investissement de dégazage sont de l'ordre de 400.000 francs/ha de décharge, ils dépendent de la superficie de la décharge. S'ajoutent ensuite les coûts de maintenance qui représentent environ de 1 à 3 % par an du coût d'investissement.

Concernant les coûts de valorisation énergétique du biogaz, on se référera à la partie précédente sur la méthanisation des déchets.

La récupération, actuelle et future du biogaz produit par les décharges se justifie totalement, malgré la baisse des flux de déchets enfouis consécutive à la loi interdisant la mise en décharge des déchets non valorisés en 2002. Ceci pour trois raisons essentielles :

- La production de biogaz exploitable dans des conditions économiques viables dure environ 12 années après l'enfouissement des derniers déchets.
- L'interdiction de mise en décharge des déchets non valorisés à l'échéance 2002 ne signifie pas pour autant la fin des décharges contrôlées.
- Les rejets dans l'atmosphère doivent être traités pour des raisons de sécurité et environnementales évidentes.

Coût de dégazage (en francs par tonne)



	Coût d'investissement	Coût d'exploitation	Coût total
Décharge traditionnelle	8,14	1,3	9,5
Décharge compactée	5,81	0,9	6,7
Décharge broyée	10,18	1,6	11,8

Bilan économique de scénarios de traitement des déchets

L'analyse précédente des coûts de chaque mode de traitement des déchets et de leur évolution possible permet de comparer différentes combinaisons de modes de traitement, à l'instar des scénarios proposés en première partie de cette étude. Chacun sait, en effet, que la question du traitement des déchets ne consiste pas à opposer un mode de traitement à un autre, mais à déterminer la meilleure combinaison possible selon le type de déchets et la situation locale.

L'objectif des simulations économiques présentées ici, pour plusieurs combinaisons de modes de traitement, n'est pas de déterminer des scénarios types : les coûts réels sont étroitement dépendants des conditions locales (en particulier des parcs et matériels existants de collecte et de traitement, de la nature et des types d'habitat,...). Il s'agit simplement de montrer les principales tendances de coût selon les choix possibles à l'horizon 2020.

Hypothèses

Production de déchets

Sont pris en compte, sur la base des évaluations faites en première partie pour l'année 2020 :

- les ordures ménagères : 430 kg/hab/an
- la fraction des DIB non valorisés aujourd'hui : 155 kg/hab.an
- la fraction des déchets d'industries agroalimentaires non valorisés aujourd'hui : 140 kg/hab/an

Recyclage

Tous les scénarios sont basés sur le même taux de recyclage. La part des déchets valorisés par recyclage matériaux relative aux quantités décrites ci-dessus, est de 21%, déduction faite des refus de tri.

Il faut noter que la modification du taux de recyclage a une influence marginale sur la comparaison des scénarios. Le coût de la collecte et de conditionnement des recyclables n'est pas pris en compte, ce qui n'a aucune incidence sur la comparaison des scénarios.

Collecte des fermentescibles

Nous avons adopté trois variantes contrastées qui se basent sur un taux de population desservie par une collecte spécifique des fermentescibles et un taux de collecte des déchets par poubelle verte sur le total de la part fermentescible.

Ces taux conduisent à un taux global de collecte des fermentescibles (rapporté au total des déchets ménagers et banals) de :

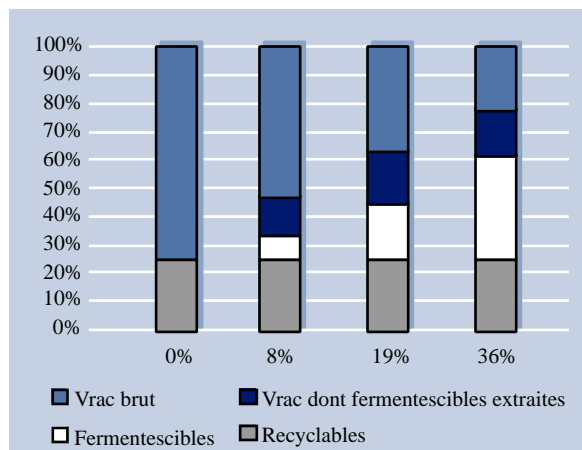
- variante 1 : 7%
- variante 2 : 17%
- variante 3 : 31%

Nous avons adopté les mêmes hypothèses pour les déchets d'IAA, en supposant que la part des fermentescibles est égale à 100% pour cette catégorie de déchets.

Le taux global de collecte des fermentescibles (rapporté au total des déchets) est donc selon

les variantes de 8 - 19 - 36 %. Le taux d'imputés (qui dépend de la qualité du tri, donc du type de déchets acceptés dans la poubelle verte) est supposé égal respectivement à 6-8 - 11%.

Le graphique suivant indique la part des déchets (sur le total des déchets ménagers, banals et organiques) collectés par *poubelle bleue* (recyclables), *poubelle verte* (fermentescibles), par *poubelle grise* auprès des ménages desservis par une collecte des fermentescibles (vrac dont fermentescibles ont été extraits), et enfin par *poubelle grise* auprès des autres ménages (vrac brut).



▲
Part des déchets collectés

Surcoût de la collecte des fermentescibles

Le surcoût de la collecte des fermentescibles est calculé sur un scénario avec collecte hebdomadaire en substitution d'une collecte traditionnelle. Le surcoût est représenté par l'investissement d'un bac spécifique aux fermentescibles, la taille du bac (et donc son coût) étant lié au taux de collecte (quantités de déchets récupérés par semaine, par foyer). L'investissement est amorti sur 8 ans à 9% de taux d'intérêt. Il est de 80 à 106 F/tonne de déchets fermentescibles collectés.

Traitement biologique

Le coût du traitement biologique est évalué sur la base du coût de la méthanisation. Ce coût peut être transposé à celui des techniques de compostage "haut de gamme", avec fermentation en silo,

traitement de l'air vicié, etc, assurant un service équivalent à celui de la méthanisation en terme de contrôle des nuisances et qualité de l'amendement organique. L'adoption de techniques de compostage moins performantes conduit à des coûts plus faibles, ce qui améliorerait le

bilan économique des scénarios avec traitement biologique de la fraction organique.

Le coût du traitement biologique est évalué sur les bases des coûts commerciaux annoncés aujourd'hui par Valorga process, principal constructeur européen. Ces coûts sont négociables sur appel d'offres. Par ailleurs, compte tenu de l'évolution de la technologie et de la diffusion à l'échelle européenne, ces coûts évoluent aujourd'hui à la baisse.

Lorsque la quantité de déchets fermentescibles à traiter dépasse 80 000 tonnes par an, nous avons considéré que deux usines séparées étaient nécessaires, même si une seule usine est techniquement possible. Nous n'avons pas compté les économies en transport permises par le rapprochement du lieu de production et du lieu de traitement.

Incineration

Le coût de l'incinération est évalué sur les bases des normes actuelles de rejet (arrêté de 1991), et sur les perspectives d'évolution des coûts.

Le paramètre d'évolution des coûts en fonction de la taille s'avère plus déterminant que le niveau absolu de prix dans la comparaison des scénarios : autrement dit, la connaissance de l'effet d'échelle (surcoût à la tonne engendré par une réduction de la taille de l'UIOM) est aussi important que la connaissance du niveau absolu des prix.

Compte tenu des fortes incertitudes quant à l'évolution de ces prix, nous avons construit deux courbes de coût (hypothèses 1 et 2). Celles-ci sont basées sur :

- une estimation de l'investissement spécifique (MF par t/h)
- une estimation de l'évolution de cet investissement spécifique
- une estimation des coûts d'exploitation annuels.

Les coûts calculés dans les scénarios intègrent des éléments supplémentaires :

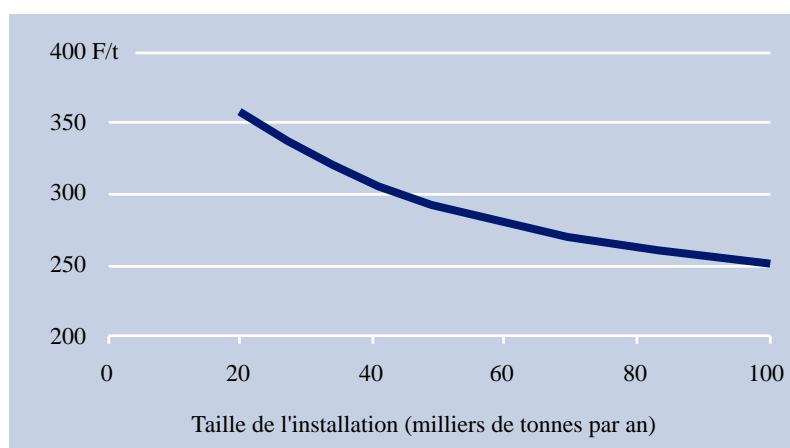
- le coût du stockage des résidus dépend de la taille du CSDU, donc du volume total des déchets enfouis, paramètre variable selon les scénarios. D'autre part, la proportion de résidus de l'incinération dépend également des scénarios.

- Le PCI des déchets incinérés est également une donnée variable selon les scénarios : il est largement supérieur à celui des déchets ménagers bruts

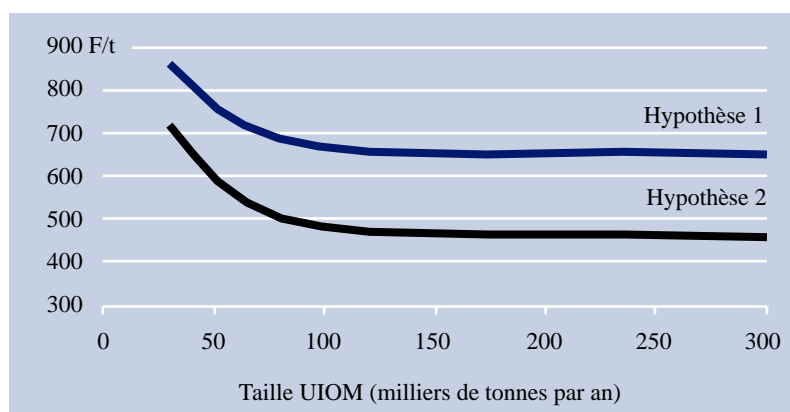
lorsque la fraction fermentescible a été extraite. Il a été calculé pour chaque scénario, de même que le gain supplémentaire par rapport au scénario de référence, sur la base d'un rendement global de conversion en électricité de 25% et un prix de vente de 250 F/MWh électrique.

- Nous avons considéré deux cas : un stockage de 30% des mâchefers et REFIO en hypothèse 1 et un stockage de 100% des mâchefers et REFIO en hypothèse 2 (normes sévères).

Evolution du coût du traitement biologique selon la taille de l'installation



Evolution du coût global de l'incinération selon la taille de l'installation



Stockage

Le coût du stockage est estimé sur la base de l'arrêté en cours d'élaboration relatif aux centres de stockage de classe 2. Ce coût a relativement peu d'incidence sur la comparaison des scénarios.

On considère que pour des sites de stockage accueillant 20 000 tonnes de déchets par an, le coût global est de 540 F par tonne. Pour des sites de 100 000 tonnes par an, le coût est de 400 F par tonne.

Limite du modèle

Le modèle n'intègre pas :

- La collecte des déchets (sans incidence sur la comparaison des scénarios)
- Les éventuels surcoûts de transport des fermentescibles.
- Les économies générées au niveau de l'incinération par le recyclage des déchets humides
- Les subventions
- La collecte et le traitement des déchets particuliers (encombrants, déchets spéciaux des ménages, etc)

Construction des scénarios

Les scénarios sont construits pour des collectivités dont la taille est de 200.000, 400.000 et 600.000 habitants. Quatre combinaisons de modes de traitement sont étudiées, toutes intégrant 21% de recyclage :

1. Incinération seule

2. Traitement biologique + incinération avec variantes 1, 2, 3 selon le taux de collecte des

fermentescibles : dans ce scénario, les déchets résiduels après collecte des recyclables et des fermentescibles sont intégralement incinérés.

3. Traitement biologique + stockage avec variantes 1, 2, 3 selon le taux de collecte des fermentescibles :

dans ce scénario, les déchets résiduels après collecte des recyclables et des fermentescibles sont intégralement stockés.

Ce scénario suppose que ces déchets sont considérés comme des déchets ultimes.

4. Traitement biologique + incinération + stockage, avec variantes 1, 2, 3 selon le taux de collecte des fermentescibles.

Dans ce scénario :

- les déchets résiduels après collecte des recyclables et des fermentescibles, collectés auprès des foyers desservis par une collecte des fermentescibles, sont stockés.

- pour les foyers non desservis par un collecte des fermentescibles, les déchets résiduels après collecte des recyclables sont incinérés.

De la même façon que le scénario précédent, ce scénario suppose que ces déchets sont considérés comme des déchets ultimes.

Compte tenu de la nature de la poubelle résiduelle, il s'applique en principe à des collectivités dont la taille est trop faible pour qu'une valorisation de ces déchets puisse être considérée comme techniquement et économiquement acceptable. (voir graphique ci-contre)

Les quantités de résidus de l'incinération, de refus de tri du recyclage ou du traitement biologique sont incluses dans les quantités stockées.

Le total de déchets à traiter (OM, DIB, déchets d'IAA) est de 145 000 tonnes, 290 000 et 435 000 tonnes pour des agglomérations respectivement de 200 000, 400 000 et 600 000 habitants.

Résultats des simulations

- l'incinération,
- le stockage.

Synthèse des résultats

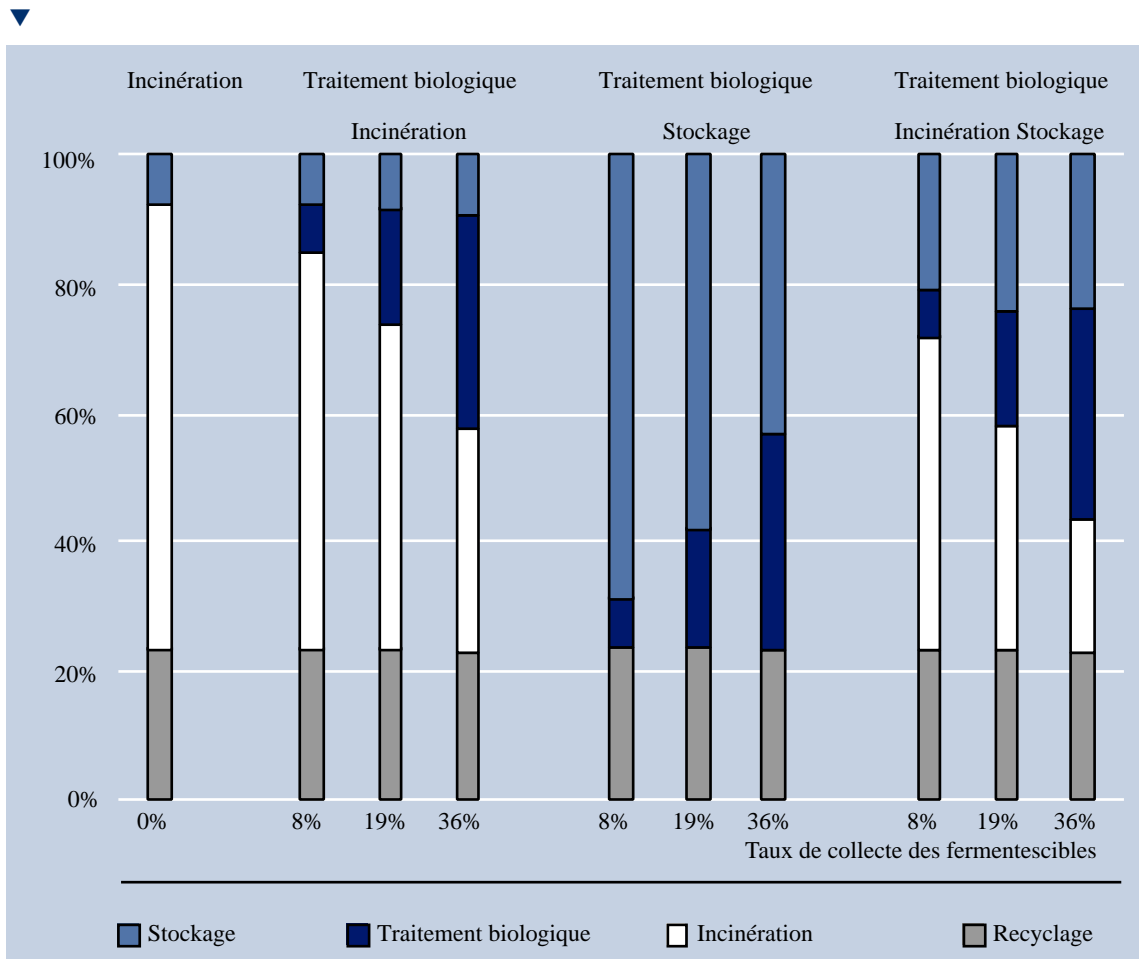
Les graphiques suivants donnent (pour les deux hypothèses adoptées sur les coûts de l'incinération) le coût global (coûts liés aux investissements et aux frais d'exploitation annuels) du traitement, comprenant :

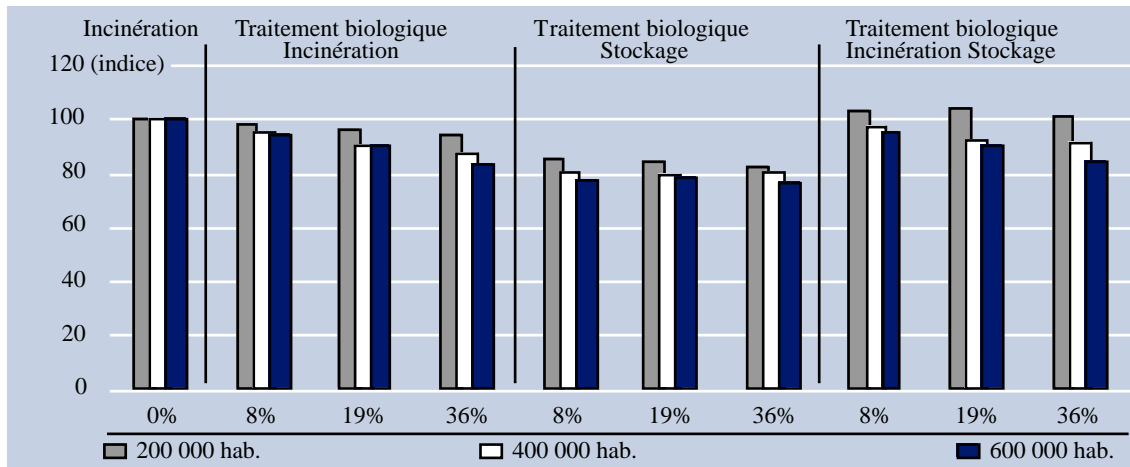
- le surcoût de la collecte et le traitement des fermentescibles,

Il est indiqué en indice par rapport au scénario "Incinération" pris comme scénario de référence (indice = 100). Le détail des simulations est donné en annexe.

Il faut rappeler que dans tous les cas, 21% des déchets sont recyclés. Ceci explique que, par exemple dans le cas de l'incinération seule, le coût à la tonne traitée soit de 352 à 372 F/tonne pour un coût de la tonne incinérée de 446 à 466 F/tonne.

Part des déchets selon le mode de traitement ¹⁹



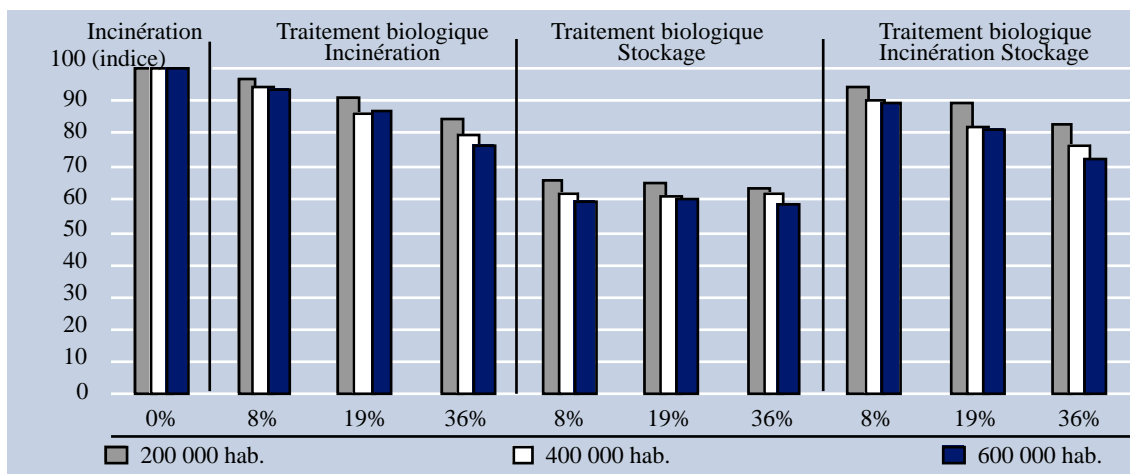


(en francs par tonne)	Inciné- ration	Traitement biologique Incinération			Traitement biologique Stockage			Traitement biologique Incinération Stockage		
Tx/collecte fermentesc.	0%	8%	19%	36%	8%	19%	36%	8%	19%	36%
200 000 hab.	372	366	358	354	319	316	307	386	387	377
400 000 hab.	355	340	321	311	288	284	287	345	328	326
600 000 hab.	352	334	320	295	274	276	269	335	321	299

▲ **Hypothèse 1 (coûts modérés de l'incinération)**

Coût global du traitement des déchets selon les combinaisons de mode de traitement

▼ **Hypothèse 2 (coûts plus élevé de l'incinération)**



(en francs par tonne)	Inciné- ration	Traitement biologique Incinération			Traitement biologique Stockage			Traitement biologique Incinération Stockage		
Tx/collecte fermentesc.	0%	8%	19%	36%	8%	19%	36%	8%	19%	36%
200 000 hab.	483	468	442	410	319	316	307	460	436	402
400 000 hab.	464	441	404	371	288	284	287	421	382	357
600 000 hab.	459	433	402	354	274	276	269	410	375	331

Conclusion

► Les scénarios se classent par ordre de coût de la façon suivante :

- *incinération seule* : scénario de référence
- *traitement biologique + incinération + stockage* : -5 % à 28% d'économies
- *traitement biologique + incinération* : 1 à 23 % d'économies
- *traitement biologique + stockage* : 13 à 41% d'économies

► Quel que soit le scénario considéré, le traitement spécifique des déchets fermentescibles génère une économie (en coût global) par rapport au scénario de référence (incinération seule). Cette économie varie de 0 à 40% selon les scénarios.

Cette économie augmente avec le taux de collecte des fermentescibles, et avec la taille de la collectivité. Elle augmente également avec le coût de l'incinération (entre l'hypothèse 1 et l'hypothèse 2).

► Hormis dans le cas d'une agglomération de 200 000 habitants avec des coûts d'incinération à la tonne dans la fourchette basse (hypothèse 1), toute solution réduisant la part incinérée est économiquement intéressante. Le gain est d'autant plus important si les coûts de l'incinération augmentent significativement (hypothèse 2). Dans ce cas, la solution *méthanisation + incinération + stockage*, par exemple, présente un intérêt économique même si la taille de l'UIOM est faible : c'est le cas pour une collectivité de 200.000 habitants, pour laquelle le choix d'une UIOM de capacité de 30.000 tonnes/an (coût global de l'incinération : 850 F/t) dans le cadre d'une gestion des résidus de la collecte sélective considérés comme des déchets ultimes, se justifie par rapport au choix d'une UIOM de

capacité de 100.000 t/an (coût global de l'incinération : 620 F/t), sans recyclage des fermentescibles : l'économie s'élève à 11 MF/an, soit 16% du coût global.

En d'autres termes, mieux vaut un incinérateur de faible capacité mais ne brûlant strictement que ce qui ne peut être considéré comme ultime, plutôt qu'une usine de grande taille pour une incinération en vrac.

► Le scénario le plus économique est le *traitement biologique + stockage*, donc sans incinération, bien que nous ayons retenu des coûts de stockage relativement élevés. Cette solution est plutôt adaptée aux zones rurales, où la production de déchets est plus faible. Afin de limiter la quantité stockée, cette solution doit inclure une forte valorisation des fermentescibles et des recyclables.

Ces simulations montrent que, du point de vue économique, le recyclage des matériaux fermentescibles est justifié par rapport à leur valorisation par incinération. Malgré le faible développement actuel de ces filières, elles présentent donc un intérêt certain pour les collectivités confrontées au problème du financement du traitement des déchets. Elles devraient donc être appelées à se développer, ce qui valide les hypothèses adoptées sur les proportions de déchets fermentescibles recyclés à l'horizon 2020.

Notes

(14) J-Y Legoux, C. Le Douce, *L'incinération des ordures ménagères*, Ed. Economica, 1995.

(15) Ces coûts sont indicatifs. Ils ont tendance à augmenter : on constate des coûts de 400 francs pour les décharges de classe 2 et 1600 francs pour les décharges de classe 1.

(16) Source : AMORCE, *Association des maîtres d'ouvrage de réseaux de chaleur*.

(17) Les coûts d'investissement sont tirés de *L'incinération des déchets ménagers*, Economica, 1995. Les coûts d'exploitation sont ceux préconisés par la SFT (Société Française des Thermiciens).

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour les calculs :

- taux d'actualisation : 8 %

- durée de vie : 20 ans, durée annuelle de fonctionnement : 7000 heures

- rendement total = facteur de charge (85 %) * rendement des équipements de production et de récupération d'énergie.

(18) Ademe, A. Le Bozec (*Le service d'élimination des ordures ménagères : organisation, coûts, gestion*, Ed. L'Harmathan, Cemagref, 1994)

(19) Le graphique correspond à l'hypothèse 1 pour laquelle 30% des mâchefers et REFIO sont stockés. Dans le cas de l'hypothèse 2 (100% des mâchefers et REFIO stockés), les quantités stockées sont légèrement supérieures.

Gaz à effet de serre

Conséquences de la valorisation énergétique des déchets sur les émissions de gaz à effet de serre

Nous avons évalué les conséquences du traitement et de la valorisation énergétique des déchets du point de vue des émissions de gaz à effet de serre. Les scénarios de production d'ordures ménagères par habitant, de modes de traitement et de valorisation énergétique sont ceux présentés en première partie.

L'énergie issue du traitement des OM, des DIB et des déchets d'IAA et de la récupération du gaz de décharge (chaleur, électricité, gaz) est substituée à des énergies fossiles dans les différents secteurs (habitat, tertiaire, industrie) ou à l'électricité.

Quelques éléments méthodologiques

Les substitutions d'énergie

Les émissions de gaz à effet de serre engendrées par le traitement et la valorisation des déchets sont comparées aux émissions liées à la consommation d'énergies fossiles ou d'électricité selon les usages. Nous avons fait les hypothèses suivantes :

Chaleur dans les réseaux existants : elle se substitue à 40% au charbon et au fioul lourd consommés actuellement dans les réseaux de

chaleur, selon les régions, à l'horizon 2020. En 2002, 15% de la consommation actuelle de charbon et de fioul lourd est substituée.

Chaleur dans les réseaux neufs :

La chaleur produite se substitue aux principales énergies consommées dans l'habitat, le tertiaire et l'industrie. A partir des consommations actuelles, nous retenons la répartition suivante des énergies substituées dans chaque secteur :

*Habitat*²⁰ : gaz naturel 44%, fioul domestique

36%, électricité 20%.

*Tertiaire*²¹ : fioul domestique 41%, gaz naturel 43%, électricité 17%.

*Industrie*²²: fioul lourd 64%, charbon 25%, fioul domestique 11%.

Cette répartition est identique pour toutes les régions.

Production d'électricité :

Deux hypothèses sont envisagées :

- la substitution est faite par rapport au parc

actuel de centrales EDF.

- la substitution est faite par rapport à des centrales à gaz, répondant à l'accroissement des besoins d'électricité sur la période et/ou à une modification de la structure du parc.

Production de gaz : le gaz produit est substitué au gaz naturel.

Les émissions prises en compte

De la source à l'usage final

Pour l'ensemble des filières énergétiques, les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre associées sont comptabilisées depuis la source :

- depuis l'extraction jusqu'à la combustion en chaudière pour les énergies fossiles,
- depuis la collecte jusqu'à l'incinération ou la méthanisation et la production d'énergie finale pour les déchets.

Les gaz à effet de serre

Les deux principaux gaz à effet de serre retenus aujourd'hui par l'IPCC sont le gaz carbonique et le méthane. Le coefficient d'équivalence à 100 ans du méthane avec le CO₂ est 24,5. Un gramme de méthane émis dans l'atmosphère aurait donc un impact 25 fois supérieur en terme d'effet de serre à un gramme de CO₂. Cela montre d'ores-et-déjà l'importance de la récupération du gaz de décharge constitué essentiellement de méthane.

- Les rejets de CO₂ sont considérés comme nuls lorsqu'ils proviennent de l'incinération ou de la méthanisation de déchets organiques fermentescibles, le stock de biomasse global étant supposé stable. En effet, on peut alors

	Valorisation	CO2	CH4
Incinération OM-DIB	Chaleur	211	0,0375
	Electricité	498	0,0883
Incinération déchets d'IAA	Chaleur	7,99	0,0375
	Electricité	18,8	0,0883
Méthanisation	Gaz	8	0,0492
OM-DIB-d'échets d'IAA	Electricité	29	0,4863
Méthanisation des boues de STEP	Cogénération	0	0,053

▲
Filières de traitement des déchets
Emissions de gaz à effet de serre
par kWh de la source à l'usage final en g/ kWh

Filières énergies fossiles et électricité
Emissions de gaz à effet de serre
par kWh de la source à l'usage final en g/ kWh

▼

	Equipement	CO2	CH4
Fuel domestique	chaudière individuelle	388	nd
	chaudière collective	348	0,015
Fuel lourd	chaudière industrielle	307	0,01
	four	757	0,003
Gaz naturel	chaudière individuelle	293	0,76
	chaudière collective	280	0,71
	phase amont	36	0,717
Charbon	chaudière individuelle	361	2,205
	chaudière collective	360	2,17
	four	810	2,17
Electricité	parc EDF	119	0,002
	filière gaz	580	0,04

considérer que le CO₂ libéré par le traitement est réutilisé pour la photosynthèse. Seules sont comptabilisées les émissions pour la collecte et le transport de ces déchets.

- 30% du poids des déchets organiques fermentescibles sont constitués par du carbone. On suppose que le reste du carbone des OM est contenu dans les plastiques, le carbone constituant 65% de leur poids. Les résultats tiennent compte de la progression de la part des plastiques dans la composition des ordures ménagères.

Le même contenu en carbone est retenu pour les plastiques des DIB que pour les ordures ménagères, auxquels s'ajoutent les plastiques contenus dans les *DIB en mélange* (15%), et les matières synthétiques de la catégorie *Caoutchouc, textiles, cuir* évaluées à 75% du poids de ces déchets (il s'agit notamment des pneus).

- On suppose que 100% du carbone contenu dans les déchets est transformé en CO₂ à l'incinération.

Chaque tonne de plastique incinérée émet donc de l'ordre de 2,4 tonnes de CO₂.

Ces chiffres soulèvent deux remarques :

- Dans une installation d'incinération de déchets, à la production d'un kWh électrique est associée l'émission de 500 grammes de CO₂. Les résultats sont donc très différents si on compare ce chiffre aux émissions moyennes actuelles du parc EDF (119 g de CO₂ par kWh électrique), ou si on considère que cette électricité produite évitera la construction d'une centrale à gaz émettant 580 g de CO₂ par kWh électrique.

- Si on considère l'incinération comme fatale, alors nous pouvons aussi considérer que la récupération d'énergie ne conduit à aucune émission de gaz à effet de serre en elle-même.

Bilan par filière de traitement de déchets

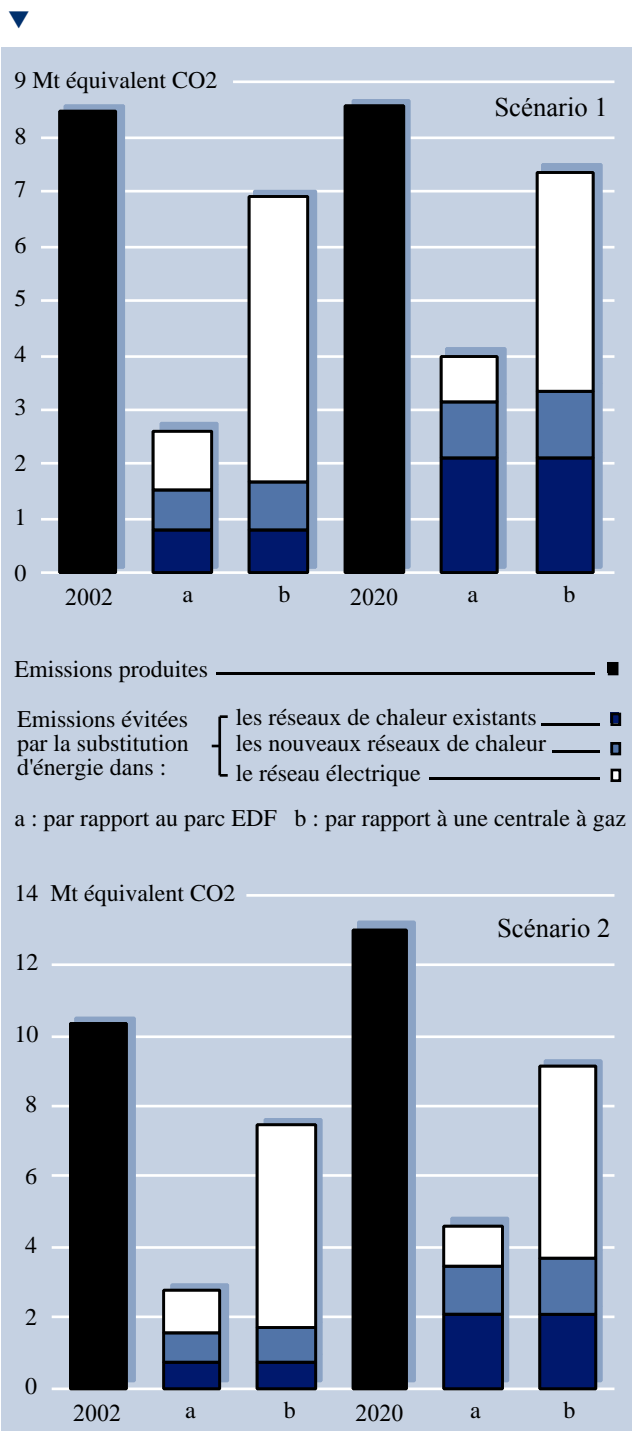
Les émissions produites lors du traitement des déchets sont comparées aux émissions évitées grâce à l'énergie récupérée des installations de traitement et substituée à des énergies fossiles ou à de l'électricité. Les graphiques de la page suivante représentent les résultats pour les années 2002 et 2020. L'ensemble des déchets (OM, DIB, déchets d'IAA, boues de STEP, gaz de décharge) est pris en compte. Nous rappelons que le scénario 1 correspond à une production d'OM de 390 kg/hab./an en 2020 et le scénario 2 à une production de 430 kg/hab./an la même année.

L'incinération

Les émissions produites par l'incinération elle-même sont de 8,4 millions de tonnes d'équivalent CO₂ pour l'année 2002 et 8,6 Mt pour 2020 dans le scénario 1 de production d'ordures ménagères. Elles sont, pour le scénario 2, de 10,3 Mt en 2002 et 13 Mt en 2020, ceci provenant de la croissance relativement importante des plastiques dans la composition des ordures ménagères dans ce scénario.

Grâce à la récupération d'énergie, on évitera

Bilan des émissions annuelles de gaz à effet de serre de l'incinération avec récupération d'énergie selon les scénarios 1 et 2



2,6 millions de tonnes d'équ.CO2 l'année 2002 dans le scénario 1, et 4 Mt en 2020, si on prend en compte pour la production d'électricité les émissions du parc actuel d'EDF. Le gain est nettement supérieur si l'on prend en compte les émissions qui auraient été produites par une centrale en gaz : 6,9 Mt en 2002 et 7,4 Mt en 2020.

Cependant, les gains en émissions du fait de la substitution d'énergies fossiles ne compensent pas les émissions produites à l'incinération. Selon le scénario 1, le bilan des émissions dues à l'incinération avec récupération d'énergie conduit à un surplus d'émissions au minimum de 1 million de tonnes d'équ.CO2 par an et au maximum de 6 millions de tonnes par an selon les cas.

Selon le scénario 2, le surplus d'émissions est de 2,9 Mt à 8,4 Mt par an.

Si on considère le scénario 3 (cf première partie, p17) avec une hypothèse de production d'ordures ménagères atteignant 500 kg par habitant en 2020 et avec 23% de plastiques la même année, les émissions dues à l'incinération avec récupération d'énergie sont de près de 10 Mt d'équ.CO2 en 2020, si on prend pour référence les émissions du parc actuel d'EDF (4,7 Mt avec pour référence les émissions d'une centrale à gaz).

Ce surplus d'émissions de gaz à effet de serre de 10 Mt est à mettre en relation avec les émissions actuelles de gaz à effet de serre en France. Tous secteurs confondus, elles s'élèvent à 370 millions de tonnes d'équivalent CO2 par an. L'incinération entraîne donc une hausse de 3% des émissions en 2020.

Nous pouvons également constater que, dans le scénario 1, la différence entre les émissions produites à l'incinération et les émissions évitées par la substitution d'énergies fossiles se réduit entre 2002 et 2020. Globalement, il y a donc une baisse des émissions de gaz à

effet de serre dues à l'incinération avec récupération d'énergie après 2002. Ceci est dû à l'augmentation significative de la part de la chaleur produite dans la période par rapport à l'électricité, par le renforcement de la substitution d'énergie dans les réseaux de chaleur existants et la construction de nouveaux réseaux de chaleur. Or, les usages en chaleur procurent des gains d'émissions plus importants que les usages électriques puisque la substitution se fait essentiellement avec des énergies fossiles et avec de meilleurs rendements que la production d'électricité.

Dans le scénario 2, les émissions de gaz à effet de serre continuent de croître sur la période, car l'effet négatif de l'augmentation de la part des plastiques dans la composition des ordures ménagères est supérieur aux effets de l'augmentation de la valorisation d'énergie en chaleur.

Sensibilité du bilan des émissions de polluants au taux de recyclage des plastiques

Nous avons repris une variante des scénarios de traitement des déchets présentée en première partie, avec une augmentation de 10% du taux de recyclage des plastiques par rapport au taux antérieur (soit 30% en 2002 pour les OM et 70% pour les DIB).

Les graphiques des pages suivantes montrent que l'impact est significatif en 2020. Pour le scénario 1, les émissions produites par l'incinération diminuent de 8,5 Mt à 7,5 Mt. Les émissions évitées grâce à la récupération d'énergie sont évidemment légèrement inférieures (- 0,3 Mt) puisqu'il y a moins d'énergie produite. Le renforcement du recyclage des plastiques de 10% permet d'éviter 0,7 Mt d'équivalent CO₂ l'année 2020, soit une

baisse de 16% des émissions occasionnées par l'incinération avec récupération d'énergie. Si on fait la même comparaison avec comme référence les émissions d'une centrale à gaz pour la production d'électricité, les émissions baissent dans les mêmes proportions.

Les résultats sont du même ordre pour le scénario 2. Pour l'année 2020, les émissions produites à l'incinération baissent de 13 Mt à 11,5 Mt d'équ.CO₂ grâce au renforcement du recyclage des plastiques. Cela permet une baisse globale des émissions de gaz à effet de serre de 14% pour cette même année.

Sensibilité du bilan des émissions de polluants au taux de recyclage des plastiques et à la valorisation de l'énergie en chaleur plutôt qu'en électricité

Les hypothèses prises quant à la valorisation de l'énergie issue de l'incinération des déchets favorisaient largement la production d'électricité (*cf page 21*). Nous avons étudié l'impact d'une augmentation :

- de la substitution de charbon et de fioul lourd dans les réseaux de chaleur existants, passant de 40% en 2002 à 75%,
- de la construction de nouveaux réseaux de chaleur (ou extension des réseaux existants), la vapeur valorisée en installation en cogénération passant de 20% à 30% en 2020.

Les taux pour 2002 sont fixés en suivant cette progression.

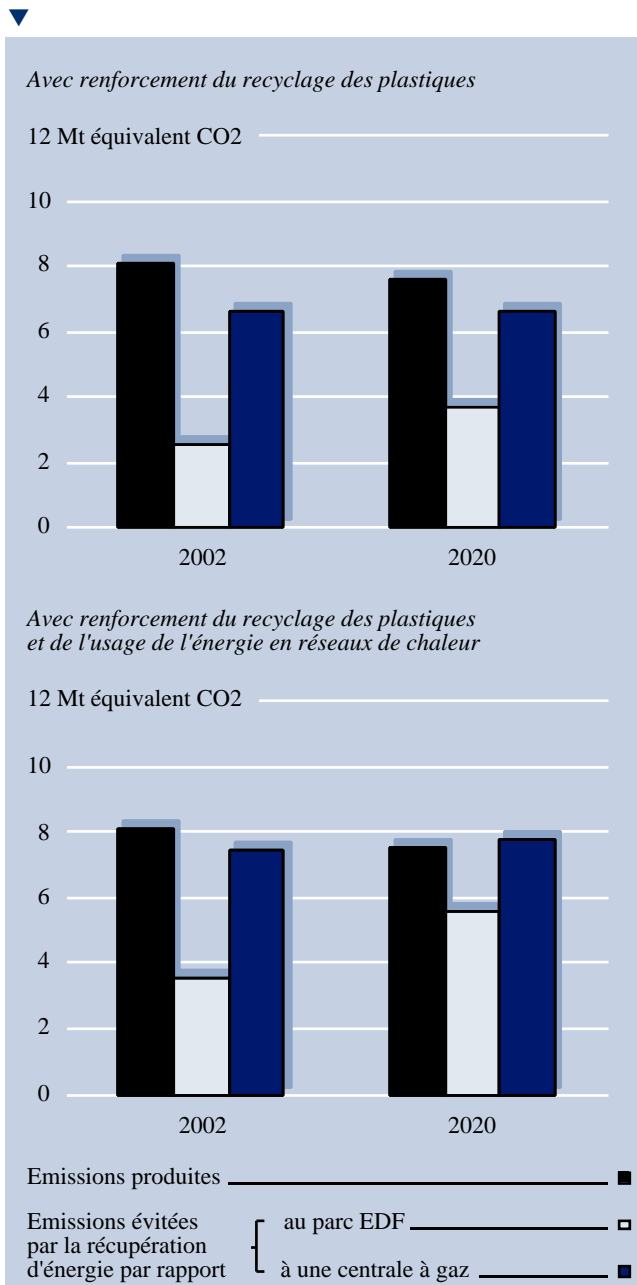
Ainsi pour le scénario 2, par exemple, la valorisation de l'énergie était de 35% en chaleur, 65% en électricité en 2002 (énergie primaire). Elle est selon ce nouveau scénario de 57% en chaleur et 43% en électricité.

L'impact est significatif sur les émissions évitées par la substitution d'énergies fossiles.

Dans le scénario 1, 4 Mt d'équ.CO2 sont évitées en 2002 et 5,5 Mt d'équ.CO2 en 2020 (ou encore respectivement 7,4 Mt et 7,8 Mt d'équ.CO2 avec pour référence les émissions

d'une centrale à gaz). Ainsi, sous l'impact à la fois de l'augmentation du recyclage des plastiques et de la valorisation de l'énergie en chaleur, les émissions totales sont de 2 Mt en 2020, contre 4,6 Mt dans le scénario 1 initial, soit une baisse de 56%.

Bilan des émissions annuelles de gaz à effet de serre de l'incinération avec récupération d'énergie selon le scénario 1



Si on prend comme référence pour la production d'électricité les émissions d'une centrale à gaz, 0,2 Mt d'équ.CO2 sont évitées en 2020 dans ce scénario d'incinération avec récupération d'énergie.

Dans le scénario 2, les émissions évitées par la récupération d'énergie évoluent de 4,6 Mt à 6,2 Mt en 2020 (ou encore de 9,1 à 9,4 Mt avec pour référence une centrale à gaz). Globalement, les émissions dues à l'incinération avec récupération d'énergie chutent, en 2020, de 40 à 50% par rapport au scénario 2 initial.

Pour ces derniers scénarios, les gains en émissions de gaz à effet de serre proviennent donc environ pour un tiers du renforcement du recyclage des plastiques et pour les deux tiers du renforcement de la valorisation de l'énergie en chaleur.

La méthanisation des déchets

Les résultats entre les scénarios 1 et 2 de production d'ordures ménagères sont très proches. Nous présentons donc seulement les résultats du scénario 2.

Les émissions de gaz à effet de serre pour cette filière sont liées quasi-uniquement à la collecte des déchets. Le bilan est donc très positif du fait des émissions évitées par la substitution d'énergies fossiles. En 2002, l'émission de 250 milliers de tonnes d'équ.CO2 est évitée, et 640 kt en 2020. 80% proviennent de la méthanisation des OM, des DIB et des déchets d'IAA fermentescibles, et

20% des boues de STEP.

En référence aux centrales à gaz, plus de 500 kt d'équ.CO2 seraient évitées en 2002 et 1,3 Mt en 2020 (graphique page suivante).

Le gaz de décharge

Les émissions annuelles évitées évoluent selon la même loi que la récupération du gaz de décharge. Elles décroissent à partir de 2002 du fait de l'arrêt de la mise en décharge directe des déchets. On estime que jusqu'à maintenant 25% du méthane en moyenne émis était brûlé en torchère.

En 2002, l'émission de près de 8 Mt d'équ. CO2 serait évitée, ce qui est de l'ordre de grandeur des émissions produites par l'incinération. En 2020, on retombe à 2,4 Mt d'équ.CO2 évitées. 95% des émissions évitées sont liées au captage du méthane. Les 5% restant proviennent de la substitution d'énergies fossiles ou d'électricité par le biogaz.

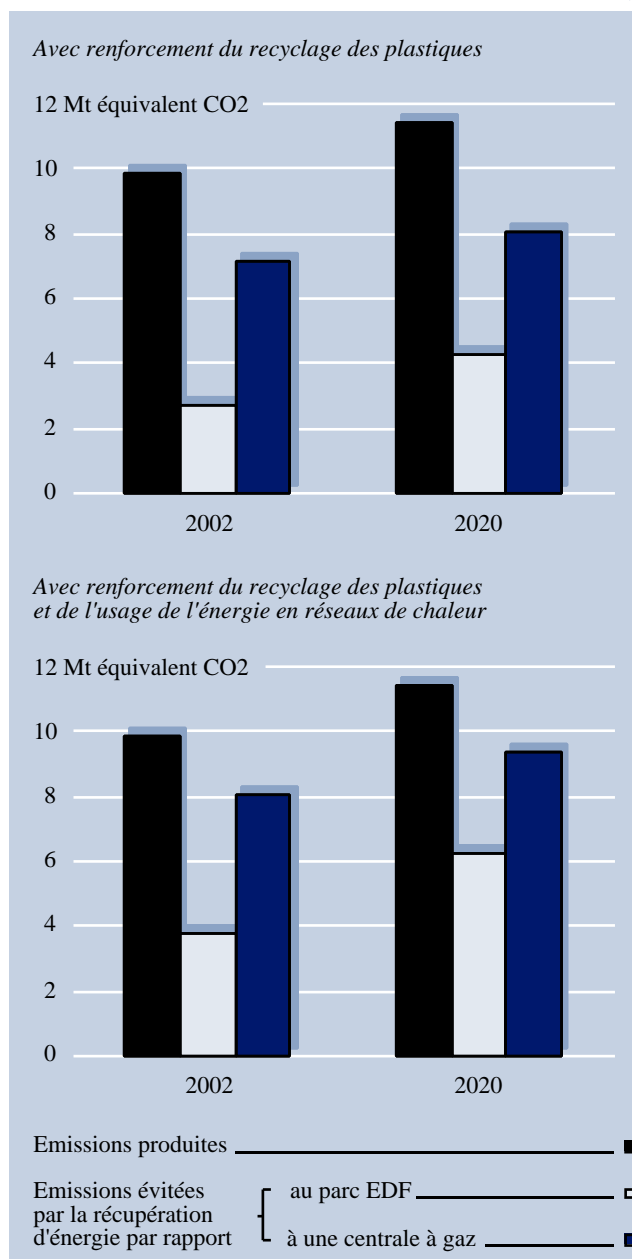
Bilan des émissions de gaz à effet de serre pour les trois filières de traitement

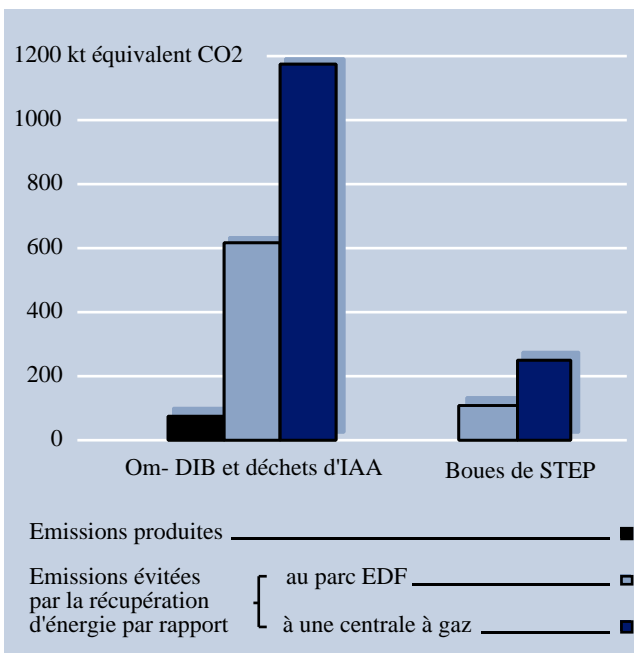
Les tableaux de la page suivante montrent que les émissions évitées par la récupération du gaz de décharge permettent de compenser en 2002 les émissions dues à l'incinération quelques soient les scénarios : 2,3 à 7,3 millions de tonnes d'équ.CO2 évitées pour le scénario 1 selon la référence prise pour les émissions liées à la production d'électricité, parc EDF actuel ou centrale à gaz. Dans le scénario 2, les émissions évitées seraient de 0,6 à 6 Mt en 2002.

Cependant, la mise en décharge décroissant de manière rapide pour s'annuler en 2002, les

quantités de gaz de décharge récupérable décroissent à partir de 2002. De ce fait, les émissions évitées par la récupération du méthane ne suffisent plus à compenser les

Bilan des émissions annuelles de gaz à effet de serre de l'incinération avec récupération d'énergie selon le scénario 2





Bilan des émissions annuelles de gaz à effet de serre de la méthanisation avec récupération d'énergie selon le scénario 2 pour l'année 2020

Bilan des émissions de gaz à effet de serre selon les scénarios :

Référence pour la substitution d'électricité : centrale à gaz

Référence pour la substitution d'électricité : parc EDF

En Mt equ. CO ₂	Scénario 1		Scénario 2	
	2002	2020	2002	2020
Incinération	5,9	4,6	7,5	8,4
Méthanisation	-0,3	-0,7	-0,3	0,6
Gaz de décharge	-7,9	-2,4	-7,9	2,4
Solde	-2,3	1,5	-0,6	5,3

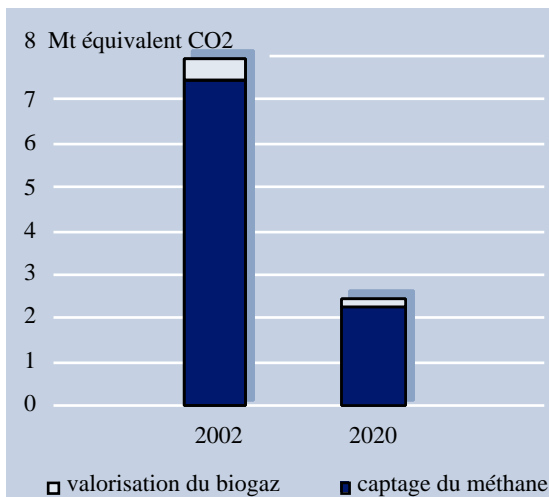
En Mt equ. CO ₂	Scénario 1		Scénario 2	
	2002	2020	2002	2020
Incinération	1,6	1,2	2,9	3,9
Méthanisation	-0,5	-1,3	-0,5	1,3
Gaz de décharge	-8,4	-2,6	-8,4	2,6
Solde	-7,3	-2,7	-6	0

émissions liées à l'incinération lorsqu'on prend pour référence les émissions du parc EDF. En 2020, les émissions produites sont alors respectivement de 1,5 et 5,3 Mt d'équ.CO2 pour les scénarios 1 et 2.

En comparaison avec les émissions d'une centrale électrique à gaz, 2,7 Mt de CO2 sont évitées en 2020 dans le scénario 1. Dans le scénario 2, le bilan est nul : les émissions évitées par la méthanisation des fermentescibles et la récupération du gaz de décharge compensent les émissions produites à l'incinération.

Le bilan des émissions cumulées sur 25 ans est de 16 millions de tonnes évitées pour le scénario 1 (réf. parc EDF). En moyenne annuelle sur les 25 ans, cela représente 0,2% des émissions émises en France par an tous secteurs confondus²⁵. Dans le scénario 2, 40 millions de tonnes d'équ.CO2 seraient produites sur la période, soit en moyenne annuelle, 0,4% du total des émissions produites en France.

Emissions de gaz à effet de serre évitées par la récupération du gaz de décharge



Bilan d'une politique de tri et de récupération d'énergie

Afin de prendre en compte l'impact d'une politique de tri des déchets et de récupération d'énergie sur les émissions de gaz à effet de serre, nous avons fait le choix de comparer les scénarios 1 et 2 de traitement et de valorisation énergétique des déchets respectivement à des scénarios *sans récupération d'énergie*, ni développement de la collecte sélective.

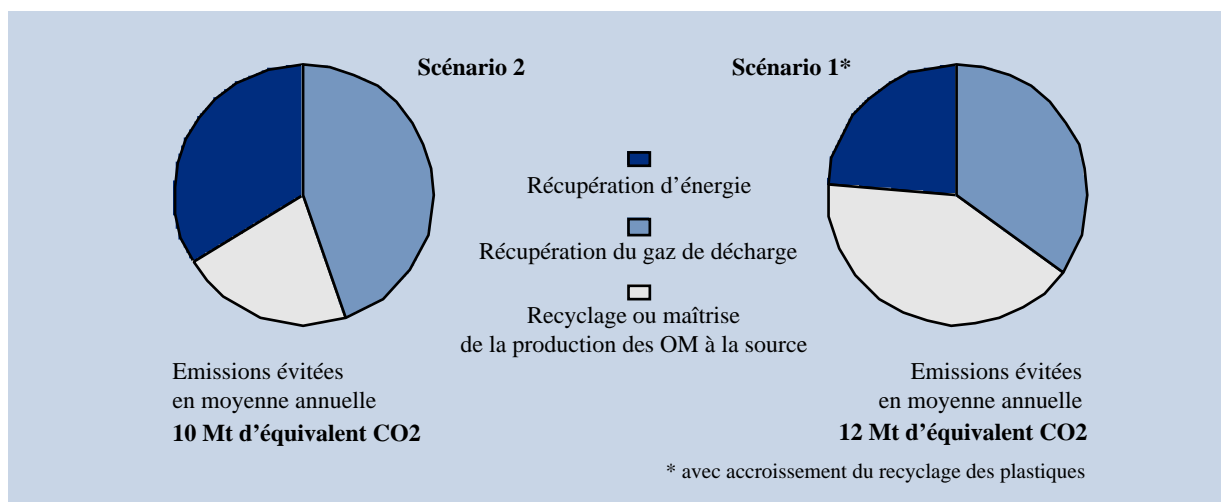
Nous faisons l'hypothèse que la part actuelle d'ordures ménagères traitée par incinération avec récupération d'énergie reste au taux actuel (27%), ainsi que les parts recyclée (4%) et compostée (7%). Selon une décroissance linéaire jusqu'en 2002, la part mise en décharge directement est supprimée au profit de l'incinération *sans* récupération d'énergie. La production de méthane annuelle des décharges des cinq sites existants (19000 tep/an) est stable jusqu'en 2002, puis s'épuise peu à peu au delà. Aucun nouveau site n'est

équipé. Par ailleurs, environ 25% du gaz de décharge est actuellement capté et brûlé en torchère, cette donnée est prise en compte dans tous les scénarios.

Il s'agit donc de scénarios très pessimistes, sans récupération d'énergie, ni politique de tri en vue du recyclage, du compostage ou de la méthanisation des déchets. Leur intérêt est de constituer une base de référence afin d'évaluer l'impact d'une politique volontariste de tri et de valorisation énergétique du traitement des déchets.

Un récapitulatif des résultats est présenté dans les tableaux suivants selon les scénarios 1 et 2. Selon le scénario 1 *sans récupération d'énergie* (sans RE), 9,2 Mt d'équ.CO2 seraient émises en 2002 et 12 Mt en 2020. Sur la période 1995-2020, cela représente en moyenne près de 2 Mt d'équ.CO2 par an, soit 2,4 % des émissions actuelles en France.

Impact du recyclage et de la récupération d'énergie sur les émissions de gaz à effet de serre par rapport à un scénario 2, sans récupération d'énergie ni collecte sélective



	2002			2020		
	Scénario 1	Scénario sans RE	Emissions évitées	Scénario 1	Scénario sans RE	Emissions évitées
Incinération	5,9	9,6	3,7	4,6	11,9	7,3
Méthanisation	-0,3	0	0,3	-0,7	0	0,7
Gaz de décharge	-7,9	-0,4	7,5	-2,4	-0,2	2,2
Solde	-2,3	9,2	11,5	1,5	11,7	10,2

	Cumul 1995-2020					
	Scénario 1		Scénario sans RE		Emissions évitées	
	Mt équ.CO2	%*	Mt équ.CO2	%*		
Incinération	114	1,2	227	2,5	113	
Méthanisation	-9	-0,1	0	0,0	9	
Gaz de décharge	-121	-1,3	-6,5	-0,1	115	
Solde	-16	-0,2	221	2,4	237	

* par rapport aux émissions actuelles

Une politique de collecte sélective, de recyclage et de valorisation de l'énergie permettrait donc d'éviter 237 Mt d'équ.CO2 sur la période 1995-2020 dans le scénario 1, en référence aux émissions du parc EDF.

Selon le scénario 2 *sans récupération d'énergie*, les émissions atteindraient 17 Mt en 2020, soit près de 5 % des émissions actuelles. Le scénario 2 procurerait un gain d'émissions de 256 Mt d'équ.CO2 par rapport à un scénario sans recyclage ni récupération d'énergie, soit environ 10 Mt par an. Ainsi que le montre les graphiques suivants, sur ce total, 115 Mt proviennent de la récupération du gaz de décharge, 56 Mt proviennent du recyclage (essentiellement des plastiques), et 85 Mt seraient évitées grâce à la récupération d'énergie se substituant à des énergies fossiles.

Si on compare le scénario 1 au scénario 2 de référence, incluant donc une maîtrise de la production des ordures ménagères à la source

**Scénario 1
Bilan
des émissions
de gaz à effet
de serre
par rapport aux
scénarios sans
récupération
d'énergie,
ni collecte
sélective en
millions de
tonnes
équivalent CO2**

Référence pour la substitution d'électricité : parc EDF

**Emissions évitées
Référence pour la substitution d'électricité :
centrale à gaz**

**Scénario 1 avec renforcement du recyclage
des plastiques et de la valorisation
de l'énergie en chaleur (Mt equ.CO2)**

	2002	2020	Cumul 1995-2020
Incinération	8,0	10,7	197
Méthanisation	0,5	1,3	19
Gaz de décharge	8,0	2,4	122
Solde	16,5	14,4	338

Cumul 1995-220	Scénario 1b	Scénario sans RE	Emissions évitées
Incinération	75	227	152
Méthanisation	-9	0	9
Gaz de décharge	-121	-6,5	115
Solde	-55	221	276

(390 kg/hab/an en 2020), l'écart est de 324 Mt d'équ.CO2. Sur ce total, en plus des 115 Mt dues à la récupération du gaz de décharge et des 76 Mt dues à la récupération d'énergie, 133 Mt proviendraient du recyclage et de la maîtrise de la production de déchets à la source.

Enfin, si on reprend la variante du scénario 1 la plus vertueuse, avec renforcement du recyclage des plastiques de 10% et de la valorisation de l'énergie en réseaux de chaleur, le gain en émissions par rapport au scénario 1 de référence, sans recyclage, ni récupération d'énergie est de 276 Mt d'équ. CO2. Près de 40 Mt sont donc évitées sur la période grâce à ces deux actions. Sur ces 276 Mt évitées, 115 seraient évitées par la récupération du gaz de décharge, 57 Mt proviennent du recyclage (contre 45 Mt dans le scénario 1 classique), et 104 Mt proviennent de la récupération d'énergie (contre 77 Mt dans le scénario 1 classique).

	2002			2020		
	Scénario 2	Scénario sans RE	Emissions évitées	Scénario 2	Scénario sans RE	Emissions évitées
Incinération	7,5	11,6	4,1	8,4	17,5	9,1
Méthanisation	-0,3	0	0,3	-0,6	0	0,6
Gaz de décharge	-7,9	-0,4	7,5	-2,4	-0,2	2,2
Solde	-0,6	11,2	11,8	5,3	17,3	12

	Cumul 1995-2020					
	Scénario 2		Scénario sans RE		Emissions évitées	
	Mt équ.CO2	%*	Mt équ.CO2	%*		
Incinération	170	1,8	302	3,3	132	
Méthanisation	-9	-0,1	0	0,0	9	
Gaz de décharge	-121	-1,3	-6,5	-0,1	115	
Solde	40	0,4	296	3,2	256	

* par rapport aux émissions actuelles

**Scénario 2
Bilan
des émissions
de gaz à effet
de serre
par rapport aux
scénarios sans
récupération
d'énergie,
ni collecte
sélective en
millions de
tonnes
équivalent CO2**

Référence pour la substitution d'électricité : parc EDF

**Emissions évitées
Référence pour la substitution d'électricité :
centrale à gaz**

**Scénario 2 avec renforcement du recyclage
des plastiques et de la valorisation
de l'énergie en chaleur (Mt equ.CO2)**

	2002	2020	Cumul 1995-2020
Incinération	8,7	13,6	231
Méthanisation	0,5	1,3	19
Gaz de décharge	8	2,4	122
Solde	17,2	17,3	372

Cumul 1995-220	Scénario 2b	Scénario sans RE	Emissions évitées
Incinération	124	302	178
Méthanisation	-9	0	9
Gaz de décharge	-121	-6,5	115
Solde	-7	196	302

Conclusion

• L'incinération des déchets conduit à un surplus d'émissions de gaz à effet de serre sur la période quels que soient les scénarios. Ce surplus est de l'ordre de 5 à 8 Mt d'équ.CO2 par an si on prend pour référence les émissions actuelles du parc EDF pour la production d'électricité. Dans le scénario 1, la limitation de la production d'OM à 390 kg/hab./an et de leur teneur en plastiques à 14%, conduit à un ralentissement des émissions produites au delà de 2002. Par contre, dans le scénario 2, les émissions de gaz à effet de serre continuent de progresser d'année en année.

• La méthanisation des déchets fermentescibles permet d'éviter l'émission de gaz à effet de serre de manière non négligeable, du fait de la substitution d'énergies fossiles par le biogaz. En 2020, les émissions évitées par la méthanisation des déchets compensent les émissions dues à l'incinération, dans le cas du scénario 1 et si on prend pour référence les émissions d'une centrale électrique au gaz naturel.

• La récupération du gaz de décharge permet d'éviter de l'ordre de 8 Mt d'équ.CO2 en 2002, année où la production de méthane est la plus importante compte-tenu de la loi sur la fermeture des décharges.

• Grâce essentiellement à la valorisation du gaz de décharge qui compense les émissions liées à l'incinération, le bilan global des scénarios de traitement des déchets est favorable

en 2002 avec 0,6 à 2,3 Mt d'équ.CO2 évitées (*réf. parc EDF*). Cependant avec l'arrêt de la mise en décharge, les quantités de méthane émises et valorisées s'amenuisent. Le bilan devient ainsi négatif : en 2020, entre 1,5 et 5,3 Mt d'équ.CO2 sont émises par l'ensemble des filières de traitement des déchets.

• Une analyse de sensibilité montre que le renforcement du recyclage des plastiques de 10% conduit à une baisse de 16% des émissions de CO2 de la filière incinération avec récupération d'énergie. Si, de plus, on favorise la valorisation de l'énergie en chaleur plutôt qu'en électricité (la part valorisée en chaleur passant de 35% à 57%), les émissions de gaz en effet de serre en 2020 sont réduites environ de moitié par rapport aux scénarios initiaux.

• Si l'on compare ces scénarios à des scénarios avec incinération sans récupération d'énergie et sans développement de la collecte sélective, on constate que le recyclage et la valorisation énergétique permettent d'éviter 10 à 12 Mt d'équ.CO2 en moyenne par an sur la période (*réf. parc EDF*). Dans le scénario 2 par exemple, sur les 10 Mt d'équ.CO2 évitées par an, 45% sont évitées grâce à la récupération du gaz de décharge, 33% grâce à la récupération d'énergie et 22% grâce au recyclage. Le bilan s'améliore encore si on limite la production de déchets à la source (*scénario 1*), ou si le recyclage des plastiques progresse.

Notes

(20) source: Inestene

(21) source: EDF, *Le tertiaire français*, 1995

(22) source: Ministère de l'Industrie, *Les consommations d'énergie dans l'industrie en 1990*. (Il s'agit de consommation sous chaudière.)

(23) Emissions produites en France en 1993 : 370 Mt d'équivalent CO2 (*source : Enerdata*)

Analyse sociologique

Analyse sociologique de la valorisation énergétique des déchets

De façon très générale le contenu de la loi de juillet 1992 est relativement mal connu. D'autre part, il semble que règne une grande confusion quant au sens qui peut être donné à l'expression "valorisation énergétique". Cette méconnaissance des textes et cette confusion concernant la valorisation énergétique vont croissant lorsqu'on s'éloigne des sphères de

décision (éloignement tant en terme de pouvoir que géographique). On retrouve ce phénomène aussi bien chez les particuliers, que chez certains exploitants, chez les industriels ou chez les maires des petites communes ou des communes les moins proches des grands centres urbains.

Les déchets, l'état des savoirs

Du côté du particulier

Notons une méconnaissance générale de ce qu'est un déchet. Le particulier craint surtout de voir son espace de vie choisi comme dépôt de la région. Certes, pour beaucoup, ce sont des intérêts patrimoniaux qui motivent cette crainte (dévalorisation du foncier local). L'argument écologique généralement avancé (éviter les pollutions, préserver le cadre de vie...) ne serait plus qu'un prétexte pour défendre des intérêts immobiliers.

Modifier ses habitudes n'est pas dans son habitude. A moins que toute la logistique nécessaire soit à sa disposition (l'espace, les diverses poubelles...), il n'est guère disposé à participer aux opérations préalables au recyclage.

Le particulier procède le plus souvent par un rejet global des responsabilités. Il accuse dans une même logique les politiques, les industriels et tous ceux qui produisent ce qu'ils se voient obligés de jeter (les emballages notamment).

Vis-à-vis du tri

Il semble que les gens trient du fait de la présence de conteneurs à proximité de leur domicile. La sensibilité existe donc, manquent les infrastructures (pas assez de conteneurs, pas assez diversifiés). Tris et recyclages étant supposés générer des emplois, même si ces opérations paraissent contraignantes, les particuliers semblent prêts en grande majorité à trier leurs déchets domestiques.

Vis-à-vis de la valorisation énergétique

On note une absence totale d'information sur la valorisation énergétique. De manière générale, les particuliers savent qu'il est possible de produire de l'électricité à partir de l'incinération des déchets. Ils savent que des logements sont chauffés à partir des incinérateurs dans la mesure où c'est le cas dans leur environnement proche, mais ils procèdent à un amalgame entre incinération et valorisation.

Du côté des industriels

La nouvelle réglementation (loi cadre du 13 juillet 1992) induit la nécessité pour les entreprises d'intégrer la maîtrise des déchets à leur gestion et la nécessité de réduire les flux générés, de trier à la source, de valoriser en tant que matières secondaires ou par traitement par une filière appropriée. L'élimination des déchets banals relève désormais de la responsabilité des entreprises qui les produisent.

Une enquête réalisée en 1994¹ a cependant révélé une réticence certaine à divulguer les données concernant les DIB, une méconnaissance générale de ce qu'est un déchet industriel, de ce qu'on peut en faire et surtout de ce

qu'il en advient quand on s'en est débarrassé, la méconnaissance des circuits à suivre pour solliciter aides et conseils, le manque de visibilité des entreprises habilitées à traiter les déchets, le manque d'information sur l'existant et les potentialités en terme de valorisation.

Cette enquête a conclu à un gisement dispersé et complexe autour d'un marché jeune qui se structure sur la base d'une forte mise en décharge.

Du côté des politiques

Pour l'homme politique, quelle que soit sa position locale, préserver une image (un mandat) reste essentiel. Il ne s'engagera donc que rarement dans des projets qui heurtent la sensibilité de ses administrés (l'implantation d'un site de traitement sur sa commune par exemple).

Parfois cependant, accepter un centre de traitement (attirait de la taxe professionnelle) peut relever de la nécessité pour une commune de trouver une solution à certaines difficultés financières. Par facilité, la plupart des élus restent favorables à des scénarios très classiques : incinération et mise en décharge. De la même manière, ils optent pour une autre solution de facilité : l'unité de traitement clef en mains grâce au tiers-investissement. En fait, ils manquent de compétences et se voient dans l'obligation de s'en remettre à des professionnels. Souvent, ils n'ont guère le choix et considèrent qu'il est préférable de ne pas s'opposer aux lobbyings.

Paradoxalement, ils semblent accepter difficilement les contre-propositions des associations de défense du fait qu'ils tendent à s'estimer comme étant les seuls à détenir une légitimité.

Quid de l'information ?

Toutes les enquêtes réalisées jusque là constataient une sous-information générale, l'usage d'un vocabulaire pas nécessairement adapté et une suspicion du type "on nous cache des choses", "on ne nous dit pas tout".

Pour notre part, nous avons constaté que l'information délivrée résulte d'une construction sélective, voire déformante du message. Cela s'explique du fait que les professionnels en charge des déchets semblent mal (ou pas) formés à la communication (absence de messages ciblés, irrégularité et "partialité" des informations). Il s'agit d'un métier neuf. Cela pose le problème de la crédibilité et de la légitimité des émetteurs.

Par ailleurs, lorsque des opérations sont

lancées, il semble que les populations ne soient pas informées. Ce qui paraît plus curieux, c'est que certains décideurs donnent la nette impression d'être eux-mêmes très mal informés. C'est ainsi que, par exemple, les mises en torchère contribuent à une certaine désinformation:

"si le méthane est brûlé, c'est donc qu'il ne présente pas d'intérêt"

On a pu noter un manque de visites sur les sites et la quasi absence de projections vidéo en direction des décideurs ou lors des réunions de réflexion pour choisir les scénarios de gestion des déchets. Il manque surtout de suffisamment d'informations pratiques, techniques et financières sur toute la longueur de la chaîne.

Quelques remarques sociologico-politiques

La réflexion obligée autour de la gestion des déchets est comme l'expression (le catalyseur) des clivages politiques locaux. Nous avons pu noter combien important les contextes locaux et les circonstances locales. Ils conditionnent la répartition des pouvoirs. L'histoire et la mémoire des lieux ne sont donc pas à négliger.

Une question de compétences

Nous avons constaté un problème de déséquilibre dans les connaissances mobilisées et mobilisables par les catégories de partenaires : ceux qui savent et qui "disposent d'une légi-

timité donc d'un droit à la parole", et ceux qui ne savent pas dont "la prise de parole est conditionnée par un devoir d'apprentissage"². C'est ainsi que d'aucuns mettent en avant le caractère irrationnel des propos de certains, considérant par là que seuls leurs propres propos ont statut de rationalité. Se profilent alors une série d'oppositions : les connaissances des uns viendraient raisonner les fantasmes des autres ; les risques réels relativiser les risques perçus. En somme, certains s'emparent du discours donc de la culture scientifique pour rejeter une culture de type plus empirique qui n'aurait pas lieu de se faire entendre.

Ainsi, on entendra des définitions du problème aussi diverses, et parfois incompatibles, que le sont les acteurs engagés dans la recherche de solutions. En réalité, la définition d'un choix de gestion des déchets s'apparente à un calcul politique et stratégique. Chacune des phases du processus décisionnel va supposer un choix politique.

Une concertation difficile

Outre la difficulté d'obtenir un consensus politique satisfaisant chacun des partenaires (communes, syndicats, conseils généraux, administrations de l'Etat, Conseil régional, associations locales), la mise en place des *Plans départementaux de gestion des déchets* supposait de réunir les collectivités concernées. Même si pour l'essentiel elles se sont regroupées autour de syndicats, les faire se retrouver toutes, régulièrement autour d'une même table ne semble pas avoir été possible.

C'est donc souvent par délégation qu'elles ont "pris part" aux discussions, aux réflexions, aux négociations. Ce sont généralement les plus petites qui se sont trouvées dans cette situation et qui n'ont participé en rien aux choix adoptés.

L'intérêt général au devant de la scène

Parce qu'il représente un obstacle aux prises de décision, le syndrome nimbyste est considéré comme une petitesse civique par les politiques. De ce fait, il viendrait s'opposer à la satisfaction de l'intérêt général. C'est ainsi que régulièrement, on note des tensions résultant de ce va-et-vient fréquent entre la nécessité de répondre à une mission de service public et la tendance à opter pour un mode de gestion très commercial du problème des déchets (recours à des privés, soumission aux grands groupes qui dictent leur loi).

L'approche sociologique

Quelques grands traits

Les enseignements de notre investigation sont de plusieurs ordres. Schématiquement, le premier blocage est bien politique, le second de l'ordre du financier, le troisième de l'ordre du lobbying.

Par ailleurs, le manque de *culture déchet* et d'information existe mais semble n'être qu'un alibi. De ce point de vue là, on a pu constater de grandes confusions quant à ce que recouvre l'expression "valorisation énergétique".

De même le débat énergie-environnement pose la question de la politique énergétique, notamment celle de la "monoculture énergétique". L'Etat est parfois accusé d'avoir abandonné sa mission de contrôle en faveur d'EDF et des groupes pétroliers...

Déchets : un mot connoté

Une analyse de contenu des entretiens montre combien deux mondes semblent s'opposer

dans l'imaginaire des personnes rencontrées : leur monde, nécessairement propre et le monde des autres, bien évidemment sale. Une saleté qui fait tâche d'huile. Dans le monde de référence, on ne gaspille pas, on consomme moins ou du moins on dit s'efforcer de consommer autrement. Dans l'autre monde, le gaspillage règne en maître et on jette beaucoup et sans états d'âme.

Quand on replace ces discours dans l'univers des prises de décision, on retrouve deux mondes : l'un dans lequel on cherche des solutions, l'autre dans lequel on cherche à se faire de l'argent. D'un côté, on oeuvre dans le souci de l'intérêt général, dans l'autre, ce sont les intérêts privés qui priment.

Les entretiens ont fait ressortir un ensemble d'appréhensions liées à l'univers du déchet. Il semble que ces craintes aient plusieurs origines :

- Tout ce qui a trait aux pollutions dont chacun a entendu parler et qu'il refuse de voir se produire dans son environnement proche avec un amalgame possible pollution-déchet.
- La non information ou la désinformation à propos des diverses possibilités de traitement et le manque de fiabilité de l'information.
- Le jeu des associations qui procèdent souvent par opposition systématique et diffusent des messages au contenu partisan.
- Des appréhensions médiatiques, liées également au manque de visibilité des modes de traitement envisagés (activités et destination des produits du traitement mal identifiés).
- L'incertitude à propos des risques et des nuisances de proximité, à propos des modes et dispositifs de contrôles.

C'est ainsi que gérer devient réduire les risques ou les éloigner (ce qui se traduit par "*les confier aux voisins*").

Un manque de culture déchet

Il est clair que les particuliers et les entreprises sont incapables d'évaluer tant les volumes que la composition des déchets qu'ils produisent. Quant à savoir ce qu'ils deviennent une fois débarrassés...

On note en fait une méconnaissance totale des modes de production et de gestion des divers types de déchets. Les maires n'en ont le plus souvent qu'une connaissance récente et parcelaire et les institutionnels s'en remettent aux bureaux d'étude et autres spécialistes pour évaluer les ressources et proposer des solutions. De fait, on traite plus le problème des déchets qu'on ne gère leur élimination.

Les ruraux sont plus sensibilisés que les urbains (parce que souvent plus habitués à trier, recycler et brûler leurs propres déchets). On relève donc une information incomplète, partielle et partielle.

Un problème social qui génère le doute

Le traitement du déchet est un problème face auquel le tout un chacun, voire les petites communes, se sentent impuissants et incompetents. Résultat de pratiques individuelles et collectives, le déchet prend des proportions économiques et techniques qui les dépassent. C'est ce sentiment d'impuissance qui génère peur et incertitudes.

Pourtant, d'aucuns s'accordent à dire que la gestion des déchets est considérée comme relevant du service public. C'est donc à l'Etat de s'en occuper, au même titre que la santé ou l'éducation. Paradoxalement, on manque de confiance ou on se méfie quant à ce que pourrait recouvrir toute politique de gestion. Le risque de transgression des contraintes régle-

mentaires est mis en avant. On craint en fait de voir des intérêts supérieurs prendre le pas sur l'intérêt collectif. On craint surtout d'avoir à subir des modes de gestion aberrants ou incohérents, sources de pollutions ou de dangers vis-à-vis des populations.

La perception de la valorisation énergétique

De manière générale

(non compris le "point de vue du particulier")

La valorisation énergétique est loin d'être la préoccupation majeure des personnes rencontrées. Pour quelques unes, ça ne représente que la "cerise sur le gâteau" ou "le sucré pour faire avaler l'acidité". Cela traduit une certaine méconnaissance de ce que le *déchet-énergie* représente.

Notons une absence quasi systématique de problématique globale. La gestion des déchets pensée par la loi de juillet 1992 se veut intégrée. Dans les faits, elle semble plutôt parcelaire ; privilégiant les solutions socialement acceptables et consensuelles aux solutions qui nécessitent la mise en cause de la culture du "tout incinération".

Comme si tout le monde oeuvrait dans l'urgence. Urgence signifiant répondre aux exigences de la loi, régler au mieux et sans heurts un objet potentiel de conflits locaux.

Rechercher les situations consensuelles, éviter les situations conflictuelles, telles semblent être les attitudes qui font le consensus. Ce point de vue est partagé par les associations de protection de l'environnement.

▀ *La valorisation énergétique en tant que telle*

Elle fait toujours et presque uniquement

penser à l'incinération. Le scénario "valorisation énergétique" est évoqué dans les plans départementaux dans la seule mesure où la loi l'oblige. Les scénarios alternatifs ne sont jamais préconisés comme des solutions à part entière, mais comme "le plus" de la solution "incinération".

Produire de la vapeur n'a de sens que si le principe de proximité est respecté et la saisonnalité contournée. Et produire de l'électricité ou du gaz n'a de sens que si EDF et GDF les rachètent à un prix économiquement acceptable.

▀ *L'incinération*

Incinerer pollue et occasionne des nuisances (bruits, odeurs, camions...). De façon générale, on n'en veut pas chez soi. Mais, couplée à la mise en décharge, c'est pourtant la solution de facilité par excellence. En fait, la "culture du tout incinération" est une "culture de facilité".

▀ *Le tri*

L'acte de trier est conditionné par la multiplication et la proximité des conteneurs. Ce n'est donc pas seulement une question d'information ou de culture. La sensibilité (l'effort) existe, manquent les infrastructures.

▀ *La méthanisation*

Méthaniser reste la grande inconnue parmi les modes de valorisation énergétique. Au pire, on ne sait pas ce que méthaniser veut dire, ni de quels procédés techniques cela relève. Au mieux, un petit nombre de nos interlocuteurs a pu nous dire qu'ils savaient que cette solution présente un côté aléatoire du fait du manque de références. Peu avaient pris la précaution de visiter un site ou visionner une vidéo au préalable. Pour la majorité, les opinions émises semblaient avoir été

construites à partir du "on-dit".

"C'est le marteau pour écraser la punaise"

"La loi a pour objectif de réduire la portion de fermentescibles des déchets à zéro. Méthaniser serait contradictoire avec la loi parce que ça nécessite la part organique que la loi veut éliminer..."

"Méthaniser c'est du folklore, une véritable fantaisie"

De toute évidence, méthaniser paraît compliqué. Purifier le gaz coûte cher. Poser des drains nécessite de stabiliser les déchets. C'est une solution considérée comme incertaine, non maîtrisée (de l'ordre de l'expérimental) et présentant des risques (dont les risques d'incendie et de toxicité...). Qui plus est, cela ne résout pas intégralement le problème de l'élimination des déchets.

Méthaniser implique des surcoûts (collecte préalable, incinération nécessaire malgré tout, raccordement à des réseaux de distribution de gaz, négociations avec GDF...). Cela ne peut s'envisager qu'en zone urbaine ou à proximité d'industries consommatrices de gaz. Qui plus est, l'expérience Valorga (considérée comme la contre-référence par excellence) est un prétexte pour ne pas s'engager vers cette solution.

"Aujourd'hui, il y a du biogaz à capter, mais est-ce que ce sera le cas après la fermeture des décharges en 2002"

Certains relèvent des incertitudes quant à la durée de la garantie des prix de rachat du gaz produit, quant aux débouchés, quant à la pérennité de la clientèle.

"c'est déjà bien compliqué sans elle"

Du côté des décideurs

► Une irresponsabilité qui a un prix

Beaucoup considèrent que même dans un

contexte de taxes élevées, la mise en décharge aurait un bel avenir. Les incinérateurs sont déjà suffisamment problématiques pour qu'on choisisse d'éviter de soulever de nouvelles polémiques.

► Une méconnaissance quasi générale de ce que recouvre la notion de valorisation énergétique

La valorisation énergétique ne semble avoir de réelle signification que pour ceux qui se sont intéressés de près aux diverses possibilités de gestion des déchets (ceux qui ont pris soin de s'informer, d'écouter les personnes ressources, de se plonger dans des revues spécialisées, d'étudier de façon comparée les techniques...). Pour les autres, les plus nombreux, réfléchir en terme de valorisation énergétique, c'est un discours de spécialiste, c'est presque de l'ordre du détail. C'est ainsi que la "valorisation énergétique" paraît comme une sorte de saupoudrage bonne conscience (histoire de respecter l'esprit de la loi).

► Les difficiles débuts de la planification de la gestion des déchets sont en grande partie imputables à la difficulté de dépasser les intérêts locaux particuliers

Même si le modèle de plan départemental proposé par l'ADEME fait souvent office de référence, ce sont les particularités de l'histoire locale, la répartition des pouvoirs à l'intérieur des collectivités concernées et entre collectivités qui impriment leurs marques aux décisions prises.

► Le peu de place réservée aux solutions alternatives dans les scénarios préconisés vient en partie d'un manque d'information et du pouvoir des opérateurs

L'enquête réalisée auprès des maires est révélatrice de l'ignorance de la majorité des décideurs vis à vis des solutions de valorisation entre lesquelles ils sont supposés choisir. Parce qu'il n'existe pas de catalogue des solutions envisageables qui présenterait les références, avec des résultats et des indications de coût, les décideurs s'en remettent aux scientifiques, aux experts ou spécialistes autorisés (du moins à ceux qui font autorité, une autorité bien particulière puisqu'elle repose sur le pouvoir des lobbys ou financier).

Quant aux responsables des Plans, ils doivent trouver des scénarios négociés. Entre plusieurs scénarios, c'est le plus efficace en terme de coût, de réalisation et de confort, le plus consensuel, le plus proche de l'existant finalement qui l'emporte.

► *L'éducation et les pratiques sociales des consommateurs justifient régulièrement le manque d'innovation dans les projets*

Changer des comportements (exiger de pratiquer un tri chez soi par exemple) apparaît comme étant de l'ordre du long terme donc non envisageable comme complémentaire à une solution dont le scénario devait être définitivement arrêté en février 1996.

La méthanisation qui suppose un tri à la base est de ce fait très vite écartée.

► *La gestion des déchets relève de l'application d'une politique publique*

Elle invite fortement à consolider les démarches intercommunales. Elle est surtout l'occasion de conforter ou de redistribuer les pouvoirs locaux. Elle suppose la recherche de compromis sur les modes de gestion (donc éviter les divergences de fond quant aux filières de traitement).

En somme, il convient de privilégier les solu-

tions socialement acceptables et consensuelles. Par ailleurs, la loi, assez floue, parle de "conditions économiquement acceptables".

La traduction locale de l'esprit de la loi reste à analyser dans le détail...

► *L'intérêt général, un principe bafoué*

Les déchets seront gérés de façon planifiée parce que la loi l'oblige. Ils seront valorisés énergétiquement parce que la loi le recommande.

En dehors des militants et des quelques rares écocitoyens, aucun des interviewés n'a mis en avant la participation à la préservation de l'environnement comme principe moteur. En ce sens, l'élaboration des Plans départementaux semble n'être qu'une réponse (obligée) du local à l'Etat.

Cela explique probablement en partie pourquoi on observe une tension entre la mission de service public et des modes de gestion très commerciaux du problème des déchets (recours à des privés, soumission aux grands groupes qui dictent leur loi).

► *La gestion des déchets justifie une analyse en terme d'enjeux sociaux*

Des logiques sociales divergentes constituent les freins essentiels à l'application de la loi de juillet 1992. Soit les concertations sont explosives, soit elles sont inexistantes et les décisions quasi imposées sous couvert de consensus.

Les projets en matière d'installation de centres de traitement ou proposant des solutions alternatives sont l'occasion de cristalliser ou d'exacerber les rapports de force.

► *La planification de la gestion des déchets s'inscrit dans une perspective d'aménagement du territoire*

La planification de la gestion des déchets oblige à réfléchir en terme d'économie d'échelle: le ou les centres de traitement devront être implantés dans des communes relativement centrales ne serait-ce que pour rationaliser les temps et les coûts d'acheminement des déchets ramassés alentour. Les réseaux de transport doivent être conçus en conséquence, ce qui représente un enjeu du point de vue de la mise en place de nouvelles infrastructures. Cela suppose quelques fois de nouveaux découpages territoriaux, la plupart du temps des regroupements communaux, et confirme l'obsolescence de l'échelle communale.

La réorganisation du territoire avec ce que cela suppose comme redistribution possible des zones de pouvoir devient centrale.

▮ *Le traitement des déchets est un marché économique avant tout*

La valorisation énergétique n'est pas une fin, mais un moyen. Elle peut devenir un prétexte pour consolider le pouvoir des monopoles énergétiques et des grands groupes tels la *Lyonnaise des Eaux* ou la *Compagnie Générale des Eaux*.

Du point de vue de la filière

▮ *Un problème de débouchés pour l'énergie produite*

Produire de l'énergie semble réalisable, mais la question qui revient systématiquement est celle de l'usage de l'énergie produite. Respecter l'esprit de la loi est envisageable mais à condition qu'existent des garanties de reprise de l'énergie.

▮ *Le manque de flexibilité de ces filières pose problème*

Ce point rejoint le précédent : si les débouchés disparaissent à un temps "t", quels recours

envisager ? Si la composition des déchets réceptionnés se modifie à terme, comment faire face ? Et si leur volume se réduit, et si de nouvelles normes européennes exigent des modifications dans les modes de traitement, comment s'adapter ?

▮ *Des partenaires incontournables: les holdings*

On connaît la politique monopolistique sans commune mesure dont font preuve les grands groupes. Ils s'investissent de façon tentaculaire dans les déchets afin de rester les interlocuteurs privilégiés pour ne pas dire uniques des collectivités locales, ce à tous les niveaux de la filière : collecte, transport, traitement, conditionnement, recyclage...

Leur puissance, leur poids économique démesuré, les situations de monopole qu'ils créent, leurs ramifications qui couvrent l'ensemble des services offerts aux collectivités pèsent de façon considérable dans les décisions en faveur de telle ou telle politique.

Les Plans Départementaux d'Élimination et de Gestion des Déchets

Leurs cahiers des charges suivent généralement la structure suggérée par l'ADEME. En Midi-Pyrénées, leurs contenus convergent vers le tout incinération ou presque. La valorisation énergétique est souvent évoquée parce que la loi la préconise, parce que brûler produit de l'énergie. Quant à savoir ce que devient l'énergie produite...

La valorisation énergétique n'est jamais une solution envisagée comme l'idéal à atteindre. Elle l'est dans les rares cas où une campagne de sensibilisation au tri à la source existe et s'accompagne d'une "*philosophie du déchet*"

(le déchet étant considéré comme une nouvelle matière première).

Dans la plupart des entretiens revient l'idée qu'il est inconcevable de créer certains modes de récupération si les filières n'existent pas. D'autre part, personne ne veut prendre de risques vis à vis de techniques considérées comme encore trop innovantes (méthaniser) et sans garantie.

Il est intéressant de noter le point de vue des maires interrogés. Les échéances fixées par la loi sont d'un avis unanime trop brèves pour informer et sensibiliser de manière significative les populations. Elles sont également trop courtes pour qu'ils puissent procéder à leur propre information sur les divers projets de traitement à envisager.

Les maires des communes les plus petites, les plus rurales ou les plus éloignées des grands centres urbains ont bien souvent découvert les divers modes de traitement des déchets par la loi (lorsqu'ils les ont découverts...). A leurs yeux tout se fait de façon précipitée au point qu'ils ne savent plus quelles sont les priorités et les rôles qu'ils peuvent jouer dans la planification préconisée.

"(...) on voit arriver toute une série de choses alors que c'est loin d'être étudié. Dans d'autres pays, ils ont pris une orientation depuis quelques années, nous, on se trouve devant le fait accompli (...). Dépêchez-vous vite de faire quelque chose! On n'a le temps ni d'étudier, ni de voir la meilleure solution de

traiter les déchets"

De manière générale, la phase de prospective est souvent trop brève pour bien choisir les industriels. Tout le monde s'accorde à dire qu'il faut travailler dans l'urgence. Qui plus est, pour se préserver contre les aléas des modes de consommation, tous les Plans tendent à prévoir des unités de traitement surdimensionnées.

"Planifier la gestion des déchets est suffisamment compliqué pour qu'on se donne les moyens de s'éviter d'y réfléchir de nouveau d'ici une dizaine d'années"

Cela reflète l'absence quasi générale de projections à dix ans, à vingt ans. De telles précautions sont prises aussi et surtout parce qu'il n'existe pas de référentiel unique en matière de consommation, de volume, de composition... Chacun se crée son propre référentiel, fabrique ses propres courbes...

Notes

1. Enquête réalisée en 1994 par l'ADEME, la Région Midi-Pyrénées (l'ARPE) et la CRCI auprès de 3500 entreprises industrielles et commerciales (commerces de plus de 400 M2), de plus de 10 salariés. 2300 ont été rencontrées et soumises à un entretien direct en face à face. L'objectif était de dresser un inventaire précis des DIB et d'en apprécier la destination finale (mise en décharge, destruction, valorisation matière ou énergétique).

2. R. BARBIER, *Etude sur l'implantation des usines d'incinération des ordures ménagères en milieu urbain*. Paris, ADEME, sept. 1994.

Conclusion

La principale difficulté du traitement des déchets tient dans la gestion des flux à moyen et long terme, compte-tenu du temps de mise en place des différents modes de traitement, et notamment des filières de collecte sélective dont l'efficacité dépend fortement de la sensibilisation et des pratiques des populations.

C'est ainsi que la loi sur l'interdiction de la mise en décharge des déchets non ultimes en 2002 comporte des aspects contradictoires avec une politique de développement du recyclage et de traitement biologique des fermentescibles ou encore de limitation de la production de déchets à la source. En effet, il est probable que les effets d'une telle politique seront réellement significatifs au delà de 2002, et conduiront à une réduction des quantités résiduelles à incinérer au cours du temps.

L'incinération est un mode de traitement très capitalistique. Son coût va probablement augmenter, il est de plus très sensible au facteur de charge. Il se passe généralement entre 4 et 8 ans entre la décision de construire une UIOM et sa mise en service. Pour respecter la loi sur l'interdiction de la mise en décharge directe, les collectivités locales sont donc contraintes de s'engager dès aujourd'hui sur des capacités d'incinération sans être certaines que celles-ci seront nécessaires à plus long terme. Ceci pourrait conduire à freiner les politiques de tri et le développement des modes de traitement alternatifs à l'incinération, pour simplement maintenir une certaine rentabilité des installations existantes. Or, les conséquences en terme d'émissions de gaz à effet de serre dues à l'incinération sont non négligeables et vont de fait à l'encontre des engagements pris par la France à ce sujet.

D'autant que, si les élus locaux semblent très sensibilisés à l'importance de la collecte sélective en vue du recyclage ou du traitement biologique des déchets, il en est autrement sur les enjeux des modes de valorisation énergétique et des conséquences environnementales, en particulier sur les émissions de gaz à effet de serre.

L'étude a mis en relief l'enjeu de la valorisation du biogaz, notamment en provenance des décharges afin de limiter les émissions de méthane. La substitution d'énergies fossiles par le biogaz permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre et justifie le développement d'une filière méthanisation par rapport à une filière de production directe de compost. La méthanisation en digesteurs concerne essentiellement les déchets de l'industrie agro-alimentaire dont les quantités sont importantes, ainsi que la fraction fermentescible des ordures ménagères.

La récupération d'énergie devient maintenant systématique en ce qui concerne les nouvelles installations d'incinération. Par contre, il semble que 4 projets sur 5 prévoient une valorisation en électricité seule, ce qui du point de vue à la fois du rendement énergétique et des émissions de gaz à effet de serre. Diverses raisons interviennent dans ces choix, notamment l'éloignement des UIOM des centres-villes et donc des usages possibles en chaleur.

Néanmoins, l'accroissement de la part des déchets urbains comme source d'énergie des réseaux de chaleur, qui était jusqu'à maintenant de 1% par an, risque d'être totalement stoppé. Pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, une politique favorisant la valorisation de l'énergie en chaleur, dans des installations en cogénération par exemple, serait nécessaire afin d'inverser la tendance actuelle et permettre une substitution plus importante d'énergies fossiles.

Les choix en matière de valorisation énergétique quels qu'ils soient, devraient non pas intervenir en fin de parcours comme une question annexe, mais être pris en compte à part entière dès la genèse des choix de traitement des déchets.



N.B. : L'ensemble des résultats de la première partie concernant les scénarios de valorisation (détaillés par région, source de déchets et par filière), ainsi que les données de la troisième partie concernant les émissions de gaz à effet de serre, font l'objet d'un document annexe disponible sur demande au CNRS-Ecotech.

Table des matières

SYNTHESE	7
INTRODUCTION	11
LES SCÉNARIOS DE VALORISATION	Première partie
Le traitement des ordures ménagères	13
Population et type d'habitat	14
Production et composition des ordures ménagères	15
Filières de traitement des ordures ménagères	17
Valorisation énergétique	21
Les résultats	23
Le traitement des déchets industriels banals	26
Production et composition des DIB	26
Filières de traitement des DIB	27
Valorisation énergétique	29
Les résultats	29
Les déchets des industries agro-alimentaires	31
Evaluation du potentiel mobilisable à des fins énergétiques	31
Valorisation énergétique	33
Les résultats	33
Le gaz de décharge	35
Tonnage enfoui, nombre des sites et répartition par taille	35
Potentiel énergétique techniquement récupérable	37
Valorisation énergétique du gaz de décharge	37
Les résultats	38
Les boues de stations d'épuration	40
Valorisation énergétique	40
Potentiel énergétique à l'horizon 2020	40
Les résultats	41
Bilan pour l'ensemble des déchets	42
Potentiel énergétique issu du traitement des OM, des DIB et des déchets d'IAA	42
Potentiel énergétique global	47
Conclusion	48
ANALYSE ÉCONOMIQUE	Seconde partie
L'incinération avec récupération d'énergie	51
Coût global de l'incinération avec récupération d'énergie	51
Le coût marginal de la production d'énergie	56
Perspectives d'évolution des coûts d'incinération	57
Conclusion sur l'incinération	57

La méthanisation des déchets ménagers	58
Le procédé de méthanisation	58
La valorisation énergétique du biogaz	60
Le stockage en centre d'enfouissement	63
Le coût de mise en décharge	63
La récupération du biogaz	63
Bilan économique de scénarios de traitement des déchets	65
Hypothèses	65
Construction des scénarios	68
Résultats des simulations	69
GAZ À EFFET DE SERRE	Troisième partie
Quelques éléments méthodologiques	73
Les substitutions d'énergie	73
Les émissions prises en compte	74
Bilan par filière de traitement de déchets	75
Bilan d'une politique de tri et de récupération d'énergie	81
Conclusion	84
ANALYSE SOCIOLOGIQUE	Quatrième partie
Les déchets, l'état des savoirs	85
Du côté du particulier	85
Du côté des industriels	86
Du côté des politiques	85
Quid de l'information ?	87
Quelques remarques sociologico-politiques	87
Une question de compétences	87
Une concertation difficile	88
L'intérêt général au devant de la scène	88
L'approche sociologique	88
Quelques grands traits	88
Déchets : un mot connoté	88
Un manque de culture déchet	89
Un problème social qui génère le doute	89
Une perception de la valorisation énergétique	90
Les Plans Départementaux d'Élimination et de gestion des déchets	
CONCLUSION	95