

**La récupération de l'énergie
issue du traitement des déchets**

Rapport de

Henri Prévot
Ingénieur général des mines

En réponse à une demande de Monsieur le Secrétaire d'Etat à l'industrie et de
Madame la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement

Introduction

Etudier la récupération de l'énergie des déchets conduit à considérer non seulement les aspects techniques et économiques mais aussi les effets sur l'environnement, notamment les émissions de gaz à effet de serre.

L'énergie des déchets sera récupérée après leur incinération ou après la fermentation (ou méthanisation) des fractions organiques. L'incinération (chapitre 2) produit la chaleur des fumées qui peut être récupérée sous la forme de vapeur ou sous la forme d'électricité, et des mâchefers, qui peuvent être utilisés dans les travaux publics. La méthanisation (chapitre 4) produit du biogaz en même temps que du compost ; son équilibre économique dépend beaucoup de l'utilisation de ces deux co-produits. Papiers, cartons et plastiques sont à la fois combustibles et recyclables ; il a donc fallu comparer les avantages et les coûts du recyclage et de l'incinération de ces matières (chapitre 3).

Comme les conclusions de ce rapport sont parfois différentes de l'opinion la plus courante, les calculs et les données numériques qui y conduisent sont tous explicités dans le corps du rapport ou en annexe. Pour faciliter la lecture, chaque chapitre est précédé par un résumé de quelques lignes. Les propositions sont récapitulées dans le dernier chapitre (chapitre 7).

Parmi les conclusions et les propositions, les principales sont les suivantes :

- la récupération de l'énergie des déchets ne représente pas un enjeu significatif pour l'indépendance énergétique du pays (chapitre 1) ; par contre, pour chaque projet, la prise en compte de son incidence sur les émissions de gaz à effet de serre peut avoir un effet déterminant
- la production d'électricité à partir de la chaleur fournie par les fumées d'incinération ou la combustion du biogaz ne présente guère d'intérêt économique. Par contre l'utilisation directe de la chaleur présente un plus grand intérêt économique et environnemental ; rendre possible l'utilisation de cette chaleur relève de la politique de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire. L'injection de biogaz épuré dans le réseau de distribution de gaz est également intéressante si elle n'est pas interdite du fait de la présence de toxiques (chapitres 2 et 6)
- à l'origine de la politique de recyclage, on trouve la volonté d'économiser des ressources non renouvelables ; or un autre objectif est apparu, la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre. A cet égard, il vaut mieux brûler le papier ou le carton et récupérer la chaleur que de les recycler ; il en est parfois de même du plastique (chapitre 3)
- parallèlement, pour augmenter les quantités de matériaux combustibles recyclés, les dépenses de collecte séparée au porte à porte sont incomparablement supérieures à l'avantage éventuel que représente le recyclage par rapport à l'incinération (chapitre 3)
- la production de biogaz sera encouragée si, parallèlement, le compost trouve un bon débouché ; cela demande une réflexion sur le tri des parties fermentescibles et sur les spécifications d'un « bon » compost ; à cet égard, la collecte sélective au porte à porte des déchets toxiques des ménages pourrait devenir un des objectifs majeurs de la gestion des déchets ménagers (chapitre 6)
- pour trouver entre les valorisations sous forme de matière ou d'énergie un équilibre qui soit fondé sur les coûts et les avantages de chacune, il convient d'aider l'une et l'autre à la même hauteur ; il semble utile pour cela d'utiliser un indice synthétique de valorisation (chapitre 6)
- on obtiendra, aux meilleurs coûts, un bon taux de valorisation à la fois de la matière et de l'énergie en associant la collecte en apport volontaire du verre et des déchets verts, la méthanisation des parties fermentescibles et l'incinération des parties combustibles avec utilisation locale de la chaleur (chapitre 5)
- pour éviter les dérives que l'on observe aujourd'hui, il importe que les opérateurs et les citoyens-contribuables-consommateurs soient bien informés des coûts et avantages des différents modes de traitement ; un observatoire national des coûts devrait définir une politique de collecte et de diffusion de l'information et les conseils municipaux devraient être systématiquement informés des dépenses engagées par la commune, comme ils le sont de la gestion de l'eau. Cela contribuerait à faire mieux jouer les ressorts de la démocratie locale.

Table des matières

Introduction	P 1
Chapitre 1 : la situation	P 4
Le périmètre couvert	P 4
Les quantités et les flux annuels - divers modes de classification : origine, type de collecte, type de matière, destinations possibles	P 5
Une évaluation maximale des possibilités énergétiques	P 12
Incidence sur l'effet de serre	P 14
Chapitre 2 : l'incinération des déchets	P 18
L'incinération dans un four à grille la technique, les coûts,	P 18
La thermolyse	P 21
Commentaires sur l'économie de l'incinération : équilibre économique de la récupération d'énergie, dimensionnement des unités d'incinération, le coût marginal, le financement des investissements	P 23
Les combustibles de substitution	P 28
Prendre en considération l'effet de serre	P 29
Annexe I : taille et nombre optimum d'unités d'incinération	P 30
Annexe II : Les effets externes du transport	P 32
Chapitre 3 : les déchets à la fois recyclables et combustibles	P 34
Le recyclage sans financement public	P 34
Le coût et l'efficacité de la collecte et du tri des produits à recycler : porte à porte ou apport volontaire	P 35
La valeur du produit collecté, valeur marchande et avantages externes	P 38
Le coût du recyclage, comparé à celui de l'incinération	P 41
Pour le recyclage du papier et du plastique, un effort démesuré : combien verse Eco-emballage, pourquoi un tel effort	P 42
Comment orienter les matières recyclables et combustibles vers leur meilleure destination	P 46
Annexe I : incidence sur l'effet de serre du recyclage ou de l'incinération du papier ou du plastique (où l'on voit que le recyclage de papier a un effet défavorable sur l'effet de serre)-	P 48
Annexe II : une récente étude allemande sur recyclage ou incinération : présentation et commentaires	P 51
Annexe III : le rapport coût/performance de la collecte sélective	P 53
Chapitre 4 : La production de méthane par fermentation de la part organique des déchets	P 54
La méthanisation en digesteur : le principe, la technique, les coûts d'investissement et de fonctionnement, méthanisation ou compostage	P 54
La récupération du méthane des décharges : production d'énergie, coût de mise en décharge, coûts externes, l'effet de serre	P 57
La méthanisation poussée très loin sur une longue durée : la technique, les coûts d'investissement et de fonctionnement, commentaires	P 60
Chapitre 5 : comparaison de quelques scénarios de valorisation énergétique	P 63

La situation commune aux divers scénarios	P 63
Le scénario de référence : le « tout incinération »	P 65
Quelques scénarios : méthanisation des parties fermentescibles triées à la source / en apport volontaire / triées sur le site / méthanisée sans tri, le digestat étant mis en décharge / enfouissement pour méthanisation poussée	P 65
Commentaires sur ces comparaisons	P 70
Tableau comparatif	P 71
Chapitre 6 : valoriser la production des unités de traitement productrices d'énergie	P 72
La signification administrative du mot valorisation, la circulaire d'avril 1998, proposition d'un indice synthétique de valorisation	P 73
La récupération de l'énergie : rappel des données économiques et de l'effet de serre / quelques exemples d'utilisation de la chaleur	P 76
Pour que l'énergie soit récupérée sous forme d'électricité	P 80
Pour que l'énergie soit récupérée sous la forme de chaleur : trouver des débouchés locaux / les réseaux de chaleur / se rapprocher des zones de consommations / internaliser l'effet de serre / le biogaz face à la concurrence des tarifs à souscription / pour transporter le biogaz, un régime juridique adapté	P 81
La production et la vente de gaz à injecter dans le réseau public : la sécurité et la santé publiques / une obligation d'achat ? / subventionner l'investissement	P 84
La valorisation des co-produits de la production d'énergie, mâchefer et composts : la situation des composts de méthanisation / une démarche de fond sur plusieurs fronts : recherche, réglementation et normalisation / la politique de l'ADEME / étudier aussi l'extraction sur site des fractions fermentescibles / mettre en place une collecte efficace des déchets toxiques des ménages	P 86
Chapitre 7 : Propositions pour une action de l'Etat	P 92
Considérer également valorisation énergétique et valorisation matière	P 93
Préserver la sécurité et la santé publique	P 94
Compenser par les instruments économiques l'incidence sur l'effet de serre	P 94
Equilibrer les conditions de la concurrence entre les énergies produites par les déchets et les autres formes d'énergie	P 96
Contribuer à la baisse du coût des traitements qui produisent de l'énergie	P 97
Annexe : un indice synthétique de valorisation des déchets	P 100
Annexe I : Les données numériques auxquelles se réfère l'étude	P 101

Chapitre 1

La situation

Les matières, les quantités Une évaluation maximale des possibilités énergétiques des déchets et de l'incidence sur l'effet de serre

Il peut être efficace de traiter dans les mêmes installations des déchets ménagers et les boues de station d'épuration, des déchets placés sous la responsabilité des communes et des déchets industriels banals apportés directement par les entreprises ou des déchets d'origine agricole.

J'ai donc essayé de réunir un ensemble de données cohérent sur les flux de déchets. C'est très difficile car les classifications et les définitions varient selon les sources qui, elles-mêmes, rencontrent des difficultés à réunir les données de base.

J'ai tenté de présenter ces flux selon leur origine, puis selon le type de collecte, puis selon leurs caractéristiques physiques et le mode possible de traitement.

Parmi les déchets qui sont de la responsabilité des communes, les fermentescibles autres que les papiers cartons représentent près de la moitié (après avoir ramené la teneur en eau des boues au niveau des autres fermentescibles), les papiers cartons un tiers, les combustibles non fermentescibles (dont les plastiques) un cinquième. Parmi l'ensemble des déchets produits par les ménages, les collectivités et les entreprises (y compris agroalimentaires), les communes sont responsables de la collecte des 5/6 de l'ensemble des déchets plastiques, des 2/3 des papiers mais d'un quart seulement des matières fermentescibles.

Même si tous les déchets des ménages et de l'industrie étaient transformés en énergie, la contribution de ce secteur resterait de l'ordre du pour-cent de la consommation totale. La contribution du secteur agricole pourrait porter ce chiffre à quelques pour-cents.

L'impact sur l'effet de serre de la récupération de l'énergie des déchets dépend bien sûr de la nature de l'énergie à laquelle elle se substitue, fuel, gaz, énergie nucléaire ; à ce propos, la réflexion doit être menée dans une optique communautaire, en tenant compte de la structure de production des différents pays et aussi des caractéristiques techniques et économiques de la production d'électricité à partir des déchets, qui situent cette forme d'électricité « en base ». Globalement l'incidence sur l'effet de serre de la récupération de l'énergie des déchets des ménages et de l'industrie est de l'ordre de quelques milliards de francs par an.

Bien que cette incidence globale soit modeste, la prise en compte de l'effet de serre est susceptible de modifier considérablement l'économie de chaque projet.

1- De quels produits parle-t-on ici ? Le périmètre couvert

1.1 : Plusieurs modes de classification des déchets

Il est habituel que le premier critère de classement des déchets soit **leur origine** : ménages, entreprises, communes, agriculture. Dans un deuxième temps, on distingue généralement plusieurs natures de déchets : putrescibles, y compris boues de stations d'épuration ou déchets d'espaces verts par exemple, emballages, déchets industriels banals ou spéciaux.

Une autre approche est de regrouper les déchets en fonction du **mode de collecte**. Alors on parle de déchets "ménagers et assimilés", c'est à dire tout ce qui est collecté par les communes soit directement (régie) soit en sous-traitance ("à l'entreprise"). On y trouve les déchets des ménages et les déchets des commerces, artisans et petites entreprises collectés de cette façon. N'en font pas partie les déchets des ménages qui suivent un circuit spécifique (par exemple les piles électriques ou les médicaments qui

sont rapportés directement aux magasins ou aux pharmacies), catégorie qui représente encore de faibles volumes mais qu'il importe de mentionner pour deux raisons : d'une part, il s'agit souvent aujourd'hui de produits toxiques et d'autre part ces filières spécifiques pourraient se multiplier si la thèse selon laquelle le responsable de l'élimination des déchets est celui qui met sur le marché le produit neuf s'étendait à de nouveaux produits.

On peut aussi classer les déchets en fonction non plus de leur origine ni de la façon dont ils sont collectés, mais *en fonction de la façon dont ils sont traités et du résultat de ce traitement* : forme et quantité d'énergie, nature des produits issus du traitement. En adoptant ce point de vue, on s'aperçoit de l'utilité d'*élargir le périmètre d'observation*. Un mode de traitement ou des circuits de collecte qui seraient impossibles ou coûteux si l'on se limitait aux déchets traités sous la responsabilité des communes peuvent devenir très intéressants si l'on y ajoute des matières provenant de l'industrie ou de l'agriculture. On peut d'abord estimer que le paysage en sera compliqué avec l'augmentation du nombre d'acteurs mais on constatera qu'il se simplifie lorsque cette approche permet de mieux répondre aux contraintes techniques ou économiques : l'apport de matières venant de l'industrie, du commerce ou de l'agriculture peut améliorer la composition des produits entrant dans un processus de traitement ou porter les quantités à un niveau qui justifie d'investir dans le procédé le plus adapté.

1.2- Le périmètre couvert

Ce rapport considèrera donc non seulement ce qu'il est convenu d'appeler "déchets municipaux" (c'est à dire ce qui est collecté par les communes) mais aussi les déchets d'autres origines lorsque leur apport rendra possible au point de vue technique ou économique de traiter au mieux les déchets municipaux. A contrario on verra à quel point la collecte séparée, par la commune ou par des voies spécifiques, des déchets toxiques en quantités dispersées influe sur les possibilités de traitement et notamment sur la valorisation énergétique des déchets.

2- Les quantités et les flux annuels

Il s'agit ici de donner des ordres de grandeur en fonction de différents critères de classification.

Les sources sont pour l'essentiel les publications de l'ADEME - complétées pour quelques-unes d'entre elles par des indications non publiées -, et aussi des données en provenance de la Fédération française des professionnels du recyclage FEDEREC. Les déchets des entreprises sont "banals" ou "spéciaux". Les seconds sont toujours évacués par les entreprises ; on les appelle DIS. Les premiers sont évacués directement par les entreprises (on les appelle alors DIB) ou collectés par les communes ; ils entrent alors dans les "déchets ménagers et assimilés".

2.1- Une classification par origine :

Il n'est pas très facile de trouver un ensemble de chiffres cohérents sur l'origine et la destination des déchets, mais les différences entre les données chiffrées selon les sources sont de peu d'importance pour notre propos. La suite du rapport se base sur les données suivantes :

- *Les ménages* produisent **26 millions de tonnes (MT)** de déchets par an. On cite habituellement 20 MT de déchets ménagers collectés stricto sensu ; il faut y rajouter 6 MT d'encombrants.

- *Les autres déchets communaux ou municipaux* (on lit les deux expressions ; on lit aussi "déchets des collectivités" ou encore « déchets communaux » pour signifier ce qui n'est pas déchets ménagers et assimilés) : **16 MT** ; ce sont les déchets de jardins et espaces verts publics, des installations municipales (écoles, éventuellement hôpitaux etc.) et les déchets de voirie ; on y trouve aussi les boues de station d'épuration pour 10 MT de poids humide (elles contiennent 10% de matière sèche).

Pour les autres déchets communaux hors les boues, certaines sources donnent 12 MT ce qui, après en avoir parlé avec les spécialistes de l'ADEME, paraît très excessif.

- **Les entreprises** (y.c. les IAA) produisent **100 MT** de déchets (hors gravats) dont 5 MT sont collectés par les communes, et dont 43 MT sont des déchets organiques des IAA (à forte teneur en eau), et 18 MT sont des DIS (on lit aussi 9 MT).

- **L'agriculture** génère **340 MT** de « déchets » – à forte teneur en eau. Mais ces matières relèvent d'une logique complètement différente de celle des déchets des ménages ou des entreprises au point que l'on peut se demander s'il faut les désigner du terme de déchets. L'agriculteur ne cherchera pas à les éliminer mais à les faire revenir dans le sol. Dans quelques régions d'élevage intensif, se pose la question de l'excès d'azote : le traitement des déchets aura alors pour but soit de remettre l'azote sous une forme minérale (azote gazeux), soit de rendre plus facile le transport de ces matières vers de régions qui ont besoin d'azote ; le traitement des déchets pourra également avoir comme objectif de produire de l'énergie ; mais ce sera le plus souvent un objectif second qui ne suffit pas à faire prendre la décision de traiter les déchets.

Pour mémoire, les entreprises produisent aussi 100 MT de gravats ; nous n'en parlerons plus.

2.2- Une classification par type de collecte

- **Les collectes municipales**, y compris les apports volontaires en colonnes ou igloos et déchetteries, y compris les collectes des autres déchets municipaux sans les boues, drainent **37 MT** – soit 20 MT de déchets des ménages sans les encombrants, 6 MT d'encombrants, 6 MT d'autres déchets municipaux (sans le boues) et 5 MT en provenance des entreprises.

- **Les eaux usées des communes** génèrent **10 MT** de boues à 10% de matière sèche alors que le taux de matière sèche des autres matières fermentescibles contenues dans les déchets ménagers est de 30 à 50 %.

- **Les collectes de déchets industriels**, hors ce qui est collecté par les communes, drainent **95 MT de DIB** (dont 43 de déchets organique des IAA) et **18 MT de DIS**.

- **L'agriculture** "fait son affaire" de **340 MT**.

Pour mémoire, il faut ajouter les DTQD collectés par des voies spécifiques et insérer dans les chiffres ci-dessus les 2 millions de tonnes de déchets de l'automobile dont le statut est très incertain (déchet des ménages ou DIB, collecte spécifique ou collecte municipale ?).

2.3- Une classification par type de matière

On s'appuie sur les données de l'ADEME : "compositions des ordures ménagères en France" et "déchet industriels banals, quel tonnage ?".

- **Dans les ordures ménagères et assimilées** (déchet des ménages hors les encombrants et déchets de entreprises collectés par les communes), soit 26 MT (en poids humide) dans les données de référence de l'ADEME (mais 25 selon les chiffres donnés plus haut ; la différence importe peu), on trouve :

En milliers de tonnes	%	Tonnages
Fermentescibles	28,6	7436
papiers cartons (*)	25,4	6604
Plastiques (**)	11,1	2886
autres combustible fermentescibles	3,1	806
autres combustibles non fermentescibles	7,3	1898

Verre	13,1	3406
Métaux	4,1	1066
autres incombustibles	7,3	1898
Total	100	26000

(*) Une partie vient sans doute des entreprises - cf. ci-dessous

(**) Ce chiffre doit être commenté : il correspond à un rejet de 500 grammes de plastique par ménage de quatre personnes et par jour, soit près de 400 grammes de poids sec, ce qui est hors de proportion avec ce que l'on observe pour un ménage. Dans les emballages collectés par les communes, la part des déchets d'entreprises est supérieure à ce que les entreprises apportent en moyenne dans l'ensemble des déchets collectés par les communes ; la Communauté urbaine de Lille l'a mesurée à 30%

- Dans les autres déchets communaux,

- les boues de stations d'épuration : il est habituel d'ajouter purement et simplement leur poids à celui des autres déchets collectés par les communes ; compte tenu du faible taux de matière sèche, cette méthode n'est pas satisfaisante ; parfois on indique le poids de matière sèche, ce qui n'est guère satisfaisant non plus puisque les autres quantités sont estimées le plus souvent en « brut » ; ici, pour pouvoir ajouter le poids de boues à celui des autres matières putrescibles, je retiendrai un poids de boue dont la teneur en matière sèche est voisine de celle des déchets putrescibles (35%), soit 3 MT de boues au lieu de 10 – cette méthode, non conventionnelle, est commode pour évaluer le pouvoir calorifique ou méthanogène de l'ensemble des parties fermentescibles des déchets traités par les communes.

- les autres déchets communaux : 6 MT. Ils comprennent 2 MT de déchets verts ; pour le reste, faute de mieux, nous supposons qu'ils sont faits pour 1 MT d'inertes, 2 MT de matières putrescibles, 0,5 MT de papiers cartons et 0,5 MT de combustibles non fermentescibles.

- Dans les DIB :

On entend ici par DIB les déchets des entreprises qui *ne sont pas* collectés par les communes - cela pour éviter les doubles comptes avec les "déchets assimilés" (dans la littérature, tantôt les DIB incluent ces déchets collectés par les communes, tantôt ils ne les incluent pas). On retiendra seulement ici les quantités de plastiques, de papier carton et de matières fermentescibles des IAA.

Pour mémoire, la production de déchets de verre est de 0,4 MT, celle de métaux est de 3 MT et celle de bois de 8,8 MT : ce dernier produit est une bonne source d'énergie mais relève d'une autre problématique.

Pour les plastiques et le papier-carton, l'ADEME donne les chiffres suivants :

- plastiques : 0,5 MT
- papier carton : 3,4 MT.

Commentaires sur la répartition par mode de collecte - comme test de cohérence

- **Les plastiques** : la production totale de plastique est en France de 5 MT et les quantités de déchets totales seraient de moins de 3 MT (selon ADEME et FEDEREC). La différence correspond à une augmentation des quantités en cours d'usage, dans l'automobile ou le bâtiment en particulier. Dans les ordures ménagères on en trouve 2,7 MT en poids sec, dans les autres déchets communaux, mon estimation serait de 0,5 MT en poids humide ou 0,4 MT en poids sec ; avec les 0,5 MT de DIB on arrive à 3,6 MT, ce qui n'est pas cohérent avec le chiffre de production totale de déchets annoncé, soit 3 MT ; mais ce dernier chiffre, qui correspond à un doublement de la quantité de plastique en cours d'utilisation en deux ou trois ans est peut-être lui-même sous évalué. Les plastiques en provenance des entreprises s'élèvent peut-être à 2 MT dont 1,5 MT collectés par les communes. Il

paraîtrait utile de mieux cerner les flux de plastique en provenance des entreprises et collectés par les communes compte tenu des enjeux financiers - montant possible des "redevances spéciales" et calcul des subventions d'Eco-emballage.

- **Papiers cartons** : Dans les déchets ménagers et assimilés on trouve 6,6 MT de papier carton dont une partie provient d'entreprises. Avec les 3,4 MT de DIB, on arrive à 10 MT auxquels il convient d'ajouter ce qui se trouve dans les autres déchets communaux, 0,5 MT selon mes hypothèses, soit au total 10,5 MT chiffre proche de la production de papier-carton.

- **Les IAA** produisent 43 MT de déchets fermentescibles à forte teneur en eau.

- **L'agriculture** produit 340 MT de matières fermentescibles à forte teneur en eau.

- **Tout compris** on peut donc réécrire le tableau des déchets.

Pour simplifier, et comme il s'agit ici de travailler sur l'utilisation énergétique des déchets, sont conservés les poste "papier-carton" et plastiques, regroupés dans un même poste tous les incombustibles, dans un autre poste tous les fermentescibles autres que le papier carton et dans un autre tous les combustibles non fermentescibles.

	OM et assimilés	Autres déchets communaux	DIB	Agriculture	TOTAL
Fermentescibles hors pap . cart	8242	7000	43000	340000	400000
			fort % en eau	fort % en eau	
papier carton	6604	500	3400		10504
Plastiques	2886	300	500		3686
autres combustibles peu ou pas fermentescibles	1898	200			2098
Incombustibles	6370	1000	pm		
Total	26000	9000			

Ces chiffres n'incorporent pas les 6 MT d'« encombrants ».

On rappelle que les boues de stations d'épuration, 10 MT à 10% de matière sèche, sont comptées pour 3 MT pour pouvoir être ajoutées à la « fraction fermentescible des ordures ménagères » et aux déchets verts. Dans les « combustibles peu ou pas fermentescibles », on trouve notamment les textiles.

Ces chiffres montrent deux choses intéressantes pour la suite :

- alors que les fermentescibles (y compris le papier carton) collectés par les communes font près de deux tiers des déchets communaux, ils ne représentent que la moitié des déchets fermentescibles des IAA en poids humide ; à l'intérieur de ces chiffres, les communes collectent les 2/3 des déchets de papier carton.
- Par contre, les plastiques collectés par les communes ne font que moins de 10% en poids des déchets communaux, mais représentent 80 % du total des déchets plastiques (hors agriculture)

2.4- Classification selon les destinations techniquement possibles - présentation simplifiée

2.4.1- Les destinations techniquement possibles

On retiendra comme destinations possibles, en commençant pas celles qui permettent de récupérer de l'énergie

- la combustion avec ou sans production de chaleur et d'électricité

- la méthanisation avec production de compost et de biogaz
- la fabrication de combustibles de substitution
- le recyclage matière, sans compter les composts ni les mâchefers d'incinération
- le compostage
- la mise en décharge avec récupération de biogaz : elle produit de l'énergie mais, à elle seule, ne peut pas être considérée comme un mode de traitement.

Je me limiterai ici à donner les indications qui suffisent à faire un classement grossier des déchets en fonction des destinations possibles ; je reviendrai plus longuement sur les caractéristiques de ces différentes destinations.

Note sur les unités de mesure de chaleur : pour mesurer des PCI, l'unité pratiquée est le Kcal/kg ; l'unité officielle est le KJ/kg, mais elle n'est pas pratiquée ; les quantités de chaleur sont exprimées en KWh – qu'il faut veiller à ne pas confondre avec des KWh électrique ; on utilise aussi la tonne d'équivalent pétrole – tep – ou le kilo d'équivalent pétrole –le kep. Le kep vaut 10 000 kcal ou 11,6 kWh thermique.

La combustion

La méthode la plus habituelle est la combustion dans des unités d'incinération d'ordures ménagères, UIOM. La plus petite dimension économiquement raisonnable est de 50 000 T/an de déchets à PCI moyen de 2000 kcal/kg ; compte tenu des effets d'échelle, il vaut beaucoup mieux atteindre ou dépasser 100 000 T/an (tout cela est commenté dans le chapitre sur l'incinération).

La thermolyse produit d'une part de la chaleur (provenant surtout de la combustion des gaz dégagés par les ordures portées à haute température) et d'autre part un combustible très chargé d'impuretés et de faible pouvoir calorifique. Dans un procédé voisin, le combustible solide est brûlé en fin de process dans la même enceinte, les fumées de combustion servant à chauffer les matières dans la première partie du process.

La chaleur de combustion, si elle est récupérée, produit de la vapeur qui peut être utilisée comme vecteur de chaleur ou pour faire de l'électricité. L'incinération de 100 000 tonnes d'ordures ménagères procure 15 000 tep de chaleur utilisable (170 GWh thermiques, soit 1700 KWh par tonne) ; si toute cette chaleur est transformée en électricité, elle produira 43 GWh d'électricité. Si l'option est de produire de la chaleur, il peut être intéressant néanmoins de produire en même temps de l'électricité.

Le compostage et la méthanisation

C'est une transformation biologique à basse température des fractions organiques, aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation). Les deux donnent un produit qui peut servir, tel quel ou en mélange avec d'autres produits, d'amendement organique, de support de végétation ou d'engrais. Le compostage libère dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique une partie du carbone organique (et dégage, s'il est mal conduit, une forte odeur désagréable) ; la méthanisation s'opère en milieu fermé et transforme une partie du carbone en méthane ce qui forme le *biogaz*, gaz combustible qui peut avoir plusieurs destinations : production de chaleur avec le cas échéant production d'électricité ou, après épuration, injection dans le réseau de gaz (sous réserve que le produit ne soit ni corrosif ni toxique).

L'avenir de ces techniques dépend de l'usage qui sera fait des composts ou digestats qu'elles génèrent, sujet sensible aujourd'hui. Il dépend aussi de ce que décideront les agriculteurs.

Une tonne de fermentescibles à 60 % d'humidité donne un biogaz dont le pouvoir calorifique est de 700 KWh. Si la chaleur de combustion du biogaz peut être utilisée directement, la chaleur utilisable est environ les deux tiers de la chaleur utilisable provenant de la combustion de cette fraction fermentescible.

Le recyclage

Le plus souvent les déchets sont mélangés. Dans ce cas, l'opération de recyclage demande d'abord un tri qui peut s'opérer soit à la source, c'est à dire par l'habitant lui-même ou l'entreprise, soit sur site, c'est à dire dans un centre de tri ou chez l'industriel qui emploie le produit recyclé. Le tri à la source n'est jamais suffisant ; il est toujours complété par un tri sur site, parfois une opération simple qui entraîne peu de rejets, parfois une opération coûteuse. Le tri à la source des ordures ménagères demande à l'habitant une contribution non rémunérée et en même temps, sauf apport volontaire, exige une collecte sélective qui entraîne un surcoût – qui est très élevé dans le cas des emballages plastiques - cela sera développé dans le chapitre 3 qui traite des matériaux à la fois recyclables et combustibles.

- Le recyclage du verre est une pratique ancienne ; aujourd'hui plus de la moitié du verre est recyclé, soit 1,6 MT pour une production de 3 MT. Ce verre recyclé provient des entreprises pour un quart et des ménages pour les trois quarts, presque exclusivement en apport volontaire.

- Le tri *des métaux* (fer et aluminium) se fait bien sur site et leur recyclage est pratique courante, sans aide publique quand il s'agit de DIB.

- Le papier est recyclé à hauteur de 50 % environ, puisque les papeteries déclarent utiliser 4,7 MT de papier pour une production d'une dizaine de millions de tonnes. Ces volumes sont presque intégralement collectés depuis les entreprises (pour 3,4 MT selon l'ADEME) ou depuis les "igloos" qui reçoivent les apports volontaires de journaux-magazines. Le papier-carton d'emballage qui fait l'objet d'une aide d'Eco-emballage représente seulement 150 000 T soit 3% du total.

- Quant au plastique, 220 000 tonnes de DIB, c'est à dire provenant des entreprises et n'empruntant pas les collectes municipales, sont recyclées sans subvention ; le recyclage de plastique provenant des ordures ménagères et assimilées, est très problématique : bien que surabondamment subventionné, il permet de recueillir seulement 50 000 T après tri sur les 2,9 MT de tonnes présentes dans les ordures ménagères.

La transformation en un produit combustible

Les fractions combustibles de déchets peuvent-elles être transformées et requalifiées en produits combustibles ? Cela suppose que soient réunies plusieurs conditions : elles doivent faire l'objet de courants d'échanges durables, leur teneur en polluant doit être inférieure à des plafonds, leurs caractéristiques d'usage doivent être stabilisées. Il ne semble pas que ce soit possible pour des déchets provenant des ménages. Par contre certains déchets de papier-carton et de plastiques provenant des entreprises peuvent sans doute être conditionnés de façon à en faire des combustibles.

La mise en décharge

Elle n'est légalement possible que dans des décharges contrôlées, parfaitement étanchéifiées. Les déchets organiques (parties fermentescibles, papier, carton) se transforment et dégagent du biogaz qui présente de nombreux inconvénients lorsqu'il n'est pas capté : odeurs, risques d'explosion et effet de serre : une tonne de méthane a un pouvoir d'effet de serre égal à celui de 21 tonnes de gaz carbonique, ce qui veut dire aussi qu'une tonne de carbone sous forme de méthane à un pouvoir d'effet de serre égal à celui de sept tonnes de carbone sous forme de gaz carbonique. Le Parlement a décidé qu'après 2002 ne pourraient être mis en décharge que les déchets "ultimes" c'est à dire ceux qui, aux conditions économiques et techniques du moment, n'auront pas pu être utilisés comme matière ou comme source d'énergie.

2.4.2- Une classification par destination techniquement possible

Classer les déchets seulement sur un critère technique ne suffit pas ; il faudra aussi une approche économique et environnementale.

Du seul point de vue technique, parmi les déchets on peut distinguer ceux qui sont *combustibles* et ceux qui ne le sont pas, ceux qui sont *fermentescibles* et ceux qui ne le sont pas, ceux qui sont *recyclables* et ceux qui ne le sont pas.

a) ceux qui sont combustibles et ceux qui ne le sont pas :

- Sont combustibles : le papier-carton, les plastiques
- Ne sont pas combustibles : le verre, les métaux, les stériles

Quant aux fermentescibles, ils brûlent bien quand ils sont secs et dégagent le même pouvoir calorifique que le papier carton, mais leur degré d'humidité est tel (près de deux tiers) que leur PCI est très bas. Le PCI des plastiques dépend de leur nature : celui du PET est la moitié de celui du PEHD.

Pouvoirs calorifiques

	Humide		Sec	
	KJ/kg	Kcal/Kg	KJ/kg	Kcal/Kg
Carton	9516	2300	15695	3800
Papier	9991	2400	14496	3500
Déchets putrescibles	4246	1000	15773	3800
Plastiques	22883	5500	30939	7400

b) ceux qui peuvent fermenter et ceux qui ne le peuvent pas

- Peuvent fermenter non seulement ce qu'il est convenu d'appeler les "fermentescibles" (fraction fermentescible des ordures ménagères – FFOM -, déchets verts, boues de stations d'épuration, déchets de l'industrie agroalimentaire et de l'agriculture) mais aussi le papier-carton.
- Ne peuvent pas fermenter les plastiques, les métaux et le verre.

c) Le recyclage (sans parler du compostage ou de la méthanisation, qui sont des formes de recyclage)

C'est ici que l'approche purement technique est particulièrement insuffisante. En effet, à peu près toutes les matières non fermentescibles peuvent techniquement être recyclées ; elles doivent donc être différenciées par des considérations économiques.

Note : parmi les caractéristiques techniques il faudra aussi tenir compte du fait que le produit se trie et peut être transporté plus ou moins aisément ; on y reviendra dans le chapitre sur le recyclage des matériaux combustibles.

2.5 - En croisant les classifications par destination et par caractéristiques physiques

Le croisement des destinations possibles des déchets et des caractéristiques physiques de chaque type de déchets suggère certaines pistes.

- Ce qui peut être composté peut être méthanisé ; la méthanisation produit non seulement une matière mais une source d'énergie, le méthane.

- Les fermentescibles (sauf le papier-carton) sont en général très riches en eau, donc peu combustibles.
- Le papier peut être brûlé ou recyclé ou méthanisé (ou composté)
- Les plastiques peuvent être brûlés ou recyclés ; sauf exception, le tri et le recyclage du plastique présent dans les déchets des ménages coûtent extrêmement cher.
- Tout peut être mis en décharge ; les fermentescibles dégagent des gaz à fort effet de serre, en partie récupérables ; en sens inverse, une partie du carbone est sans doute durablement "piégée" dans un « puits ».

Il s'agit de constatations générales qui peuvent retenir l'attention mais insuffisantes, bien sûr, pour fonder une politique nationale et les décisions qui doivent être prises pratiquement en tenant compte des données locales : avant de s'engager dans une opération, il faut entrer précisément dans le détail des coûts, des performances et des avantages.

3- Une évaluation maximale des possibilités énergétiques des déchets

Pour évaluer une enveloppe maximale de valorisation énergétique il faut faire des hypothèses dont certaines sont un peu extrêmes : supposer que *toute* la chaleur de *toutes* les unités d'incinération et de *tout* le biogaz généré par les méthaniseurs est utilisée effectivement n'est évidemment pas réaliste.

3-1 Hypothèses

Le périmètre retenu dans cette évaluation est celui des déchets collectés par les communes (y compris les boues d'épuration) hors les encombrants, gonflé des DIB papier, carton et plastique et des fractions fermentescibles des déchets agroalimentaires et agricoles.

- un tiers du papier carton est recyclé, un tiers méthanisé et un tiers brûlé
- tout le plastique est brûlé sauf les quantités de plastique issues de DIB qui sont aujourd'hui recyclées : 200 000 T - cette hypothèse est une conséquence de commentaires présentés dans le chapitre sur le recyclage des déchets combustibles ; elle est sans effet significatif sur le bilan global
- à peu près la moitié des fermentescibles municipaux est incinérée, l'autre partie est méthanisée
- compte tenu des pratiques et des besoins du milieu agricole et agroalimentaire, on suppose qu'une petite partie seulement des déchets correspondants est méthanisée, selon trois hypothèses : 0 %, 20% ou 30 %

Par ailleurs on fera deux options :

- dans la première, on supposera que l'on produit systématiquement le maximum d'électricité
- dans l'autre que l'on produit le maximum de chaleur

Dans l'option électricité, les UIOM sont équipées de turbine à condensation et ne produisent pas de chaleur ; le biogaz est transformé en électricité dans des moteurs à explosion dont une partie de la chaleur est récupérée.

Dans l'option chaleur, les UIOM ont des turbines à contrepression et le biogaz est utilisé directement en chaudière sans production d'électricité.

Cela nous donne donc six scénarios : selon que l'option est orientée vers la production d'électricité ou vers la production de chaleur d'une part, et d'autre part selon le taux de méthanisation des déchets agroalimentaires et agricoles : 0%, 20% ou 30%. On n'a pas pris l'hypothèse que des déchets agricoles pouvaient être incinérés.

Les coefficients techniques sont indiqués sur le tableau. Par exemple une unité d'incinération produit 1700 KWh thermiques soit 425 KWh électriques. Quant à la méthanisation, dans l'option chaleur on a supposé qu'une tonne de fraction fermentescible d'ordures ménagères produit 65 mètres cubes de méthane ; la production de méthane des déchets agricoles a été estimée à partir de l'étude parue dans les cahiers du CLIP de septembre 1999 sur les possibilités de production d'énergie à partir de la biomasse d'origine agricole.

3.2- Calcul de la production maximale d'énergie

Comme enveloppe des possibilités, on peut dresser le tableau qu'on trouvera en annexe à ce chapitre : il prend en compte les déchets qui sont de la responsabilité des communes, les DIB hors les fermentescibles des IAA, les déchets fermentescibles de l'IAA et de l'agriculture.

Concernant les déchets qui sont sous la responsabilité des communes et les DIB hors les fermentescibles des IAA, les chiffres indiqués sont un maximum maximorum.

Les résultats figurent dans le tableau suivant

	Electricité TWh	Chaleur Mtep
Production à partir de déchets		
Sans agro-alimentaire ni agriculture		
Option électricité	11,2	0,5
Option chaleur	1,5	3,8
Avec agro-alimentaire et agriculture, taux de méthanisation de 20%		
Option électricité	17,4	1,1
Option chaleur	1,5	6,0
Avec agro-alimentaire et agriculture, taux de méthanisation de 30%		
Option électricité	20,5	1,5
Option chaleur	1,5	7,1

Pour apprécier ces valeurs, on peut se rappeler que la consommation d'électricité est de 450 TWh. Quant à la chaleur récupérée des déchets, elle peut être utilement comparée aux quantités d'énergie importée soit, en 1999, 150 Mtep.

Sans l'agriculture ni l'industrie agroalimentaire, la contribution des déchets à la production d'énergie ne paraît pas devoir dépasser

- soit, dans l'option "production d'électricité" 2% de la production d'électricité et, sous la forme de chaleur, 0,3 % des quantités d'énergie importées
- soit, dans l'option "chaleur", 0,3% de la production d'électricité et 2,5 % des importations d'énergie.

Le taux de recyclage du plastique ou des autres emballages n'a guère d'effets sensibles.

Avec l'agriculture et l'industrie agroalimentaire, si le taux de valorisation énergétique est de 20 ou 30 %, l'énergie en provenance des déchets pourrait atteindre 2 à 4 %.

A titre de comparaison l'étude assez fouillée parue dans les cahier du CLIP indique un potentiel en provenance des pailles et des déjections de 2,5 Mtep et des IAA de 0,4 Mep. Les ordures ménagères, les DIB et les décharges pourraient produire 2,5 Mtep.

Il n'est sans doute pas très utile d'aller au-delà de ces indications qui suffisent à montrer que, du point de vue de l'économie nationale, la récupération de l'énergie des déchets ménagers et assimilés doit trouver son intérêt ailleurs que dans l'indépendance énergétique du pays ; au plan national, elle présente le plus souvent l'avantage de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

4- Incidence sur l'effet de serre

4.1- Réflexions sur la méthode d'évaluation

4.1.1- une question de période d'observation

Si l'on brûle du bois ou du papier, dans les minutes qui suivent la combustion la quantité de carbone dans l'atmosphère est plus importante que si l'on ne l'avait pas brûlé. Donc, sur le moment, brûler du bois ou du papier augmente l'effet de serre

A l'échelle du siècle, ce bois ou ce papier, s'il n'avait pas été brûlé, aurait pourri et émis la même quantité de carbone. Donc, à l'échelle du siècle, brûler du bois ou du papier plutôt que de le laisser en l'état n'augmente pas l'effet de serre.

Le plastique est fait à partir de pétrole. Si l'on brûle du plastique, sur le moment et à l'échelle du siècle, la quantité de carbone atmosphérique augmente ; mais à l'échelle géologique elle n'augmente pas car ce carbone avant d'être stocké dans le sol était bien dans l'atmosphère et l'on peut penser que le plastique, un jour ou l'autre, finira bien par se décomposer.

Or, dans l'observation de l'effet de serre, implicitement ou non, l'échelle de temps est le siècle. On dira donc que la combustion du plastique génère de l'effet de serre, et non celle du bois, du carton ou du papier.

Cette formulation suppose bien sûr que l'on ait défini une situation de référence.

4.1.2- quelle situation de référence

On ne peut évaluer que par comparaison. Il est possible de comparer deux processus l'un par rapport à l'autre – par exemple le recyclage ou l'incinération - ; il est possible également de comparer chaque processus à une même situation de référence. Il n'est pas nécessaire que la situation de référence soit réaliste ou vraisemblable ; c'est seulement un intermédiaire utile pour le raisonnement.

Pour évaluer l'impact sur l'effet de serre des différentes méthodes de traitement des déchets, je prendrai comme situation de référence celle où les déchets seraient étalés sur un sol végétal et laissés au contact des éléments, la lumière, l'air et la pluie.

Une tonne d'ordures ménagères à l'état humide contient 212 kg de carbone dont 126 kg de carbone organique et 86 kg de carbone fossile. Dans la situation de référence, 126 kg de carbone repartent dans l'atmosphère sous la forme de gaz carbonique ; le traitement des déchets ne produit ni énergie ni matière – voir dans l'annexe « données numériques » le détail du calcul.

Cela ne suffit pas à définir la situation de référence car le traitement du déchet peut conduire à la production de matière (par recyclage) ou d'énergie (par incinération ou par combustion du biogaz). Dans la situation de référence la matière nécessaire à la production de papier ou de carton est du bois, celle qui est nécessaire à la production de plastique est du pétrole, celle qui produit de la chaleur est du

pétrole ou du gaz. La question de savoir comment est produite l'électricité est beaucoup plus compliquée.

Le cas de la production de chaleur

Certaines réactions laissent transparaître une hypothèse implicite : la chaleur dégagée par la combustion de papier ou de carton, produits provenant du bois, devrait remplacer de l'énergie en provenance de bois. Or il n'y a aucune relation entre l'origine du papier et l'origine de la chaleur que la combustion de ce papier pourrait remplacer. La seule matière vierge pour faire du papier est le bois ; quant à la production de chaleur, on peut sans doute souhaiter qu'elle recoure davantage au bois, mais c'est une question qui n'a rien à voir avec la gestion des déchets : c'est pourquoi nous prenons comme référence la situation actuelle : la chaleur dégagée par la combustion de papier remplace de la chaleur produite à partir de gaz ou de pétrole (sans ignorer qu'elle peut aussi remplacer de la chaleur électrique).

Le cas de la production d'électricité

On pourrait penser qu'en France l'électricité en été est produite uniquement par des centrales nucléaires et, en hiver, par des centrales nucléaires et par des centrales à charbon. Alors, l'électricité produite par les déchets se substituerait en hiver à du charbon et en été à du nucléaire. Mais la lecture du Rapport sur l'évaluation des missions de service public de l'électricité montre que EDF consomme du charbon tous les mois de l'année. Il ne faudrait pas en conclure que toute production à partir des déchets se substituerait à du charbon ; bien au contraire, si EDF consomme du charbon toute l'année, c'est pour respecter des contrats à long terme de sorte que, hors les périodes de pointe, l'essentiel de la modulation se fait avec l'hydraulique et le nucléaire.

Néanmoins, cette situation va changer pour plusieurs raisons. A court terme, soumise à la concurrence, EDF pourrait remettre en question ces contrats ; alors la production à partir de déchets se substituera à de l'énergie fossile pendant une partie de l'année. A terme de dix ou vingt ans, c'est à dire après le renouvellement des premières centrales nucléaires, le raisonnement est assez difficile. Le rapport susmentionné envisage le cas de la co-génération, c'est à dire une production conjointe de chaleur et d'électricité à partir de gaz essentiellement. La structure de ses coûts situe ce type de production en « demie-base ». Alors, EDF prévoit que en 2010, il se substituera pour les deux tiers à de l'énergie fossile et pour un tiers à de l'énergie nucléaire (p. A85).

Le cas de la production d'électricité à partir des déchets est différent car la source d'énergie est alors constante tout au long de l'année et son coût marginal à court terme est très bas, pratiquement nul. La production d'électricité à partir de déchets est une production « de base ».

Assez paradoxalement, on peut donc conclure que la production d'électricité à laquelle se substituerait une électricité produite à partir de déchets est nucléaire, ne génère pas d'effet de serre.

Cette règle valable en général n'empêche pas des cas particuliers ; la ville de Metz, qui produit son électricité en régie avec du charbon, envisage par exemple de remplacer le charbon par la chaleur d'une future unité d'incinération ; là, l'incidence sur l'effet de serre d'une production d'électricité à partir des ordures ménagères est maximale.

Par ailleurs, faut-il penser qu'une production nouvelle d'électricité permettra à EDF de vendre davantage d'électricité à l'Allemagne *pour remplacer de l'électricité faite à partir de charbon* ? Certes, c'est à l'échelle européenne qu'il faut étudier quelle sorte d'électricité remplacera celle qui sera produite à partir des déchets, mais, même dans ce cas, les caractéristiques techniques et économiques de la production d'électricité à partir des déchets sont telles que, à moyen terme, en France, elle remplacera probablement du nucléaire.

Pour chaque projet local, l'enjeu de ces réflexions est d'importance car, si l'impact sur l'effet de serre est réel, il justifie une intervention publique qui peut s'avérer décisive. Pour donner une indication sur la « sensibilité » de cette question, les valeurs de l'impact sur l'effet de serre seront indiquées dans la suite de ce rapport dans l'hypothèse où l'électricité produite à partir des déchets se substituerait soit à de l'énergie fossile soit à de l'énergie nucléaire – pour des raisons pratiques on indiquera quelquefois la moyenne entre ces deux valeurs.

4.2- L'évaluation du coût de l'émission de gaz à effet de serre

Aujourd'hui, convenir d'un coût représentant l'impact de l'émission d'une tonne de carbone sous forme de gaz carbonique est plutôt une décision politique que le résultat d'un calcul économique, tellement sont grandes les incertitudes.

On se place naturellement dans le cas où les engagements pris par la France seront respectés – sachant que les Etats-Unis n'ont toujours pas ratifié l'accord de Kyoto. Je suppose aussi que les mécanismes de « flexibilité » fonctionneront, sans se substituer à l'effort que doit faire chaque pays pour contenir ses émissions. Ainsi le coût de l'émission d'une tonne de carbone sera déterminé par un marché. En théorie, il sera égal aux plus petites dépenses à engager pour diminuer les émissions ; mais aujourd'hui, ne sachant pas comment seront mises en œuvre les dispositions sur les « opérations conjointes » ni sur le « développement propre », il n'est pas possible de dire si ces dépenses seront celles qui permettront de réduire ou de contenir les émissions dans les pays de l'OCDE seulement, ou dans les pays de l'Europe de l'Est ou dans les pays en voie de développement – puisque, dans une certaine mesure, les pays de l'OCDE pourraient honorer leurs engagements en menant des opérations avec les pays d'Europe de l'Est ou dans les PVD. L'évaluation de la tonne de carbone pourrait ainsi varier du simple au triple voire au décuple.

Cela étant dit, les experts estiment qu'il est raisonnable de fonder des décisions en estimant que l'émission sous forme de gaz carbonique d'une tonne de carbone supplémentaire par rapport à la situation de référence coûte 500 F. Au cas où les mécanismes de flexibilité seraient gérés de façon stricte, ils estiment que l'on s'apercevra bientôt que ce coût d'ici 10 ans sera porté à 1000 F/T.

Ce rapport indiquera donc une évaluation de l'impact sur l'effet de serre du traitement des déchets calculée avec les deux hypothèses de 500 F/T et 1000 F/T de carbone.

4.3- Une évaluation maximum de l'impact sur l'effet de serre

Les chapitres suivants entreront plus finement dans l'analyse de l'impact sur l'effet de serre des différents modes de traitement des déchets. Ici, je me borne à supposer que l'énergie récupérée et utilisée *comme chaleur* (et non pour produire de l'électricité) remplace de l'énergie fossile : parmi les six scénarios étudiés, l'impact est donc maximum dans les trois scénarios de « l'option chaleur » : il s'élève à quelques millions de TEP – de 4 à 7 – par an, soit à peu près autant de millions de tonnes de carbone, c'est à dire de 2 à 7 milliards de francs par an selon les hypothèses en quantité et en coût de la tonne de carbone.

5- Commentaires

Au plan national, il est intéressant de récupérer l'énergie contenue dans les déchets pour contenir les émissions de gaz à effet de serre mais l'enjeu reste modeste en termes de sécurité d'approvisionnement. Par contre, au plan local, l'utilisation de l'énergie contenue dans les déchets présente un grand intérêt. Si elle s'accompagne de la création d'activités nouvelles ou d'une offre intéressante de chauffage collectif, elle pourrait aider à faire accepter l'implantation des installations de traitement de déchets. Par ailleurs, si la récupération d'énergie est optimale, elle participera de façon très significative au financement du traitement des déchets : plus du tiers du coût de l'incinération dans les cas les plus favorables.

La production d'énergie par l'industrie agroalimentaire et l'agriculture pourrait beaucoup se développer si les agriculteurs y trouvent un moyen de stabiliser les déchets de leurs exploitations tout en produisant de l'énergie et un compost utile aux sols.

En bordure des agglomérations, fractions fermentescibles des déchets urbains et déchets agricoles pourront se mêler pour atteindre des volumes qui suffisent à justifier une production d'énergie ; en zone rurale, les déchets des ménages pourront être un complément aux déchets d'origine agricole.

Production maximale possible d'énergie en provenance des déchets

Six options : deux options selon que la production est orientée vers l'électricité ou vers la chaleur et trois options selon le taux de méthanisation des déchets agricoles et agroalimentaires

Option électricité	Quantité	PCI	Coeff techn	électricité	Coeff techn	Chaleur
UIOM orienté électricité et méthaniseur avec électricité	KT/an		KWh/T	TWh/an	TEP/T	MTEP/an
Coeff techniques de référence		2000	425			
Plastique : tout incinéré hors 0,2 MT de DIB	4800	5500	1169	6		
Papier carton non recyclé	5000					
Papier carton incinéré	2500	2400	510	1,3		
Papier carton méthanisé	2500		400	1	0,06	0,15
Fermentescibles d'origine communale	400 000					
incinérée	15200					
méthanisée	7600	1000	213	1,62		
	7600		230	1,75	0,04	0,304
TOTAL hors agroalim et agricult				11,25		0,45
agroalim et agricole	384800					
taux de méthanisation agrolim agr	0,2					
agroalim et agricole méthanisée	76960		80	6,16	0,009	0,69
TOTAL				17,40		1,15
			Soit	2176 Mwe		Mtep
taux de méthanisation agrolim agr	0,3					
agroalim et agricole méthanisée	115440		80	9,24	0,009	1,04
TOTAL				20,48 TWh		1,49
			Soit	2560 Mwe		Mtep
Option chaleur	Quantité	PCI	Coeff techn	électricité	Coeff techn	Chaleur
UIOM option chaleur biogaz brûlé en chaudière	KT/an		KWh/T	TWh/an	TEP/T	MTEP/an
Coeff techniques de référence		2000	70		0,147	
Plastique	4800	5500	192,5	0,92	0,40	1,94
Papier carton non recyclé	7600					
Papier carton incinéré	3800	2400	84,0	0,32	0,18	0,67
Papier carton méthanisé	3800			0	0,08	0,304
Fermentescibles d'origine communale	400 000					
incinérée	13400					
méthanisée	6700	1000	35,0	0,23	0,07	0,49
	6700			0,00	0,06	0,40
TOTAL hors agroalim et agricult				1,48		3,81
agroalim et agricole	386600					
dont agralimentaire	43000					
taux de méthanisation agralim agr	0,2					
agroalim et agricole méthanisée	77320			0,00	0,03	2,16
TOTAL				1,48 TWh		5,97
			Soit	185 Mwe		Mtep
taux de méthanisation agrolim agr	0,3					
agroalim et agricole méthanisée	115980			0,00	0,03	3,25
TOTAL				1,48 TWh		7,06
			Soit	185 Mwe		Mtep

Chapitre 2

L'incinération des déchets et la récupération d'énergie

Les techniques

les capacités unitaires, les coûts d'investissement

les coûts de fonctionnement et les recettes

Contrairement à une réputation que l'époque récente a justifiée, les usines modernes d'incinération sont propres et peuvent être belles. Elles peuvent s'inscrire dans le milieu urbain comme le montre l'exemple de Monaco. L'économie de l'incinération est sensible à la taille de l'unité (dont l'effet sur les coûts peut atteindre 200 F/T), moins à la distance d'approvisionnement (1,2 F/T et par Km de distance y compris les coûts externes).

La production d'électricité à partir de la chaleur des fumées de l'incinération coûte plus cher que la production d'électricité dans les centrales électrique ; elle ne présente donc de l'intérêt que si l'on considère qu'elle permet de limiter les émissions de gaz carbonique, ce qui est le cas si l'on considère qu'elle permet de remplacer de l'énergie produite à partir d'énergie fossile. Par contre la production de chaleur est très intéressante à tous points de vue si cette chaleur peut être utilisée à proximité.

La taille et l'implantation de l'unité seront donc déterminées non seulement par le coût de l'incinération mais surtout par les conditions de la coopération intercommunale et par les possibilités d'utilisation de l'énergie dégagée. Pour atteindre les tailles efficaces, les communes pourront compléter la charge des unités avec des DIB si elles peuvent accueillir des produits à fort pouvoir calorifique. Les techniques classiques de four à grille supportent des PCI plus élevés avec des grilles refroidies à l'eau ; pour de forts PCI, si elles sont validées certaines techniques encore très peu usitées (thermolyse, fours à lit fluidisé) pourraient être préférées aux unités classiques "à grille".

Une autre façon d'utiliser le pouvoir calorifique des déchets est de conditionner les fractions propres les plus combustibles pour en faire un produit aux caractéristiques stabilisées. Cette démarche semble prometteuse pour les papiers et les plastiques venant des entreprises.

On abordera l'incinération sur four à grille puis on présentera deux techniques de "pyrolyse" où une cokéfaction est suivie ou non de la combustion du coke dans la même enceinte. Un paragraphe traite de l'économie de l'incinération et en particulier de celle de la récupération de l'énergie. Puis sont citées des études en cours pour des combustibles de substitution.

En 1996, l'ADEME avait dénombré 266 installations capables d'incinérer 10 millions de tonnes par an, à comparer aux 26 MT d'ordures ménagères et assimilées produites annuellement. Depuis, quelques usines ont été construites mais l'écart reste grand entre les capacités de traitement et la quantité produite et ne pourra sans doute pas être comblé par les autres possibilités de traitement.

90 UIOM, dont la capacité globale était de 75 % de la capacité totale, étaient équipées pour récupérer l'énergie de l'incinération.

1- L'incinération sur four à grille

Les paragraphes qui suivent s'inspirent du document "la valorisation énergétique des déchets ménagers" de l'association AMORCE de septembre 1999 et de documents de l'ADEME plus anciens, notamment un exposé fait au cours d'un colloque organisé par l'ADEME et l'AMF en juin 1996. J'utilise aussi des données provenant de quelques usines d'incinération que j'ai visitées.

On parle habituellement des UIOM, les unités d'incinération des ordures ménagères. Mais l'image de ces UIOM est devenue tellement mauvaise qu'un nouveau vocable apparaît, pour désigner celles dont la chaleur est utilisée : CVED : centres de valorisation énergétique des déchets (de même que les

décharges, après être devenues des "centres d'enfouissement techniques" voudraient être appelées "bioréacteurs") ; mais dans la suite on parlera toujours d'UIOM.

1.1- La technique

Une unité d'incinération d'ordures ménagères, UIOM, comporte d'abord une fosse de réception des ordures ménagères et un grappin qui porte ces matières dans une trémie qui alimente le ou les fours. La technique la plus employée est celle du four à grille : les ordures sont déposées sur la partie haute d'une "grille" légèrement inclinée, faite de barreaux jointifs dont les mouvements les uns par rapport aux autres assurent à la fois un retournement et un brassage des matières et une lente translation de celles-ci vers la partie basse de la grille. De l'air passe à travers les barreaux, assurant la combustion des ordures ménagères. La partie non brûlée est éteinte à l'eau : c'est la mâchefer d'où l'on extrait les parties métalliques par magnétisme et par courant de Foucault. Les fumées, dont la température est de 900 ° au moins et peut atteindre 1500 ° dans les grosses installations, doivent être refroidies à 200 ° pour pouvoir être traitées.

La technique de grille la plus pratiquée est celle de grilles refroidies à l'air ; elles ne supportent pas que les matières entrantes aient un PCI supérieur à 2500 ; il existe une technique de grille refroidies à l'eau qui porte la limite au delà de 3000.

Il existe d'autres techniques pour incinérer les ordures ménagères ; par exemple le lit fluidisé, qui permet une combustion beaucoup plus rapide et plus complète. Cette technique est néanmoins peu employée. Plus loin sont présentées d'autres techniques de combustion incomplète ou contrôlée.

Par ailleurs, il est possible d'introduire en pluie, au dessus de la grille, des boues de stations d'épuration ; la chaleur les sèche instantanément et leur combustion a pour effet d'augmenter la température des fumées.

Cette partie de combustion est complétée par une installation de traitement des fumées pour les débarrasser de leurs cendres volantes (avec un électro-filtre) et des substances polluantes conformément à des normes qui deviennent très sévères, ce traitement donnant lui-même naissance à une autre forme de déchets, les REFIOM, résidus d'épuration de fumées d'incinération d'ordures ménagères. Les eaux de traitement de fumée, sauf en cas de "traitement sec", à la poudre de bicarbonate de soude, doivent également être traitées.

Le mâchefer est un produit évolutif (comme un ciment) ; il demande souvent un traitement pour être stabilisé et pour que les impuretés toxiques qu'il contient soient bien fixées. Quand il passe avec succès les tests de lixiviation, il est déclaré bon pour être utilisé dans les travaux routiers.

Sur une tonne d'ordures ménagères moyennes, 650 kg se retrouvent à l'état gazeux et 240 à 300 kg à l'état solide sous la forme de mâchefer, 20 à 40 kg de ferrailles, 20kg de cendres et 2 à 20 kg de REFIOM selon la technique d'épuration employée.

Les UIOM peuvent, techniquement, être de petite taille et ne brûler que quelques milliers de tonnes par an. Mais il est alors très difficile d'en épurer les fumées et d'assurer un fonctionnement stabilisé du four. L'ADEME indique que la taille minimale est de 30 000 T mais les effets d'échelle sont très marqués jusqu'à la dimension de 100 000 T par an et sont encore appréciables au-delà.

Les plus grosses unités en France sont les trois du Sycotm, le syndicat qui unit la ville de Paris à plusieurs communes voisines : chacune a entre 600 et 700 000 Tonnes de capacité annuelle.

On rappelle que la production annuelle de déchets ménagers et assimilés est de 26 MT correspondant donc à 440 kg par personne. Si toutes les ordures ménagères étaient incinérées, une usine de 50 000 tonnes desservirait 110 000 personnes, une usine de 100 000 tonnes, une population de 220 000 personnes. Si une partie des ordures ménagères est recyclée ou traitée par un procédé biologique, le nombre de la population desservie augmente d'autant. On s'en souviendra en réfléchissant au mode le plus pertinent de traiter les déchets.

La récupération d'énergie

L'association Amorce et l'ADEME estiment que le rendement du four et de la chaudière est de l'ordre de 75% et peut atteindre 80%.

La combustion des déchets fournit de la vapeur à 20, 30 ou 40 bars. Celle-ci pourra actionner une turbine "à condensation" pour la production du maximum possible d'électricité ou bien, par un échangeur, donner sa chaleur à un réseau de chaleur ou à un industriel. Elle pourra également être employée en "cogénération", c'est à dire produire de l'électricité dans une turbine à contre-pression qui la laisse à une pression de 3 à 10 bar et à une température suffisante pour alimenter un réseau de chaleur.

A partir de la vapeur, le rendement énergétique de la production de chaleur seule est alors de 95%, celui de la production d'électricité seule de 25 à 30 %, fonction de la taille de l'unité, et celui de la cogénération de 80 %.

Une tonne d'ordures ménagères de PCI 2000 Kcalories fournit ainsi 1700 kWh de chaleur utilisable, ou 400 ou 500 kWh électriques, ou encore, en cogénération, 100 à 200 kWh électriques et 1000 à 1500 kWh thermiques. Les unités de grande taille les plus récentes ou celles qui traitent des ordures ménagères au fort pouvoir calorifique peuvent atteindre le ratio de 600 ou même 700 kWh électrique par tonne d'ordures ménagères.

L'autoconsommation en énergie est environ de 20 % de la production, soit 90 kWh électriques, chiffre qui diminue jusqu'à 15 % quand la capacité augmente.

Chaleur et/ou électricité ?

La technique permet de produire de l'électricité sans production de chaleur utilisable. Elle permet aussi de produire beaucoup de chaleur utilisable ; même si l'on veut utiliser au maximum la chaleur sous forme de chaleur, il n'est pas possible d'utiliser toute l'énergie dégagée par la combustion car les fumées sortant du four sont à une telle température que la vapeur produite doit être décomprimée avant d'être utilisée comme source de chaleur ; autant vaut produire de l'électricité avec cette détente techniquement nécessaire ; la quantité d'électricité ainsi produite permet de subvenir aux besoins de l'usine.

L'impact sur l'environnement

La réputation de l'incinération a considérablement été dégradée par la découverte des effets de la dioxine émise par certaines stations vétustes. La réaction réglementaire et administrative a été à la mesure de l'émotion. Sur tous les polluants des normes sévères ont été fixées correspondant selon les cas à des taux d'épuration qui dépassent 99%, 99,5% et même 99,9% dans le cas des dioxines. Après les poussières, l'acide chlorhydrique, l'anhydride sulfureux et les dioxines, dont les normes de rejet ont été fixées en 1997 et sont généralement respectées, on attend pour les mois qui viennent une nouvelle norme communautaire de limitation des Nox (à 200 mg/Nm³).

Aujourd'hui, en comparaison avec les autres sources de pollutions, on peut estimer que la « contribution » à la pollution atmosphérique ou à la pollution des eaux des UIOM qui respectent les normes est négligeable.

1.2- Les coûts – sans compter les « effets externes »

Des coûts très différents d'une usine à l'autre

D'une installation à l'autre, les coûts sont extrêmement variables, du simple au double pour l'investissement et de même pour le fonctionnement !

Pour les coûts d'exploitation, un document de l'ADEME (1996) indique, hors recettes énergétiques, une fourchette de 150 et 250 F/ tonne (depuis, les coûts ont augmenté) et, pour les recettes de vente d'énergie, une fourchette de 70 à 90 alors que la vraie fourchette est plutôt entre 0 et 150 F/T. La soustraction de ces recettes aux dépenses d'exploitation montre l'amplitude de l'écart observé entre les coûts de gestion des UIOM.

Quant à l'investissement, il dépend du degré d'épuration des fumées et des liquides. En particulier, si toutes les installations sont aujourd'hui équipées pour épurer les fumées de la dioxine, il n'en est pas de même des oxydes d'azote.

Il n'est pas simple d'expliquer ces différences. Certes la taille influe sur les coûts, mais on voit aussi de grandes différences entre des installations de taille équivalente ; elles sont sans doute imputables aux performances environnementales allant au-delà des normes réglementaires (moins de 80 mg de Nox par mètre cube, pas de rejets d'eau etc.) et aux efforts architecturaux, mais elles semblent aussi largement imputables à ce qu'on appellera un « facteur contractuel ».

Cette amplitude est encore accrue si l'on considère le coût visible de l'usager puisque celui-ci dépend des subventions reçues de l'ADEME, du département et quelque fois de la région.

Une situation de référence

Dans la suite, les valeurs correspondent à une bonne gestion même si ce ne sont pas les coûts et les prix les meilleurs que l'on puisse trouver.

Ici, la situation de référence est *une UIOM de capacité effective de 100 000 T/an, soit 14T/h de capacité nominale, sans subvention ; les prix sont hors taxes.*

L'investissement : le montant de l'investissement est de 280 MF - prix moyen indiqué par l'ADEME (20 MF par capacité exprimée en Tonne par heure) ; ce montant, avec un taux d'intérêt de 6,5% , correspond à 250 F/T en annuité.

Dans ce prix, est inclus l'investissement nécessaire à la récupération d'énergie – cf. ci-dessous au paragraphe 3.1.

L'exploitation : elle coûte 200 F/T en personnel et en consommables, la gestion des sous-produits (traitement ou mise en décharge des mâchefers, mise en décharge des REFIOM) coûte environ 100 F/T incinérée, soit 300 F/T en tout. Par ailleurs, la vente de l'énergie sous la forme d'électricité, sans compter l'énergie auto-consommée, rapporte environ 100 F par tonne ; si une valorisation directe sous la forme de chaleur est possible, la recette est supérieure et peut atteindre 180 F/T comme à Paris.

Au total : avant recettes, le coût complet hors subvention est ici de 550 F HT/T avant recettes. Cette valeur est dans la partie basse de la fourchette : certaines usines dépassent, 700 F/T sans être équipées pour épurer les fumées des oxydes d'azote.

Après recettes, nous retiendrons une dépense de 450 F HT/T, ce qui est également dans la partie basse de la fourchette observée – si l'on inclut les dépenses nécessaires au respect des normes prochaines sur le Nox (60 F/T), la moyenne est peut-être supérieure mais de nouvelles unités sont annoncées pour 350 ou 400 F/T après recettes.

Note : il faudrait ajouter à ce coût celui des transports, qui compense partiellement l'effet de taille – cf. en annexe I à ce chapitre une réflexion qui prend en compte à la fois le coût de traitement et celui du transport.

2- La thermolyse, « intégrée » ou non

Ce sont deux procédés de combustion contrôlée, totale ou partielle, des ordures ménagères. Par rapport à l'incinération classique, selon les dires de leurs constructeurs, ils présentent de l'intérêt à plusieurs points de vue : comme la décomposition du solide se fait en atmosphère réductrice (ce qui limite la formation de Nox et de dioxines ou furanes), à température relativement basse (ce qui diminue la sublimation des métaux lourds) et sans flamme, les fumées contiennent beaucoup moins de poussières et moins de polluants ; par ailleurs, comme une partie de la combustion est le fait des gaz issus de la phase de gazéification, la quantité d'air peut être proche du volume stoechiométrique ce qui réduit la quantité de fumées donc les investissements nécessaires à leur épuration. Un autre avantage est que

cette technique est libre de toute limite de PCI et peut donc traiter des DIB sans contrainte. La souplesse de fonctionnement de ces installations leur permet de travailler à mi-charge et la récupération de métaux, ni oxydés ni volatilisés, se fait dans de bonnes conditions.

Enfin, sans volumineuses installations de traitement de déchets, les unités de pyrolyse ou de thermolyse pourraient s'insérer plus facilement dans un contexte urbain.

Il appartient maintenant à l'ADEME de valider ces performances, en particulier en ce qui concerne les émissions de fumées en tenant compte des derniers perfectionnements apportés par leurs constructeurs.

2.1- La thermolyse intégrée

Dans le cas de la thermolyse intégrée, appelée « pyrolyse » par un des fournisseurs, la combustion est complète, réalisée dans une seule enceinte en trois étapes : une cokéfaction par chauffage en l'absence d'air, suivie d'une part de la combustion du coke et, d'autre part, de celle du gaz de cokéfaction. Selon les constructeurs, comme la combustion est meilleure que dans une incinération classique, la quantité de mâchefer en est diminuée.

Pour une capacité de 30 000 T/an de déchets de PCI à 2 000 Kcal/kg : valeurs indiquées par une entreprise qui exploite déjà cette technique depuis plusieurs années hors de France :

- dans une option de production d'électricité : l'investissement serait de 80 MF, équivalant à 214 F/T. Le coût d'exploitation total, y compris le traitement pour utilisation des combustibles s'élève à 260 F/T. La vente d'électricité est estimée à 430 KWh/T à 24 cme/KWh, soit une recette de 100F/T. Le prix de revient s'établit donc à 370 F/T non compris la marge de l'exploitant et les taxes, soit un coût total de 440 à 450 F/T.

- dans une option de production de chaleur : le prix de revient s'élèverait, recettes déduites (soit 153 F/T) à 300 ou 320 F/T.

2.2- La thermolyse non intégrée

Il s'agit d'une cokéfaction avec combustion des gaz de cokéfaction et production d'un sous-produit combustible. Selon les constructeurs, les paramètres techniques sont proches de ceux du procédé précédent - sauf que la production d'énergie est diminuée du pouvoir calorifique du coke. Ce procédé ne trouve son intérêt que si le combustible est correctement valorisé. Cela peut présenter une difficulté puisque il s'agit d'une matière dont le pouvoir calorifique est faible (3000 à 4000 kcal/kg) et qui contient un grand nombre d'impuretés. Il ne pourra jamais être classé comme un "produit combustible" et ne pourra donc être utilisé que dans des installations spécifiques. La meilleure utilisation semble être la cimenterie. Si donc une collectivité est sûre de pouvoir l'écouler, le procédé peut être compétitif, notamment pour des capacités de quelques dizaines de milliers de tonnes par an : c'est ainsi que la ville d'Arras vient de décider de s'en équiper pour une capacité de 50 000T, y compris des boues de station d'épuration et des DIB.

Quelques données sur le projet d'Arras : 50 000 tonnes de déchets dont 40 000 T d'ordures ménagères et de DIB et 10 000 tonnes de boues d'épuration.

La vapeur est utilisée dans une installation industrielle, le coke est livré en cimenterie.

L'investissement est de 125,5 MF soit 240 F/T, et l'exploitation coûte 20 MF/an soit 400 F/T soit en tout 640 F/an avant les recettes de chaleur. Ces recettes sont probablement supérieures à 100 F/T. Pour comparer ces chiffres, à d'autres il faut tenir compte de la forte teneur en eau des boues.

J'ai cité les prix donnés par deux entreprises dont l'une a une installation en fonctionnement hors de France depuis plusieurs années et l'autre a obtenu un marché sur ces bases. La différence entre les prix

demanderait évidemment des explications. Quoi qu'il en soit, pour cette gamme de capacité, ces prix **annoncés** doivent être mis à l'épreuve de la pratique.

3- Commentaires sur l'économie de l'incinération

Le texte qui suit a été rédigé en pensant aux fours à grille ; ses conclusions s'appliquent aussi aux autres formes d'incinération.

3.1- L'équilibre économique de la récupération d'énergie

La production et la vente d'électricité

Naturellement le premier usage de l'électricité produite sera l'autoconsommation, qui représente environ 100 KWh par tonne ; c'est une économie de 35 F/Tonne de déchets environ

L'organisation professionnelle des entreprises de gestion des déchets, la FNADE, a négocié avec EDF un contrat pour la fourniture d'électricité produite à partir de l'incinération des ordures ménagères. Au contrat sont fixés des prix d'achat par EDF en été et en hiver et une prime. En moyenne cela correspond aujourd'hui à environ 29 centimes par KWh. Ce contrat sert de référence dans les négociations en cours relatives à la fourniture d'électricité produite à partir de biogaz - nous évoquons par ailleurs l'appel d'offres qui a été fait pour la production d'électricité à partir du biogaz issu des décharges.

La production d'électricité peut être de 400 KWh/T et dépasser 600 KWh/T. Déduction faite de l'autoconsommation (près de 100 KWh/T), retenons le chiffre de 400 KWh/T ; le prix moyen de vente étant de 29 cme, la recette se monte à 116 F/T. Les montants annoncés généralement sont légèrement inférieurs : 100 F/T pour des unités de 100 000 T/an.

Quant au prix de revient de la production d'énergie, dans les publications on ne trouve que des données assez anciennes : un document d'Amorce, de novembre 1999 reprend une étude faite pour l'ADEME en 1991 et en 1995 ; l'ouvrage de J.Y Le Goux et C. Doucet, « l'incinération des déchets ménagers » (Economica) donne aussi des informations sur les investissements (p 113 à 118) mais il date de 1995.

J'ai donc demandé à la FNADE des données plus récentes.

En termes économiques, le coût de production de l'électricité est la différence entre les dépenses engagées pour produire de l'électricité et celles qui auraient dû être engagées si l'on n'en avait pas produit. Si la chaleur des fumées n'est pas utilisée, celles-ci doivent être refroidies pour pouvoir être traitées ; il faut donc une tour de refroidissement avec injection d'un brouillard ; cette opération augmente le débit des fumées à traiter de 50%, donc le coût du traitement. Faute de produire de l'électricité, il faut l'acheter. Pour produire de l'électricité, les postes les plus importants sont non seulement les investissements (y compris le génie civil, les pièces de rechange, le frais de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre) mais aussi une personne de plus par quart et les frais de gros entretien et réparation.

Pour une usine qui traite effectivement 100 000 T/an de déchets de PCI 2100 Kcal/Kg en 7 500 heures de fonctionnement et qui, avec un rendement de production chaudière-turbo de 20%, produit 48 700 MWh/an d'électricité, la FNADE calcule ainsi le surcoût de la production d'électricité par rapport à l'élimination de la chaleur dans une tour de refroidissement :

- l'investissement est de 112 MF incluant le coût de l'équipement en chaudières, turboalternateurs, aéroréfrigérant, utilités et auxiliaires, évalués à 70 MF et les coûts annexes à savoir d'une part le génie civil pour 20% du coût des équipements, d'autre part l'électricité, le contrôle commande, les pièces de rechange et les études pour 25 % et enfin la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et les

frais financiers intercalaires pour 15 %, soit en tout 60% . Comme la solution alternative coûte 22 MF (y compris un surcoût de 9 MF sur le traitement des fumées), **le surcoût** est de 90 MF, ce qui correspond à **8,5 MF par an**.

- en fonctionnement **le surcoût** est de **4,1 MF/an** , soit 7,9 MF pour la production d'électricité (dont 4,1 MF de gros entretien et réparation, estimé forfaitairement à 4% par an de l'investissement) contre 3,8 MF si la chaleur était évacuée (y compris 1,4 MF d'achat d'électricité).

Avec ces chiffres, le coût spécifique à la production d'électricité est donc de 12,2 MF.

Le surcoût doit être ramené, non pas à l'électricité produite, mais à l'électricité vendue puisqu'il tient compte de l'économie due à l'autoconsommation d'électricité.

Comme l'autoconsommation est de 100 KWh par tonne de déchets, soit 10 000 MWh/an, la production vendue est de 38 700 MWh

Avec ces données, le coût spécifique de production d'électricité est de soit **32 cme par KWh**.

Ce chiffre peut paraître élevé ; c'est pourquoi j'en ai rapporté l'explication détaillée donnée par la fédération professionnelle des gestionnaires de déchets.

Cette valeur a servi de référence à la profession lorsqu'elle a négocié avec EDF un prix de reprise de l'électricité – prix qui fut fixé à la signature du contrat à 26 ou 28 cme selon la qualité du courant et qui, par le jeu de l'indexation, approche 28 ou 30 cme aujourd'hui. Ce prix invite à se poser plusieurs questions.

Tout d'abord, comme le coût spécifique est supérieur aux recettes procurées par la vente d'électricité, pourquoi ne pas relâcher la chaleur dans le milieu naturel ? A cela plusieurs réponses. Il est probable que le prix de vente de l'électricité continuera d'augmenter selon la formule d'indexation. Et personne ne comprendrait que l'on n'utilise pas la chaleur dégagée.

Il faut aussi se demander si le prix offert par EDF correspond à une réalité économique ou n'est que le résultat d'une négociation. On peut calculer la valeur de l'électricité à partir du coût de production d'EDF ou l'observer à partir des prix de marché.

Selon la première méthode, on parlera de « coût évité » au producteur s'il peut acheter de l'électricité à un tiers et l'on inclura dans ce coût non seulement les dépenses de fonctionnement mais aussi celles d'investissement et de démantèlement. La brochure « les coûts de référence de la production électrique » éditée par le Secrétariat d'Etat à l'industrie en mai 1997 donne les indications suivantes : le coût de production de l'électricité nucléaire dépend beaucoup du taux d'actualisation : il est de 17 cme/KWh avec un taux d'actualisation de 5 % ou de 21 cme/KWh avec un taux d'actualisation de 8 %. Le coût de production d'électricité à partir de gaz par cycle combiné dépend, lui, du prix du gaz, et peu du taux d'actualisation : pour un taux d'actualisation de 8 % il est de 19 à 24 cme/KWh selon les hypothèses faites sur le prix du gaz. Aujourd'hui, les prix du gaz correspondent à la partie haute de la fourchette. A ce coût de production, il faut ajouter une partie du coût du transport. Une production décentralisée économisera des coûts de réseau, mais une partie seulement car une liaison avec le réseau est nécessaire au titre de la sécurité d'approvisionnement. La valeur de l'électricité achetée par EDF est donc de l'ordre de 23 cme/KWh

La seconde méthode – l'observation du marché – n'est pas encore applicable. Mais, comme EDF affirme que ses prix de vente sont ceux qui seraient donnés par un marché, le rapport sur l'évaluation des missions de service public d'électricité propose de considérer que EDF doit acheter l'électricité à des producteurs indépendants au prix où elle livrerait l'électricité à un client qui consommerait exactement l'électricité en question, déduction faite de tout ou partie du coût de transport et de distribution. Or les tarifs d'EDF correspondant à une forte consommation en base conduisent à une moyenne annuelle de 30 cme/KWh environ, y compris la partie fixe. Quant à l'économie réalisée sur les coûts de réseau elle est très difficile à calculer ; mais on peut penser qu'elle est très faible, en particulier à cause de la structure du réseau – peut-être moins d'un ou deux centimes par KWh.

L'une et l'autre méthode conduisent à un prix « économique » de l'électricité livrée par un producteur indépendant aux alentours de 23 cme/KWh, c'est à dire inférieure au surcoût attaché à la production d'électricité à partir de la chaleur des fumées d'une station d'incinération, tel qu'il ressort des indications données par la profession. La différence, 6 cme par KWh électrique, peut être interprétée par la valeur donnée par EDF à l'effet favorable que son attitude peut avoir sur son « image ».

La « perte économique » de 6 cme par KWh correspond à environ 2 ou 3 cme/KWh *thermique* ; elle est à peu près compensée par l'avantage au titre de l'effet de serre si l'électricité remplace une électricité produite à partir d'énergie fossile, ce qui est controversé (cf. ch. 6 §2).

Note : D'autres sources indiquent que, si les chiffres indiqués par la profession des gestionnaires de déchets peuvent refléter la situation d'installations existantes, il est possible d'obtenir des prix de revient nettement inférieurs.

Le rendement de l'ensemble chaudière-turbo peut être supérieur à 20 % (valeur retenue par la FNADE) et approcher 25 %, ce qui diminue, rapporté au KWh produit, le coût des équipements et du fonctionnement. D'autre part, le montant de l'électricité et contrôle commande, des pièces de rechanges, des études, de la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre et des frais financiers intercalaires, peuvent être inférieurs, en tout, à 40 % du montant des équipements. Les frais de gros entretien et réparations peuvent de leur côté être inférieurs à 4% par an du montant de l'investissement. Dans les cas favorables, le surcoût imputable spécifiquement à la production d'électricité pourrait être de 20 cme par KWh.

Ces différences d'appréciation n'étonnent pas : on a déjà remarqué que les fourchettes de coûts rapportées par les observations de l'ADEME sont considérables – ce qui appelle une action très forte d'un observatoire des coûts indépendant dont, par ailleurs, je recommande la création. Mais il n'est pas utile ici de s'attarder sur ces différences car, dans un cas comme dans l'autre, la production d'électricité apparaît, du strict point de vue économique, ou bien fort peu intéressante ou bien franchement inintéressante par rapport à la production classique d'électricité, alors que la production de chaleur, si celle-ci est utilisée sur place, présente à tous points de vue un très grand intérêt.

La production et la vente de chaleur

S'il existe une possibilité d'utilisation à proximité, la production de chaleur peut procurer des recettes supérieures tout en demandant des investissements moindres (pas de turboalternateur ni de condenseur mais des conduites de vapeur).

Selon Le Goux et Le Douce, les équipements nécessaires pour récupérer la chaleur de deux fours de 8 T/heure traitant effectivement 120 000 T/an et produire de la vapeur et un minimum d'électricité, seulement pour l'autoconsommation, coûtent 44 MF. A ce chiffre il faut ajouter le génie civil, les pièces de rechange, la maîtrise d'œuvre soit en tout 50% ce qui porte l'investissement à 66 MF. S'il avait fallu refroidir la vapeur, les équipements auraient coûté 15 MF (y compris 10 MF de plus-value sur le traitement des fumées), correspondant à un investissement global (y/c génie civil etc.) de 22 MF. Le différentiel d'investissement est donc de 44 MF, équivalent à une dépense de 4 MF par an.

Quant aux dépenses de fonctionnement, comparées à l'abandon de la chaleur, il faut compter des frais de surveillance plus importants et le différentiel de gros entretien (3% de la différence d'investissement soit 1,3 MF) ; mais la production d'électricité autoconsommée diminue la facture d'électricité de 2 MF.

Avec ces chiffres, le coût spécifique à la production de vapeur est égal à 4 MF par an pour une production de chaleur de 200 GWh/an (1700 KWh par tonne et 120 000 tonnes par an). D'autres estimations conduisent à des dépenses plus importantes ou à des productions de chaleur plus importantes (avec 2000 KWh par tonne). Retenons donc un coût de **2 à 3 cme par KWh thermique**.

A cela il faut ajouter le coût du raccordement à un réseau ou à l'utilisateur de la chaleur, soit, par exemple, 20 MF pour trois kilomètres équivalant à 2 MF par an soit 1 cme/ KWh thermique.

Aujourd'hui, le coût *spécifique* de production de la chaleur (c-à-d diminué des dépenses qu'il aurait fallu faire si la chaleur n'avait pas été récupérée) est donc de l'ordre de 2 à 3 cme par KWh thermique – *en supposant que la vapeur est livrée tout l'année*. Or un utilisateur de la chaleur (un industriel ou un réseau de chauffage urbain) peut la payer jusqu'à 10 cme/KWh ; si cet utilisateur est à proximité, la vente de vapeur au prix du marché apportera donc des recettes nettes très intéressantes.

D'autre part on note que *l'écart de coût entre la production d'électricité et la production de chaleur est considérable*. Compte tenu du rendement de la production d'électricité, cet écart est de 5 à 6 cme par KWh thermique – *précisons encore une fois : si toute la chaleur est vendue à proximité*.

3.2- Le dimensionnement des unités d'incinération : l'effet d'échelle

L'ADEME a consacré une brochure à ce sujet. En réalité le choix de la taille de l'UIOM dépendra beaucoup de considérations locales, du désir des communes de se regrouper, de la présence d'industriels pouvant apporter des DIB, etc. Je propose ici de réfléchir sur les conséquences de l'économie d'échelle : le traitement coûte moins cher dans une grosse unité. D'autre part, la proximité d'utilisateurs de chaleur permet de diminuer encore les coûts. Il s'agit donc de comparer les avantages tirés de la taille et de la localisation avec le coût de transport des ordures ménagères.

D'un point de vue économique général il est intéressant de calculer la taille d'un investissement en escomptant quelle sera la demande si les services sont facturés à un prix égal au "coût marginal de développement" ; celui-ci est le coût total à engager (investissement et fonctionnement) pour augmenter d'une unité la capacité de traitement - ce qui est très différent du coût marginal à court terme dont on parle un peu plus bas.

En observant un grand nombre d'usines, l'ADEME a tracé une courbe qui représente le coût de traitement en fonction de la capacité de l'usine ; cette courbe suggère une relation simple entre le coût (y compris l'annuité correspondant à l'investissement et déduction faite des recettes de la vente d'énergie) et la capacité traitement, représentée par une formule mathématique du genre $y = a/x + b$, y étant le coût par tonne et x la quantité traitée, en milliers de tonnes par an. La dépense total est $D = a + bx$. Le coût marginal de développement de la tonne supplémentaire est l'augmentation de D pour une augmentation de x égale à 1 ; c'est donc b. Comme le rendement est croissant, la vente au coût marginal mettrait l'entreprise en déficit ; le prix doit donc être corrigé pour rétablir l'équilibre. Mais, pour avoir une idée de la taille optimale il est utile de se référer au coût marginal de développement.

Il faut aussi tenir compte du transport. Par kilomètre de distance (y compris le retour à vide) il est de l'ordre de 1,3 F/Tonne par route, moins par le rail ou par voie d'eau (modes qui demandent néanmoins des ruptures de charge).

Un calcul permet de conclure que la taille optimale d'une unité d'incinération est très grande (voir en annexe à ce chapitre une "récréation mathématique") - d'ailleurs on s'aperçoit que des pays qui ne sont pas connus pour leur laxisme en matière d'environnement se sont équipés en très grosses usines.

Comme une usine de grosse taille pourra recevoir des déchets venant de loin, le choix de sa localisation est moins contraint par l'origine des déchets ; il est donc a priori plus facile de l'intégrer dans *un programme d'ensemble* qui incorporera et la destruction de déchets et l'utilisation directe de chaleur pour une activité industrielle ou agricole, pour du logement ou pour des équipements collectifs (aéroport par exemple, hôpital etc). Cela ne veut pas dire bien sûr qu'un incinérateur de faible capacité ne peut jamais trouver un bon débouché à la chaleur qu'il produit.

Note sur les aspects écologiques d'une grosse installation

- La pollution de l'UIOM : les installations d'épuration des fumées coûtent moins cher sur une grosse unité et peuvent être mieux suivies et contrôlées.

- Les effets indirects des transports : la question se pose surtout pour le transport routier. Celui-ci prend en charge une partie des effets externes qu'il génère en acquittant la TIPP. Une annexe à ce chapitre montre que l'ensemble des coûts externes ne représente pas plus de 12 cme/t.km, ce qui n'a guère d'effet sur la taille optimale de l'usine.

3.3- Le coût marginal à court terme de l'incinération

Au paragraphe précédent j'ai calculé un « coût marginal de développement » de l'ordre de 370 francs par tonne. Le coût marginal à court terme répond à la question suivante : ***une fois l'usine construite*** à quel prix peut-elle recevoir les produits à traiter ?

Reprenons les cas d'une usine de 100 000 T ; la charge d'investissement (hors toute subvention) est de 250 F/T traitée, les frais de fonctionnement sont de 300 F/T, dont la moitié ne dépend pas des quantités traitées. Les recettes sont de 100 F/T.

- *Si l'usine n'est pas pleinement chargée*, la tonne supplémentaire ne coûte que 50 F/T, moins que la TGAP de mise en décharge ! Une fois l'usine construite, l'hésitation n'est pas permise : il faut la saturer.

La capacité d'une usine est limitée soit par les quantités de produits à manutentionner et par la charge supportée par les grilles, soit par la capacité de la chaudière. Dans le premier cas, il s'agit de tonnes, dans le deuxième de pouvoir calorifique.

- *Lorsqu'une usine est saturée, comment la charger au mieux ?* En général, elle est saturée par la quantité de chaleur dégagée ; on pourra donc trouver intéressant d'éviter les matières à fort PCI comme le plastique. Si les autres destinations possibles des déchets sont la mise en décharge ou le recyclage, la réorientation d'une tonne de plus de plastique libèrera une capacité de 3 tonnes d'ordures brutes qui, sinon, auraient été mises en décharge. Comme la mise en décharge et l'incinération sont facturées à la tonne, préférence sera donnée par le gestionnaire à l'incinération des ordures brutes. Pour l'exploitant, le gain d'une telle substitution peut se chiffrer en multipliant l'augmentation du volume traité (2 tonnes) par la facturation, 450 F/T, soit 900 F par tonne de plastique détourné ; mais cela ne suffit pas à compenser le surcoût d'une collecte sélective. De toutes façons, ce raisonnement ne s'applique que sur le court terme, en tenant compte des capacités existantes.

3.4- Le financement des investissements et du fonctionnement

L'investissement

L'investissement est important. Il reçoit une subvention de l'ADEME de 5 % des équipements (soit 3,5% de l'investissement total), lorsque l'énergie est récupérée, subvention plutôt *symbolique* qui donne à l'ADEME l'occasion d'être informée des projets, ce à quoi elle attache de l'importance pour éviter les excès d'investissement. Il est fréquent que les départements et/ou les régions subventionnent les UIOM. Ces subventions peuvent atteindre 40% ; comme la taxe d'enlèvement des ordures ménagères, elles sont financées par les impôts locaux mais peuvent orienter le choix des municipalités. Il arrive aussi que les collectivités locales préfinancent les investissements en augmentant d'année en année la TEOM alors même que les ordures ménagères continuent d'être mises en décharge. Le prix apparent de l'incinération en sera réduit d'autant. Ainsi, même si le financement a, pour l'essentiel, toujours la même origine, à savoir le contribuable local, le mode de financement peut influencer les choix. Nous y reviendrons.

Le fonctionnement

Il est financé par les impôts locaux, en principe par la TEOM sans que rien n'oblige les communes à porter la TEOM au niveau des dépenses d'enlèvement et de traitement des OM (elle ne doit pas leur être supérieure). Selon la loi, les entreprises dont les déchets sont collectés par les communes doivent leur payer une "redevance spéciale", ce qui est peu pratiqué. Au lieu de la TEOM, les communes peuvent instaurer une redevance payable par chaque contribuable, dont le montant est fonction de la quantité d'ordures enlevées. Cette pratique est encore très peu fréquente mais va se développer.

Une commune qui pratique suffisamment la collecte sélective d'emballages reçoit une aide à l'incinération calculée en fonction du tonnage de produits triés. Par ailleurs toutes les dépenses de collecte et de traitement (y compris donc l'incinération) se voient appliquer le taux de TVA réduit – je reviendrai sur ces deux derniers points dans le chapitre sur le recyclage des déchets combustibles.

Le cas des DIB

L'optimum technique et économique peut commander que l'UIOM traite également des DIB. Le juste prix du traitement des DIB est une question très difficile qui n'a sans doute pas de réponse incontestable.

Si l'usine n'est pas en pleine charge, le coût marginal de l'incinération est très faible (50 F/T) mais si la capacité de l'usine est limitée par la quantité de chaleur émise par l'incinération, le gestionnaire sera conduit à facturer assez cher l'incinération de DIB à fort pouvoir calorifique (jusqu'à trois fois la

facturation de la tonne moyenne si le PCI est trois fois supérieur, soit 1500 F/T). Le prix fixé pour des apports « spot » sera en définitive le prix de marché, compris entre ces valeurs extrêmes.

Si l'on prévoit, avant la construction d'une unité, de traiter des DIB il importe donc que les principaux apporteurs de DIB soient liés par un contrat à long terme extrêmement solide – avec garanties bancaires en cas de défaillance par exemple. Alors la capacité de l'usine sera calculée sur des bases solides, tant en tonnes traitées qu'en chaleur dégagée.

Aussi difficiles et controversées soient-elles, ces questions ne doivent pas empêcher d'étudier les projets de stations d'incinération en tenant compte des DIB (dont une part notable, bien qu'inconnue, entre déjà dans les "déchets assimilés"). On veillera seulement à respecter le principe qui interdit que les financements publics ne subventionnent l'incinération de DIB.

4- D'autres formes d'utilisation du contenu énergétique des déchets : les combustibles de substitution

Il n'est pas possible de réguler la production de déchets : c'est particulièrement vrai des ordures ménagères, qui doivent être évacuées sans délai, quelles que soient les circonstances ; c'est également vrai des DIB puisque les entreprises ne sont pas équipées pour stocker ces déchets au-delà de quelques jours. En conséquence, si la gestion de ces déchets permet de produire de l'énergie, il faut pouvoir ajuster cette production à peu près constante et en tout cas non maîtrisable à une demande qui fluctue. Il n'y a pas beaucoup de solutions. L'énergie peut être livrée sur un réseau, ce qui présente un double avantage : il est plus facile de trouver un utilisateur éloigné et, d'autre part, les ajustements entre production et consommation peuvent être faits par d'autres sources d'énergie. Autre solution : l'énergie peut être stockée et, si possible, transportée. Mais si l'énergie n'est ni stockable ni transportable et si elle ne peut être utilisée sans délai à proximité, la seule solution est de la disperser dans la nature, ce qui est dommage.

L'électricité est un produit facile à introduire sur un réseau, mais on a vu que l'intérêt économique de la production d'électricité à partir de la chaleur des fumées d'incinération est plutôt négatif. Il en est de même de l'électricité produite à partir du biogaz.

De nombreuses tentatives se sont efforcées de former à partir des déchets une variété d'énergie à la fois stockable, transportable et facilement utilisable à un prix qui dégage une marge économique ou, en tous cas, qui soit inférieur au coût de traitement classique, c'est à dire l'incinération ou le recyclage. La plupart se sont traduites par des échecs car, pour qu'une substance combustible issue de la gestion des déchets puisse être considérée comme un combustible et non plus comme un déchet, il faut réunir des conditions très précises. Non seulement la matière ne doit être ni toxique ni polluante, mais encore elle doit être d'usage commode et ses caractéristiques doivent être connues et stabilisées.

Je parle ailleurs (au chapitre 6) de la purification du biogaz : selon le Comité supérieur d'hygiène publique de France il est impossible d'assurer une qualité suffisante de ce gaz, aussi poussée que soit sa purification, sans maîtriser la qualité des matières fermentescibles ; le méthane issu du biogaz des décharges ne peut donc pas être mêlé à du gaz naturel. De la même façon, les matières solides et combustibles issues de la cokéfaction des ordures ménagères ne seront jamais un produit combustible : certes, elles peuvent être stockées et transportées mais elles ne pourront être brûlées que dans des installations habilitées à incinérer des déchets, ce qui en limite beaucoup l'emploi et la valeur.

Or, dans son principe, ce genre de biocombustibles présente un intérêt tel que la Commission des Communauté a engagé une démarche pour pouvoir les normaliser. Un groupe de travail du CEN en est officiellement chargé.

Et l'on voit aujourd'hui en France deux projets industriels qui s'inscrivent dans cette démarche et semblent placés sous de bons auspices. Je parle ici de celui qui est le plus avancé, qui a fait l'objet d'un brevet : DCV, pour Del Charbon Vert.

L'idée est simple : il s'agit de conditionner en balles de 100 litres et 30 kg des copeaux de déchets de papier-carton et de polyéthylène mélangés dans la proportion de deux pour un et comprimés ; ces balles sont enveloppées d'un film de plastique. L'inventeur a remarqué que de telles balles brûlent bien dans des chaudières classiques, avec un PCI voisin de celui du charbon. Pour éviter la présence de polluants, papier-carton et plastique seront des déchets industriels ; cela ne dispense pas de tout contrôle car des DIB peuvent fort bien être eux-mêmes pollués mais le contrôle de la propreté de ces déchets est beaucoup plus facile dans les entreprises que chez les particuliers.

L'inventeur a noué une coopération avec le Laboratoire national d'essais. Plus généralement celui-ci a été sollicité par l'industrie pour caractériser les « résidus de broyage », susceptibles, eux aussi, de devenir des « combustibles » ; participant à la démarche de la Commission, il a préparé un programme de travail qui commence par la normalisation des méthodes de mesure des caractéristiques de ces biocombustibles nouveaux. Il ne suffit pas en effet de mesurer des PCI ; il faut en même temps mesurer les émissions de matières polluantes. Pour cela il faut des méthodes de mesures reconnues.

Le projet de Del Charbon vert en est aujourd'hui au stade de la construction d'un prototype à l'échelle 1. Une équipe s'est formée autour de l'inventeur, avec le LNE, un centre universitaire et une chaîne de supermarchés qui fournira les déchets de plastiques et de papier-carton. La DRIRE de Haute-Normandie est favorable. Il reste à définir le régime juridique applicable à cette expérimentation.

Reclasser ces matières pour les faire passer du statut de déchets à celui de combustibles est certainement une des meilleures façons de récupérer l'énergie des déchets. Au state actuel, cela paraît envisageable pour certains déchets industriels mais je ne pense pas que ce soit possible pour les déchets ménagers, puisque leur collecte sélective coûte très cher et que l'on ne peut pas garantir leur qualité.

5- Prendre en considération l'effet de serre

L'incinération d'une tonne d'ordures brutes émet 212 kg de carbone sous la forme de gaz carbonique, dont 126 kg sont d'origine organique et 86 d'origine fossile.

On rappelle que la situation de référence est celle où les ordures sont étalées à la surface du sol et que les émissions de carbone se comptent sur un ou deux siècles. Dans ces conditions une tonne d'ordures ménagères émet 126 kg de carbone sous la forme de gaz carbonique.

Si la chaleur n'est pas utilisée, comparée à la situation de référence l'émission nette de carbone par l'incinération est donc de 86 kg par tonne incinérée valant 43 F si la tonne de carbone est évaluée à 500 F, ou 86 F si elle est évaluée à 1000 F.

Si la chaleur est utilisée et remplace du fuel ou du charbon, cela *diminuera* les émissions de 100 kg de carbone par tonne de déchet incinéré (par rapport à la situation de référence). Si la chaleur permet de produire de l'électricité qui remplace de l'électricité nucléaire, l'incinération et la récupération de chaleur conduisent à une émission de 86 kg de carbone par tonne incinérée (toujours par rapport à la situation de référence). Au cas, enfin, où la chaleur permet de remplacer du gaz, la contribution de l'incinération à l'effet de serre est nulle (par comparaison à la situation de référence).

On revient sur cela au chapitre 6, §2.1.

ANNEXE I au chapitre sur l'incinération

Une récréation mathématique : taille et nombre optimum de stations d'incinération.

Note pour le lecteur impatient : si l'effet sur les coûts de la taille des installations est très marqué (820 F/T pour 40 000 T et 400 F pour 600 000 T/an) pour l'ensemble de la France le nombre optimal de stations d'incinération est d'une cinquantaine ; elles ont une capacité de 400 000 T/an, leur rayon d'approvisionnement est de 90 km - rappel : c'est une récréation.

Il s'agit de calculer le taille et le nombre optimum d'unités d'incinération pour traiter une quantité Q de déchets répartis sur une surface de rayon moyen R. D'un point de vue économique, la taille optimale des unités d'incinération est celle qui rendra minimum le coût de traitement (déduction faite de la vente d'énergie) auquel s'ajoute le coût du transport - incluant une estimation des effets externes imputables au transport.

L'ADEME a établi une courbe qui montre le coût moyen total de l'incinération d'une tonne de déchets en fonction de la taille de l'unité. Cette courbe a tout à fait la forme d'une courbe $i = a/q + b$ i étant le prix moyen à la tonne et q la quantité traitée par l'usine.

On supposera que plus l'installation est grande, plus on est libre d'en choisir la localisation et de l'intégrer dans un programme d'urbanisation ou d'activité conçu pour utiliser efficacement la chaleur produite (on rappelle que les usines proches de Paris ont une recette de 185 F/T sous forme de vente de chaleur et d'électricité).

Pour traiter Q, le nombre d'usines est n ; il s'agit de calculer n. La dimension de chaque usine est $q = Q/n$. Le coût total de l'incinération est $I = iQ = na + bQ$.

Soit f le coût du transport par kilomètre de distance (y compris le retour à vide) et par tonne.

La distance moyenne entre le centre d'un cercle de rayon r et les zones à desservir est égale à $2r/3$ (je fais grâce du calcul). Ce n'est pas $r/2$ car les surfaces au-delà de $r/2$ sont plus importantes que les surfaces en deçà. Le rayon de la zone à desservir dépend du nombre des stations ; pour schématiser, si la totalité de la zone à desservir est un carré, on s'aperçoit que si ce carré est divisé en 9 le côté de chacun des carrés à desservir est égal au tiers du grand carré. Le rayon d'une zone est donc inversement proportionnel à la racine carrée du nombre d'usines.

Le coût du transport des déchets vers une usine est $t = 2/3 frq$

Le coût total de transport est $T = nt = 2/3 frnq$ ou $T = 2/3 frQ$ ou encore $T = 2/3 fQRn \exp(-1/2)$ l'expression $\exp(-1/2)$ signifiant l'inverse de la racine carrée.

La dépense totale pour l'incinération est donc $D = I + T$ $D = na + bQ + 2/3 fQRn \exp(-1/2)$

Pour calculer le nombre optimal de stations d'incinérations, il suffit de dériver cette expression par rapport à n et de chercher la valeur de n qui annule cette dérivée.

$dD/dn = a - fRQ/3n \exp(3/2)$ Le nombre de stations qui minimise la dépense est donc

$n \text{ optimal} = (fRQ/3a) \exp 2/3.$

On se rend compte évidemment de toutes les simplifications sous-entendues par un tel calcul. Mais la formule ci-dessus nous apprend que :

- Le nombre optimal d'usines augmente lorsque la quantité à traiter augmente, mais moins vite que proportionnellement.

- La taille optimale de l'usine dépend beaucoup du coût du transport, alors même que le coût du transport représente une petite partie du coût total. Cela s'explique car, au delà d'une certaine taille, le coût de l'incinération dépend peu de la taille.
- Le nombre optimal ne dépend pas du prix minimum *minimorum*, (c'est à dire avec nos notations b) mais seulement de l'importance de l'effet d'échelle, traduite par a.

Application numérique :

Si le prix de revient d'une unité de 600 000 T est 400 F/T et celui d'une unité de 40 000 T sans valorisation thermique est 820 F/T, on a à la fois $a/600\,000 + b = 400$ et $a/40\,000 + b = 820$. Donc $a/40\,000 - a/600\,000 = 420$ $14a/600\,000 = 420$ $a = 1,8 \cdot 10^7$ et $b = 370$.

Le coût du transport sur route est estimé à 1,1 à 1,2 F par tonne et par kilomètre de distance entre la source des déchets et le lieu de traitement. Les coûts externes d'un transport sur route peuvent être évalués à 10 ou 13 cme par tonne et par kilomètre de distance, sans compter les accidents imputables aux camions. Supposons que $f = 1,5$ F/T/km en chargeant très lourdement ce poste de coûts externes, $Q = 20$ MT, soit 26 MT diminués de parties recyclées ou méthanisée. R est la distance maximale à parcourir (retour non compris) dans le cas où il n'y aurait qu'une unité. Disons 600 km.

L'expression $fRQ/3a$ vaut donc $1,5 \cdot 600 \cdot 2 \cdot 10^7 / 3 \cdot 1,8 \cdot 10^7$ soit $600/1,8 = 330$. Puis on calcule que $330 \exp^{2/3}$ vaut à peu près 50.

Selon ces hypothèses, le nombre optimal d'unités d'incinération est donc d'une cinquantaine. La taille de chaque unité est de 400 000 tonnes par an. Le coût d'incinération est de 415 F/T. La distance maximale d'approvisionnement est un peu moins de 90 km ; le coût maximal de transport est 130 F/T.

Si le prix des transports est de 1,2 F/T, c'est à dire inférieur de 20 %, le nombre d'unités diminue de 14% soit 7 unités de moins, dont la capacité passe à 480 000 T. On conçoit l'intérêt de très grosses installations desservies par fer ou par voie d'eau, modes de transport dont les coûts externes sont largement inférieurs à ceux de la route.

Enseignements de l'application numérique :

La taille optimale apparaît très élevée. Sans doute faudrait-il raffiner en distinguant le cas de la région parisienne, celui des grandes agglomérations et celui de la campagne. Ces calculs semblent bien montrer que la taille de l'unité ne sera pas limitée par le coût du transport mais par d'autres considérations. Si les coûts ne sont pas péréqués, les communes les plus éloignées auront à payer 560 F/T ; elles trouveront peut-être d'autres solutions moins coûteuses. En réalité, ce qui limitera la taille des unités est plutôt la possibilité de fédérer un nombre très grand de communes sur une aire très étendue.

Un raffinement : la prise en compte de la région parisienne

Distinguons la région parisienne et la province. La première, avec 6 millions de tonnes d'ordures ménagères et assimilées, un rayon de 30 km et un coût complet de transport de 5 F/km (dont 4 d'effets externes, ce qui est beaucoup – cf. annexe II à ce chapitre), la seconde avec 14 MT d'ordures ménagères.

Le lecteur pourra faire le calcul. Hors la région parisienne, on trouve une quarantaine d'unités d'incinération de 370 000 T/an.

Note : si l'effet de taille est moins marqué et si l'usine de 40 000 T/an a un prix de revient de 650 F/T (et non pas 820F), hors région parisienne il y aura une cinquantaine d'usines de 260 000 T/an et en région parisienne une dizaine d'usines de 600 000 T/an..

ANNEXE II au chapitre sur l'incinération

Les effets externes du transport par camion et par route

La "cellule prospective" du ministère de l'environnement a rédigé un rapport "évaluation économique et environnement dans les décisions publiques". On y trouve une évaluation des coûts externes des transports.

Pour cette évaluation, les données qui avaient été recueillies par la "cellule prospective" sont les suivantes :

Lorsque les estimations sont faites en cme par Km et par véhicule, nous les traduisons en cme/TK en retenant un poids transporté de 10 T seulement pour tenir compte d'un retour à vide.

Pollution de l'air	source : CGP, GRECAM :	7,5 cme/TK
Bruit	à partir de données du CGP	0,4 à 0,5 cme/TK
Pollution de l'eau	une source canadienne	10 cme/ véhicule et par Km, soit 1 cme/TK
Emissions de CO ₂	MIES - selon le milieu	5,5 cme à 11 cme/TK (voir commentaires)
Effets de coupure	une estimation scandinave	8 à 10 cme / véhicule.Km soit 0,9 cme/TK
Dépendance pétrolière		3 cme/TK (voir commentaires)
En milieu urbain, pour mémoire		
Congestion		11 cme par véhicule et par Km
Occupation d'espace		jusqu'à 5 F par véhicule et par Km

Cela me conduit à une estimation des effets externes pour le transport de déchets sur route, sur camions de 30 T après compactage : ***moins de 12 cme par tonne et par kilomètre de distance*** entre la source des déchets et le lieu de traitement (cf. commentaires ci-dessous)

A noter que les coûts imputables aux accidents de la circulation ne sont pas pris en compte dans cette estimation.

Commentaires

Réduire notre dépendance pétrolière :

Cette expression a deux sens différents : l'Etat peut vouloir diminuer l'impact sur notre vie économique d'une forte perturbation de l'approvisionnement en pétrole et, pour cela, rendre le pays moins dépendant en diminuant sa consommation d'énergie, en rendant possible le développement d'autres sources d'énergie et en conservant des stocks. Autre signification : on peut vouloir se préparer au fait que cette ressource, qui n'est pas renouvelable, coûtera de plus en plus cher. L'évaluation de la cellule Prospective retient plutôt cette deuxième signification. Alors se pose une question de méthode.

Tout le monde s'accorde à dire qu'il peut y avoir un écart entre le prix de marché tel qu'il est et celui qui émergerait d'un marché parfaitement informé. Il est habituel d'appeler cette différences "effets externes". Cela dit, à mon sens il convient de distinguer radicalement d'une part les coûts externes qui représentent des dommages causés aux tiers (ou un avantage dispensé à des tiers) qui ne seront jamais pris en compte par le marché et qu'il convient donc d'une façon ou d'une autre d'internaliser en faisant en sorte que le marché les prenne en compte, et d'autre part l'effet sur le prix de ce que le marché ne

prend pas en compte *dès maintenant* les conséquences d'une évolution future ; ou encore que la situation du marché soit telle que l'on se dit que "ça ne peut pas durer comme cela".

Le fait qu'une ressource va s'épuiser relève du deuxième cas ; d'ailleurs cette formule "une ressource qui va s'épuiser" est fallacieuse : il y aura toujours du pétrole sous terre, mais ce qui restera sera tellement coûteux à exploiter que le jeu du marché lui-même fera en sorte qu'il ne sera plus recherché (une autre source d'énergie sera trouvée ou, déjà connue, sera davantage exploitée ; par ailleurs les comportements des consommateurs auront changé etc.). Comme le marché intégrera lui-même le fait que la ressource sera de plus en plus coûteuse, il ne s'agit pas d'un effet externe. On peut estimer que le marché ne prend pas en compte aujourd'hui la future augmentation des coûts. Alors l'Etat est fondé à intervenir par la fiscalité pour que les décisions des acteurs économiques soient mieux orientées (dans ce cas, après un choc pétrolier, la fiscalité doit être révisée à la baisse !) ; il est fondé également, dans ses réflexions propres, à évaluer l'énergie à un prix qui tient compte de l'évolution prévisible à long terme du prix de marché.

Effet de serre :

L'estimation retenue par la Cellule Prospective paraît excessive. La partie haute de la fourchette correspond à une circulation urbaine. Sur route, un gros camion consomme moins de 2 litres aux 100 km par tonne transportable soit moins de 4 litres au 100 km par tonne transportée. Il émet donc moins de 4 kg de carbone sous forme de CO₂ par TK. Aujourd'hui, en France, l'évaluation de la tonne de carbone est de 500 F. Dans d'autres pays de la Communauté, on parle de 1000 ou 2000 F/tonne de carbone. Certains voudraient estimer plus cher l'émission de carbone par les transports que par d'autres sources au motif que l'augmentation des émissions est due aux transports. Ce raisonnement ne résiste pas à l'analyse : il suffirait pour s'en convaincre de considérer que la technique des permis d'émettre autorise des transferts d'un secteur à l'autre ; de toutes façons, il appartient à l'autorité de régulation générale de l'économie, c'est à dire l'Etat, d'orienter les efforts là où ils sont le moins onéreux. Donc nous retiendrons la valeur de 500 F ou de 1000 F/T de C. Alors, pour une consommation de 2 litres aux 100 km parcourus et par tonne transportable, en tenant compte d'un retour à vide cela fait 4 litres par 100 tonnes.kilomètres effectivement transportées, coûtant en effet de serre 2 à 4 cme par tonne kilomètre.

Faut-il ajouter les coûts de chacun des effets externes prix isolément ?

Si l'internalisation du coût de l'un des effets suffit à diminuer la cause au point que les autres effets externes sont réduits, il convient de ne pas ajouter intégralement les coûts externes. C'est ainsi que, si l'imputation de la pollution a comme effet de diminuer la consommation des moteurs, la prise en compte de la dépendance énergétique (qui n'est pas externe mais qui justifie une intervention de l'Etat) n'aura pas la même valeur, de même que l'effet de serre ; par contre le coût externe de l'effet de coupure ou du bruit n'en aura pas été diminué.

Une estimation pour le transport de déchets sur route

Pour la pollution de l'air hors effet de serre (7,5 cme), le bruit (0,4 cme), la pollution de l'eau (1 cme), les émissions de gaz carbonique (2 ou 4 cme), les effets de coupure (0,9 cme/TK) ; au total, comme les effets ne sont pas additifs, moins de 12 cme par tonne kilomètre, c'est à dire 12 cme par kilomètre de distance du lieu de production des déchets au lieu de traitement, puisque tous les coûts ont été estimés en tenant compte d'un retour à vide. Cette valeur peut être portée à 15 cme si l'on pense nécessaire de compter, en plus, la dépendance en énergie. Nous retiendrons 12 cme par tonne et par kilomètre de distance, valeur qui ne tient pas compte des effets des accidents de la circulation.

Chapitre 3

Les déchets qui sont à la fois recyclables et combustibles

Depuis des années les ménages contribuent sans aides publiques au recyclage de verre et du papier en les apportant dans des conteneurs ad hoc. Parallèlement une grande partie des déchets de plastique et de papier générés par les entreprises est recyclée au travers de circuits économiques de marché sans aides publiques. Il a été récemment décidé par la Communauté européenne d'augmenter le recyclage des emballages ménagers en faisant obligation aux entreprises qui mettent des emballages sur le marché de contribuer à leur valorisation comme matière recyclable. L'expérience commence à en montrer les coûts puisque, après collecte sélective au porte à porte et tri, ceux-ci sont en moyenne le double de ceux de l'incinération. Pour convaincre les communes, le dispositif mis en place leur apporte une subvention qui peut atteindre en moyenne 2000 F/T triée pour le papier et 6000 F/T pour le plastique, mais 3500 F ou 17 000 F par tonne triée de papier ou de plastique supplémentaire alors que « l'avantage externe » du recyclage par rapport à la combustion est négatif pour le papier et très faible ou négatif pour le plastique. Le bénéfice du taux réduit de la TVA, décidé dans la loi de finances pour 1999, amplifie le phénomène et ajoute une aide qui s'élève à 1000 ou 3000 F par tonne de matière recyclée.

Cette situation étrange – où la population, mal informée, accepte, voire souhaite, que des fonds publics servent à financer des opérations qui perturbent la concurrence et dont le coût est incomparablement supérieur à leur utilité sociale ou environnementale – est rendue possible par l'éclatement des sources de financement et la complexité du processus de décision qui empêchent les "forces de rappel" habituelles économiques ou politiques de jouer efficacement leur rôle.

Eco-emballage devrait donc être conduit à financer l'utilisation efficace de la chaleur d'incinération des emballages au même titre que leur recyclage.

Parallèlement, plutôt que d'alléger des dépenses communales qui augmentent beaucoup, il conviendrait d'informer le public sur les coûts réels du recyclage après collecte au porte à porte en comparaison avec les autres modes de collecte et de traitement, d'inciter les communes à réduire le plus possible les coûts de collecte et de traitement en stimulant la concurrence, en finançant des programmes de recherches techniques ou organisationnelles et en diffusant l'information sur les meilleures pratiques.

Une réflexion sur la valorisation énergétique des déchets conduit naturellement à se pencher sur les destinées alternatives des matières à la fois combustibles et recyclables. Il s'agit du papier-carton d'une part, des plastiques d'autre part. Il faut ici se rappeler que le papier-carton peut être également composté ou méthanisé mais ne doit pas être mis en décharge car alors le méthane dégagé par sa fermentation à l'abri de l'air ne peut pas être récupéré totalement même si la décharge est bien tenue ; les plastiques, quant à eux peuvent être mis en décharge sans inconvénient notoire sur l'environnement (au contraire, du point de vue de l'effet de serre, c'est leur meilleure destination).

1- Le recyclage des déchets sans financement public

40% des matières premières utilisées par l'industrie française sont des matières recyclées au travers d'un circuit économique régi par les lois du marché sans subventions publiques. Plus précisément, à côté des déchets des petites entreprises enlevés par les collectes municipales, la moitié des déchets en papier et carton et environ 40 % des déchets de plastique produits par les entreprises sont recyclés sur une base purement commerciale.

Par ailleurs, on peut se rappeler que certains produits sont "recyclés" par des associations, souvent caritatives. Il en est ainsi du textile par le Secours catholique et le Secours populaire. Le recyclage du verre est une pratique ancienne, bien entrée dans les mœurs et efficace puisque la moitié du verre

consommé en France est recyclée par apport volontaire des ménages ; à l'origine, le produit de la vente du verre collecté était destiné à financer la lutte contre le cancer. Egalement certaines collectes de vieux papiers ont été faites ou sont encore faites par des associations, telles les Compagnons d'Emmaüs.

L'efficacité du dispositif Eco-emballage créé à la suite du décret du 1^{er} avril 1992 sur le recyclage des emballages contenus dans les ordures ménagères doit donc s'apprécier en comparaison de ce qui se pratiquait auparavant et de ce qui se pratique aujourd'hui hors de son champ d'action.

2- Le coût et l'efficacité de la collecte et du tri des produits à recycler : porte à porte ou apport volontaire

A la suite d'une importante étude sur les coûts du traitement des déchets, faite par la SOFRES et publiée en 1998, l'ADEME nous donne quelques indications sur le coût des collectes dans le "*guide de révision des plans départementaux*". Malheureusement, ces indications sont peu nombreuses. D'autre part, pour aider à la décision, elles devraient être complétées par la description précise des réalisations les meilleures, de leurs résultats et des facteurs qui les expliquent.

Note : comme je le montre ci-dessous, selon les données que j'ai recueillies le surcoût du recyclage avec collecte sélective au porte à porte est très largement supérieur à son avantage environnemental. J'ai donc veillé à minimiser la différence de coût entre collecte sélective au porte à porte et après apport volontaire.

2.1- Le coût de la collecte par tonne collectée

Selon l'ADEME, la collecte du verre en apport volontaire coûte 200 F/T. Selon certains de mes interlocuteurs favorables à la collecte sélective au porte à porte, ce prix ne comporte pas un certain nombre de "frais cachés" comme la remise en état des conteneurs victimes de vandalisme ou le nettoyage autour des conteneurs. Par prudence, je retiendrai donc le coût de 250 F/T. Je supposerai que le coût de la collecte en apport volontaire du papier-carton est légèrement supérieur : 300 F/T. Une collecte sélective hebdomadaire au porte à porte de la fraction papier-carton, plastiques et métaux des ordures ménagères coûte de 900 F/T en habitat collectif à 1350 F/T en habitat individuel (cf. en annexe les « données numériques »). La collecte des ordures ménagères résiduelles coûte 350F/T en habitat collectif et 450F/T en habitat individuel. Comment imputer à chaque matériau une partie du coût d'une collecte qui emporte à la fois plusieurs matériaux ? Le cas du papier ne soulève pas de difficulté puisque sa densité est voisine de celle des ordures en général ; il n'en est certes pas ainsi du plastique. Or une telle estimation est absolument nécessaire pour fonder des choix. On ne saurait donc trop recommander à l'ADEME de se livrer à une réflexion approfondie sur le sujet.

Une réflexion sur le coût de la collecte de plastique

Faute de réflexion connue sur le sujet, voici un raisonnement basé sur des données numériques que j'ai discutées avec des professionnels ; les ordres de grandeur sont sans doute exacts.

Le cas de la collecte au porte à porte d'ordures mélangées

Il s'agit de rechercher une estimation du coût de la collecte en *francs par tonne*. Il faut distinguer le cas où le facteur qui limite le chargement d'une benne est son poids et celui où c'est son volume. Dans le premier cas, le coût de la collecte du plastique, aussi peu dense soit-il, est celui le coût moyen de la collecte, soit 400 F/T. Dans le deuxième cas, si on retire une tonne de plastique, il sera possible d'ajouter le même volume d'ordures ménagères, pour un poids de plusieurs tonnes. En collecte mélangée, le plastique peut être fortement comprimé ; d'autre part son coefficient de foisonnement est beaucoup plus faible que dans le cas de collecte séparée puisque des ordures vont se loger dans les espaces entre les bouteilles. Seule une étude permettrait d'estimer valablement la valeur du rapport de densité entre les bouteilles plastiques compactées et les autres ordures ménagères ; un professionnel m'a indiqué que les bouteilles plastiques compactées ont une densité de 100 kg par mètre cube alors que les ordures mélangées compactées dans la benne ont une densité de 500 kg par mètre cube ; le rapport serait donc de 1 à 5 ; par prudence, je supposerai qu'il est de 1 à 8. Alors, si le facteur limitant est le poids, le coût de la collecte de plastique dans des ordures mélangées est de **3000 F /T** environ – si le rapport n'est que de 5, le coût de la collecte de plastique dans des ordures mélangées est de 2000 F/T.

Le cas de la collecte après apport volontaire

Une entreprise m'indique le chiffre de **3000 F/T**. Ce chiffre est cohérent avec celui de la collecte de verre indiqué par l'ADEME, 250 F/T, si l'on tient compte du rapport de densité entre le verre et les bouteilles après compactage – environ 100 kg par mètre cube.

Le cas de la collecte sélective au porte à porte

Dans ce cas, le facteur qui limite le chargement d'une benne est évidemment le volume. Voici un jeu de données dans un cas de collecte *en milieu rural*. Une benne à deux compartiments, de 6 m³ et de 10 m³, collecte du papier et de l'emballage plastique. Sa charge moyenne est de 6 tonnes. La collecte des deux revient à 4 000 F/T soit 24 000 F par benne. Le facteur limitant étant le volume, le coût se répartit entre papier et plastique en fonction des volumes, soit environ 16 000 F pour le plastique – qui pèse une tonne. Ce coût est énorme. Par prudence, je supposerai donc que la collecte de ces deux flux *séparés* coûte 1500 F/T – et non 4 000 F (à comparer aux données de l'ADEME : de 900 à 1350 F/T pour une collecte de trois matériaux *mélangés*), ce qui, pour l'emballage plastique, porte le coût de la collecte séparée en porte à porte à **6 000 F/T** ; c'est le chiffre que j'utiliserai dans la suite de ce rapport.

Face à l'ampleur de ces chiffres, on entend parfois dire que l'appréciation portée sur le coût de traitement des emballages devrait tenir compte de la valeur d'usage (passé) de ces emballages : pour contenir un litre de boisson, vingt grammes de plastique ayant été aussi utiles que 600 grammes de verre doivent pouvoir supporter les mêmes dépenses de traitement. La question ne se pose pas en ces termes : devant une bouteille de plastique usagée, la question n'est pas de savoir ce que l'on en ferait si c'était du verre, mais de décider si on la trie ou si on la brûle ou si on met en décharge. La seule comparaison utile est donc celle des dépenses, économiques et environnementales (y compris la collecte) liées à l'incinération, ou à la décharge ou au recyclage.

La Communauté urbaine de Lille

Elle a monté un système de collecte sélective en quatre flux localisés dans deux conteneurs compartimentés : papier-carton, emballages 4 matériaux (verre, fer, aluminium et plastique), fraction fermentescible et ordures grises. Avec cette collecte sélective, le nombre de tournées n'a pas augmenté. Ce tri est en place dans l'habitat individuel, pas encore en collectif. Après une analyse fine du prix de revient et après un appel d'offres sur performances, la Communauté urbaine de Lille vient de signer un contrat pour sept ans à un prix de 600 F/T. Ce prix est un prix moyen pour l'ensemble de ordures ménagères, qui doit donc être comparé à la moyenne pondérée des coûts de collecte sélective (900 à 1300 F/T en porte à porte ou 200 à 300 F en apport volontaire) et résiduelles (350 à 450 F/T) ; par ailleurs il convient de mentionner que tous les flaconnages sont mélangés, verre et plastique, ce qui diminue beaucoup la qualité du plastique. Le calcul de la partie du coût de la collecte imputable aux plastiques a peut-être été fait, mais je n'en ai pas connaissance.

2.2- Rapport entre le coût et l'efficacité du porte à porte, comparé à l'apport volontaire

Je ne parle ici que des matériaux recyclables et combustibles, le papier, le carton et le plastique

Pour trier davantage de papier-carton ou de plastique, les communes sont encouragées à choisir les collectes au porte à porte plutôt qu'en apport volontaire. Le coût supplémentaire, ramenée à la tonne *triée en plus* est considérable - voir le détail des calculs en annexe III à ce chapitre.

Le papier

Eco-emballage estime que la collecte sélective du papier en porte à porte est deux fois plus efficace que la collecte par apport volontaire. Sur cette base et en partant des données sur les coûts proposées par l'ADEME, il est possible de calculer la dépense engagée pour collecter une tonne *de plus* en passant de l'apport volontaire au porte à porte - car, pour un produit donné, l'apport volontaire ne peut pas coexister avec une collecte sélective au porte à porte. Le calcul détaillé en annexe III à ce chapitre montre que le coût supplémentaire pour avoir une tonne de plus *triée* est de 900 F. Il s'agit bien d'un coût imputable au tri et non à la collecte car dans les deux cas le papier est collecté.

Naturellement ce coût de la tonne triée en plus dépend énormément de l'augmentation des quantités collectées. Il n'est pas rare d'entendre que la collecte au porte à porte de papier ne permet pas de

recueillir beaucoup plus de produit trié que l'apport volontaire. Si l'augmentation n'est pas de 100 % mais de 50%, ce qui est déjà beaucoup, la dépense supplémentaire est de 1400 F/T collectée à part. Ajoutons que la collecte sélective du papier au porte à porte se traduit souvent par une moins bonne qualité du tri car la collecte au porte à porte mêlera les journaux magazines à d'autres papiers et aux emballages ; la valeur du produit collecté s'en ressentira.

Les résultats sont les mêmes pour le verre. Quant aux déchets métalliques, ils sont aisément triés sur site par des moyens électriques ou électromagnétiques ; ce tri est systématique à la sortie des usines d'incinération ; il peut se pratiquer également en amont ou en aval d'une installation de compostage. Si les emballages en fer font l'objet d'une collecte sélective, ils seront nécessairement mélangés à d'autres formes de déchets et devront être triés.

Le plastique

Par rapport au papier et au verre, la différence entre le coût de la collecte en porte à porte et la collecte volontaire est amplifiée par la faible densité de l'emballage plastique.

L'ADEME indique que selon Eco-emballage l'efficacité du porte à porte serait 2,5 fois supérieure à celle de l'apport volontaire. Si tel est le cas, avec les coûts estimés comme indiqué ci-dessus, le coût supplémentaire pour avoir une tonne *triée* de plus est de 5 000 F. Par ailleurs, comme pour le papier, la qualité du plastique peut se trouver diminuée par la collecte au porte à porte.

Si l'augmentation des quantités triées n'est pas de une fois et demi mais des deux tiers, ce qui serait déjà un bon résultat, le coût de cette tonne triée supplémentaire est de 7 500 F - encore une fois, même s'il s'agit d'un coût de collecte, ce coût est imputable au *tri* et non à la collecte puisqu'il ne permet pas de collecter une tonne de plus mais s'explique par la volonté de trier les matières.

2.3- Le coût du tri sur le centre de tri

On lit dans la brochure de l'ADEME : "Les coûts de fonctionnement sont de l'ordre de 600 F/T entrante (pour un tri très performant sur deux fractions corps creux (verre inclus) / corps plats) à 1300 F/t entrante (pour un tri sur une fraction 4 matériaux en mélange hors verre dans une petite installation)". Cette différence de coût entre le plus cher et le moins cher est considérable.

Il est difficile de répartir ce coût entre les différents matériaux. Il est probable néanmoins que, dans le cas où le tri porte aussi sur le verre, le tri du verre coûte beaucoup moins cher que la moyenne. Dans la suite, le coût du tri du plastique et du papier sera donc estimé à 1000 F/T après collecte en apport volontaire ou 1100 F/T après collecte au porte à porte pour tenir compte d'une moins bonne qualité.

La Communauté urbaine de Lille exploite à travers une SEM un centre de tri très performant qui reçoit sur une ligne les flaconnages (4 matériaux) et sur une autre les papiers-cartons. Le total de dépenses du centre s'élève à 600 F/T traitée. Ce coût est remarquable. Il est atteint en premier lieu grâce à la taille du centre, qui trie 60 000 tonnes par an, mais aussi grâce à un suivi constant de la production et de sa qualité (le centre est certifié ISO 9000 et 14000), à l'habile combinaison de moyens humains et mécaniques et à une gestion du personnel stimulante. Néanmoins ce coût à la tonne doit être comparé avec précaution à celui d'autres centres de tri qui ne reçoivent pas le verre ; sans doute aussi la qualité du produit souffre-t-elle de la présence dans les mêmes conteneurs de plastique et de verre.

L'exemple de Lille (sans doute pourrait-on en citer d'autres) montre que des progrès sont possibles. Pourtant, il ne doit pas empêcher de faire des comparaisons avec les modes de gestion des déchets les moins chers. C'est l'ensemble collecte et tri qu'il faut considérer car on a vu que les dépenses de tri commencent *massivement* dès le stade de la collecte pour dépasser de plusieurs milliers de francs par tonne triée celles de la solution la moins chère.

Ces écarts considérables suggèrent aussi que les interventions de l'ADEME et d'Eco-emballage devraient avoir comme principal objectif, non pas de financer des dépenses mais d'encourager à en faire moins.

3- La valeur du produit collecté

La valeur du produit collecté est égale au prix que l'on peut en obtenir sur le marché, complété de l'avantage non marchand que présente pour la collectivité le recyclage du matériau par rapport à son élimination.

3.1- La valeur marchande

Le papier :

Hors les périodes les plus favorables des cycles économiques que connaît ce secteur, le papier conditionné peut être vendu départ du centre de tri à 200 ou 400 F par tonne entrante compte tenu des refus de tri - il arrive que la valeur marchande soit nulle, mais aujourd'hui la valeur de reprise atteint des valeurs supérieures à 500 F/T.

Le plastique

Il est repris souvent à une valeur nulle ; or il est fréquent que l'entreprise qui le reprend doive dépenser pour en faire un produit utilisable une somme supérieure à la valeur de ce produit. Dans ce cas, la valeur d'usage selon les prix qui émergent du marché est donc négative ; les chiffres suivants m'ont été cités : dépenses de 4500 F/T pour faire un produit dont la valeur est de 3500 F/T, ce qui conduit à dire que le plastique trié à une valeur négative de 1000 F/T. Dans la suite, pour le plastique collecté à part, avant le tri sur site, je retiendrai une valeur négative de 600 F/T. Cette « valeur » négative dépend du prix des produits faits à partir de matière vierge, donc du prix du pétrole.

3.2- Les avantages externes du recyclage

3.2.1- L'économie de matière première et d'énergie

Le papier

Il serait hasardeux de compter comme un avantage externe que le recyclage du papier permet de sauver des forêts. Ce genre d'affirmation est un exemple des erreurs que des personnes avisées ne devraient pas contribuer à propager : la fabrication de pâte est un des rares débouchés offerts au bois provenant des élagages, des éclaircies ou du balivage, c'est à dire des opérations sylvicoles qui permettent d'obtenir de beaux arbres et du beau bois d'œuvre. Par ailleurs, les économies d'énergie permises par l'utilisation de vieux papier pour produire de la pâte se traduisent dans le prix proposé par le fabricant de pâte ; on ne peut donc y voir un avantage "externe". Par contre, on sait que les transports routiers ne paient pas l'ensemble des coûts qu'ils génèrent ; or la collecte de vieux papiers peut avoir un effet défavorable sur les transports. Il serait préférable de trouver aux papiers une utilisation à proximité, comme une utilisation thermique directement en combustion ou indirectement par méthanisation.

Le plastique

Il est extrêmement difficile de décider s'il convient de donner une valeur au fait que le recyclage économise une matière première non renouvelable. Intuitivement, une réponse positive peut ne soulever aucun doute. Pourtant, on peut affirmer qu'il n'existe pas de matière non renouvelable qui soit épuisée. De même qu'il reste de très grandes quantités de charbon dans le sous-sol du nord et de l'est de la France, de même, au fur et à mesure que l'exploitation du pétrole deviendra plus onéreuse, le mode de consommation changera et d'autres ressources deviendront relativement plus intéressantes de sorte qu'un moment viendra où la demande de pétrole s'éteindra - avant que les ressources n'aient disparu. Cela n'interdit pas une intervention de l'Etat, bien sûr, s'il estime que le marché, spontanément, n'anticipe pas suffisamment l'augmentation des prix. Ce n'est pas comme protecteur d'une "espèce" en voie de disparition qu'interviendrait alors l'Etat, mais comme "stratège" soucieux de préparer l'avenir.

Or les progrès techniques repoussent les perspectives de pénurie de pétrole. De toutes façons, si l'on voulait justifier le surcoût du recyclage du plastique par rapport à l'incinération avec récupération de la chaleur par l'économie de matière première, il faudrait donner à cet avantage une valeur exorbitante.

Depuis, il est apparu un autre argument, l'effet de serre.

3.2.2- La prise en compte de l'effet de serre

Au chapitre 1 § 4 j'ai rappelé comment évaluer l'incidence sur l'effet de serre des différentes voies de traitement des déchets. La situation de référence est celle où le déchet est abandonné à la surface d'un sol végétal. Le coût d'une tonne de carbone émis dans l'atmosphère sous la forme de gaz carbonique est de 500 F ou de 1000 F. La période d'observation est de l'ordre du siècle.

Pour le papier comme pour le plastique, on calculera les émissions de carbone d'un scénario « recyclage » et d'un scénario « incinération avec récupération de la chaleur ». L'un et l'autre conduisent à la même situation : d'une part il n'y a plus de déchet, et d'autre part on aura produit la même quantité d'énergie utilisable *et* une quantité de matière ayant la même valeur d'usage. En cas d'incinération, l'énergie est produite par l'incinération ; en cas de recyclage, l'énergie utilisable est produite à partir de produits pétroliers ou bien à partir d'énergie nucléaire. Les quantités de carbone émises par l'incinération des déchets sont calculées par rapport à la situation de référence, c'est à dire celle où le déchet est abandonné à la surface d'un sol végétal.

Le papier

Dans un premier temps ne tenons pas compte de l'énergie nécessaire à la production de matière. Avec cette convention très simplificatrice, le recyclage ni la production de matière à partir de matières vierges n'émettent de gaz à effet de serre.

Quant à la production d'énergie, il est intéressant de noter que, par rapport à la situation de référence, l'incinération de papier ou de carton ne génère pas d'effet de serre car, laissé à l'abandon, le papier pourrira et émettra tout autant de gaz carbonique.

En conséquence, de point de vue de l'effet de serre, il vaut mieux brûler les déchets de papier-carton et récupérer l'énergie que de les recycler.

Ce raisonnement doit être affiné en tenant compte du fait que, pour faire du papier, il faut consommer de l'énergie et que ni la quantité ni l'origine de l'énergie nécessaire ne sont les mêmes selon que l'on utilise du papier recyclé ou du bois, que la valeur d'usage d'une tonne de papier recyclé est inférieure à celle d'une tonne de papier vierge, et que l'efficacité énergétique d'une usine d'incinération n'est pas la même que celle d'une centrale thermique - une présentation plus précise est donnée en annexe I à ce chapitre. Tous ces éléments jouent dans un sens ou dans le sens contraire, mais globalement la conclusion n'en est pas changée ; elle est paradoxale sans doute, mais d'autant plus intéressante .

Si l'énergie remplacée est de fuel ou du gaz, du point de vue de l'effet de serre il vaut mieux brûler le papier-carton et utiliser la chaleur que de le recycler ; si l'énergie remplacée est du fuel, l'avantage est de l'ordre de 0,14 tonne de carbone par tonne de papier, soit 70 ou 140 F par tonne – voir en annexe I à ce chapitre

Le plastique

Le cas est différent puisque l'on ne peut pas se référer au cycle du carbone à l'échelle du siècle. Le plastique peut être recyclé ou incinéré avec récupération d'énergie.

Reprenons d'abord la même convention simplificatrice que pour le papier, et ne tenons pas compte de l'énergie nécessaire à la production de matière ; supposons aussi que, pour produire la même quantité de chaleur utilisable, l'incinération de plastique ou la combustion de fuel émettent la même quantité de carbone.

Le scénario « incinération » et le scénario « recyclage » avec production d'énergie à partir de pétrole émettent donc la même quantité de carbone. Par contre le scénario « incinération » émet davantage de carbone que le scénario « recyclage » avec production d'une énergie nucléaire.

Comme pour le papier, il faut tenir compte de l'énergie nécessaire à la production de produit vierge ou recyclé. Il faut également tenir compte du fait qu'une tonne de plastique recyclé n'a pas même valeur d'usage qu'une tonne de plastique à partir de matière vierge. Enfin, l'efficacité énergétique d'une station d'incinération n'est pas la même que celle d'une centrale thermique. Le raisonnement est détaillé en annexe I à ce chapitre.

Avec les données dont je dispose, la conclusion est assez étonnante : du point de vue de l'effet de serre dans le cas *du polyéthylène à haute densité*, il vaut mieux recycler du plastique plutôt que de le brûler lorsque l'énergie de substitution est du nucléaire mais *il vaut mieux le brûler que de le recycler, si l'énergie remplacée est du charbon ou du pétrole* ; c'est à peu près indifférent si l'énergie remplacée est du gaz.

Cela vient du fait que le recyclage émet autant de gaz à effet de serre que la production d'une tonne vierge (y compris les gaz émis pour le transport des déchets), circonstance dont l'effet est augmenté par le fait qu'une tonne de plastique recyclé n'a pas la même valeur d'usage qu'une tonne de plastique vierge ; en sens inverse, l'efficacité énergétique de l'incinération n'est pas aussi bonne que celle d'une centrale thermique.

3.2.3- D'autres effets externes

Il y a d'autres effets externes sans doute : d'autres formes de pollution, les encombrements de la route etc. Ces effets ne sont pas connus de façon précise. Les prendre en considération ne changerait sans doute pas le sens des conclusions car certains sont d'un ordre de grandeur très inférieur à l'effet de serre ; quant à celui qui est sans doute le plus important, à savoir le coût de l'encombrement de la voirie urbaine, il joue très certainement en faveur de la combustion plutôt que du recyclage car celui-ci demande beaucoup plus de manutention et de transports que l'incinération.

3.2.4- Conclusion sur les effets externes du recyclage

Le raisonnement tenu dans ce paragraphe ne tient pas compte de certains effets externes, comme ceux de la pollution ou du transport. Mais l'évaluation de ces effets, lorsqu'elle est faite, est sensiblement inférieure à celle de l'effet de serre – voir en annexe au chapitre précédent une récapitulation des effets externes du transport. D'autre part, tous ces effets externes ne jouent pas dans le même sens (le recyclage génère en général davantage de transport que l'incinération, par exemple).

Au départ du puissant mouvement pour le recyclage, il y avait le sentiment qu'il est nécessaire d'économiser des matières premières et une énergie non renouvelables. Depuis, une autre limite est apparue avec l'effet de serre.

Or, d'un point de vue comme de l'autre, il est préférable de brûler ou de méthaniser le papier-carton en récupérant la chaleur que de le recycler ; quant au plastique, l'avantage éventuel du recyclage a une valeur toujours *très largement inférieure* au surcoût qu'il engendre par rapport à l'incinération avec récupération de la chaleur.

On peut aussi calculer quelle devrait être la valeur de ces « avantages externes » pour justifier les aides spécifiques accordées au recyclage par Ecoemballage et par les avantages fiscaux (voir ci-dessous la paragraphe 5) ; on arriverait à des valeurs exorbitantes

Cette constatation devrait suffire à reconsidérer fondamentalement la politique de recyclage des matériaux à la fois recyclables et combustibles à savoir le papier et le plastique.

4- Le coût du recyclage, comparé à celui de l'incinération

Les tableaux suivants comparent les dépenses nettes du recyclage du papier-carton et du plastique (avec collecte sélective et tri) aux dépenses d'incinération (après collecte au porte à porte d'ordures brutes). Il distingue la collecte au porte à porte et la collecte en apport volontaire ; il tient compte de ce que le tri coûte plus cher après une collecte au porte à porte.

PàP : porte à porte AV : apport volontaire Incinér : incinération

Francs par tonne	Papier- carton			Plastique		
	Incinér.	Recyclage		Incinér.	Recyclage	
		P à P.	AV.		P à P.	AV.
<i>Tonne de C à 500 ou 1000 F</i>						
Collecte	400	800	300	3000	6000 ?	3000
Tri		1100	1000		1100	1000
Incinération du refus		100	100		100	100
Recettes de la vente, entre ()		(300)	(300)			
Dépenses de l'industriel					600	600
Incinération (recettes déduites)	450			450		
TOTAL	850	1700	1100	3450	7800	4700
<i>Effet de serre / () en négatif</i> Incinér par rapp. à recycl Substitution à du pétrole	(80) ou (160)	0	0	0 ou moins de 100 ou 200	0	0

Ce tableau repose sur des hypothèses simplificatrices et sur des conventions qui sont toutes explicitées et peuvent évidemment être commentées ; il en est ainsi en particulier du coût de la collecte au porte à porte de plastique, en collecte séparée ou mélangée ; on n'a pas tenu compte par exemple des effets externes du transport.

On a différencié les coûts de collecte selon les matériaux. Faut-il différencier le coût de l'incinération ? La question n'est pas facile. Je l'aborde dans l'annexe II à ce chapitre en commentant une étude allemande. A court terme, il est légitime de tenir compte du fait que le PCI du plastique est supérieur au PCI moyen ; à moyen terme il n'en est pas ainsi, car le type d'équipement choisi sera fonction du PCI des déchets et rien ne dit que les coûts, alors, recettes déduites, augmenteront en fonction du PCI.

Tout simplifié qu'il est, ce tableau montre les ordres de grandeur de coût et les différences entre l'incinération d'une part, le recyclage d'autre part des déchets à la fois recyclables et combustibles - en tenant compte seulement des coûts économiques visibles ou en tenant compte aussi de l'effet de serre.

On y voit l'effet considérable du coût de la collecte au porte à porte par rapport à l'apport volontaire. Le papier trié a une valeur positive et sa collecte en apport volontaire ne coûte pas cher. Il sera intéressant de le recycler si le tri ne coûte pas plus que 700 F/T - ou 500 F/T en tenant compte de l'effet de serre. On peut remarquer que si l'on supposait que le recyclage de papier a une incidence favorable sur l'effet de serre, il pourrait être préféré à son incinération ; or c'est le contraire qui est vrai.

La solution la moins chère (de 500 à 600 F/T après la prise en compte de l'effet de serre) est l'apport volontaire de papier suivi d'une incinération avec récupération et utilisation de la chaleur ; mais cette formule n'est sans doute pas recevable par la population...

5- Pour le recyclage du papier et du plastique, un effort démesuré

5.1- Combien verse Eco-emballage pour augmenter les quantités recyclées

Pour convaincre les communes et leurs habitants de récupérer davantage de matériaux d'emballage, Eco-emballage accorde une subvention progressive en fonction des quantités recueillies par habitant.

Pour le papier-carton la subvention est de 750 F jusqu'à 4 kg par habitant, et croît linéairement jusqu'à 1950 F/T lorsque la quantité collectée est de 12 kg par habitant et par an, pour rester constante au-delà.

Pour le plastique, elle est de 1500 F/T de plastique récupéré trié et conditionné si le taux de récupération est inférieur à 2 kg par personne et par an et de 6050 F/T si le taux de récupération est supérieur à 4,3 kg par personne et par an ; entre ces deux valeurs la subvention est d'un montant fonction linéaire du kilotage par habitant.

Cette pratique est le résultat non prévu d'une négociation entre industriels et collectivités locales au sein d'Eco-emballage. L'interprétation économique conduit à des résultats bizarres.

La subvention moyenne par tonne est donc $s = aq+b$, q étant la quantité par habitant. La quantité totale est $Q = qN$ où N est la population. La subvention totale est donc $S = Qs = Q(aq+b) = aQ^2/N+bQ$. L'augmentation de subvention pour avoir une tonne de plus est $dS/dQ = 2aQ/N + b$ ou encore $2aq+b$. On calcule aisément que pour le papier a vaut 150 et b également 150 et que pour le plastique, a vaut 2000 et b vaut - 1500.

Qu'elle s'en rende compte ou non, Eco-emballage accorde donc aux collectivités, pour collecter une tonne de plus de papier une subvention qui peut atteindre 3 750 F/T et, pour collecter une tonne de plus de plastique, une subvention qui peut s'élever à 17 000 F/T ! Ce calcul n'a sans doute pas été fait avant que la décision ne soit prise.

Pourtant, pour atteindre, ou plutôt pour approcher les objectifs qui sont les siens, 15% de récupération des plastiques comme des papiers-cartons, c'est sans doute nécessaire. D'ailleurs, les communes doivent beaucoup dépenser pour essayer de convaincre leurs habitants avec de la publicité, des ambassadeurs et ambassadrices du tri et par tout autre moyen.

J'ai recherché les explications de cette situation étrange (cf. § 5.3). Mais auparavant, il convient de dire un mot de la fiscalité.

5.2- Comment la fiscalité multiplie de deux à onze les subventions d'Ecoemballage

Dans la loi de finances pour 1999, la décision a été prise d'appliquer le taux réduit de TVA aux opérations de collecte et de traitement des ordures ménagères et assimilées ayant fait l'objet d'un contrat avec un organisme agréé - pour simplifier, nous dirons avec Eco-emballage. S'il s'agit d'un contrat portant sur les cinq matériaux, le bénéfice du taux réduit s'étend à toutes les opérations sur l'ensemble des ordures ménagères. Dans ce cas en effet, selon la direction des impôts, « il convient de considérer, dans cette hypothèse, que les déchets ménagers et assimilés non visés par ces contrats constituent le résidu d'un processus de collecte et de tri sélectifs » (cf. l'instruction du 12 mai 1999, dans la circulaire N° 94 du 20 mai, page 12).

Application numérique

Prenons le cas d'une commune qui fait faire tous les travaux par des prestataires de service, qui a passé un contrat multimatériaux et qui collecte de façon séparée des quantités qui

Scénario 1 : sont les plus faibles de celles qui lui permettent d'avoir la subvention maximum

Scénario 2 : sont le plus fortes de celles qui lui permettent d'avoir la subvention minimum.

Tous les travaux sont faits par des entreprises prestataires de service – l'incidence du taux réduit de TVA est atténuée lorsqu'une partie des travaux de collecte ou de traitement est effectuée en régie par la commune, puisque ces travaux ne supportent pas de TVA.

Dans le scénario 1, le tonnage des produits triés aux PTM sera de 54 Kg par habitant et par an et la commune recevra d'Ecoemballage 53,5 F par habitant et par an. Compte tenu des refus de tri, les quantités collectées de façon séparée s'élèvent à 65 kg par habitant et par an. La collecte "résiduelle" est donc de 370 kg par habitant et par an (c'est un cas où le sens du mot "résidu" mérite d'être précisé). La collecte séparée et le tri coûtent 2000 F/T, la collecte en mélange et l'incinération coûtent 900 F/T, soit en tout 550 F par habitant et par an. L'avantage fiscal est de 80 F par habitant et par an soit une fois et demi la subvention d'Eco-emballage.

Dans le scénario 2, le tonnage des produits triés aux PTM sera de 22 Kg par habitant et par an ; la subvention Eco-emballage ne sera que de 6,7 F/hab et par an. La collecte séparée coûte moins cher puisqu'une bonne partie est en apport volontaire. L'avantage fiscal est de 74 F par habitant et par an soit onze fois la subvention d'Eco-emballage.

Dans le scénario 1, l'avantage fiscal se chiffre à 1500 F/tonne recyclée, dans le scénario 2 à 3300 F/tonne recyclée. Des chiffres qui, là aussi, ne relèvent sans doute pas d'une décision raisonnée.

De nombreuses communes ont "basculé" vers le tri multimatériaux depuis le vote de cette disposition de la loi des finances de 1999. Elles dépensent donc des milliers de francs par tonne pour recycler des produits qui n'ont pas de valeur.

Les aides nationales au recyclage Subvention Ecoemballage et avantage fiscal

	Kg/hab	Scénario 1		Scénario 2		
		Subv / T	Subv/hab	Kg/hab	Subv / T	Subv/hab
Acier	2,5	500	1,3	1,0	300	0,3
Aluminium	0,2	2000	0,4	0,1	1500	0,1
Papier-carton	12	1950	23,4	4,0	750	3,0
Plastique	4,3	6050	26,0	2,0	1500	3,0
Verre	35	70	2,5	15,0	20	0,3
Total	54		53,5	22,1		6,7
F par habitant et par an						
collecte sél, et tri	123,1			37,0		
Coll,mélangée et incinér	427,7			462,2		
Avantage fiscal	80,2			72,7		
en F/T recyclée	1498,6			3297		

5.3- Pourquoi un tel effort ?

La question ici ne porte pas sur les coûts de la collecte et du tri, mais sur *le montant de la subvention d'Eco-emballage et de l'avantage fiscal*. Pour le recyclage de papier et de plastique, comment justifier un tel financement "externe" - c'est à dire extérieur à la commune et à ses contribuables - ?

Pour ce qui est des subventions d'Eco-emballage, il existe une raison historique et une raison "européenne" : chaque pays s'est vu attribuer des objectifs de collecte de produits recyclés sans aucune considération de coût. Cela ne doit pas empêcher de rechercher une justification économique.

Pour ce qui est de la récente disposition fiscale, le cheminement de la décision est tout à fait différent.

5.3.1- Une explication historique

Il y a une dizaine d'années la pression de l'opinion publique dans certains pays de la Communauté européenne était tellement forte que les industriels ont craint d'être contraints de mettre en place un système de consignes des emballages pour freiner l'augmentation de la fabrication d'emballages perçus

comme de gaspillage. Cette contrainte risquait d'être imposée par la loi ou par le boycott des acheteurs comme on en avait vu un exemple avec le boycott dans les pays scandinave. Toute contrainte généralisée sur les emballages gênerait particulièrement l'industrie agroalimentaire, où l'emballage est un puissant moyen de marketing. La "consigne" des emballages aurait pénalisé terriblement les industries exportatrices. Or l'industrie agroalimentaire française est forte et largement exportatrice. Il fallait donc agir pour montrer sa bonne volonté. De là est née l'idée d'Eco-emballage, sur une proposition des industriels utilisateurs d'emballages eux-mêmes. Face à cette pression extérieure redoutable, en recyclant à tout prix papier, carton et plastique, c'est à dire en les soustrayant à l'incinération, c'était en quelque sorte faire la part du feu.

Dix ans après, ce contexte historique n'interdit pas de s'interroger sur la rationalité du dispositif ainsi mis en place - et que l'existence d'un dispositif analogue mais trois fois plus cher en Allemagne ne suffit pas à justifier chez nous. La Commission de Bruxelles elle-même s'interroge. Elle a engagé une étude qui devrait livrer ses conclusions prochainement.

5.3.2- Des tentatives d'explications économiques

On peut trouver a priori plusieurs raisons différentes :

- prendre en compte les effets externes
- inciter les acteurs à anticiper une évolution technique ou économique favorable, en subventionnant les efforts nécessaires à une baisse de coût qui pourrait rendre le recyclage économiquement intéressant
- considérer que le coût d'élimination des déchets échoit aux producteurs de produits neufs.

La première raison justifierait une subvention de quelques centaines de francs seulement par tonne. Certaines études montrent même que le bilan écologique du recyclage est nul - cf. en annexe à ce chapitre.

La dernière raison soulève des questions de fond sur la responsabilité de l'élimination des déchets : si les producteurs étaient responsables complètement, les communes ne le seraient plus du tout. Même dans ce cas, le financement externe à la commune ne saurait être supérieur au coût complet du mode d'élimination le moins cher, c'est à dire moins de 1000 F/T.

La seconde raison exige que l'on fasse le point sur les progrès réalisés. En tous cas le financement externe devrait être consacré à des programmes permettant de diminuer les dépenses.

On verra en annexe une étude allemande qui tente de donner une justification économique à ce financement externe dans le cas du plastique ; elle y parvient au prix d'hypothèses et de modes de raisonnement contestables.

Il est intéressant de noter que cette étude retient pour la collecte sélective un coût de 700 DM/T, ce qui paraît fort peu pour le plastique et qu'elle doit faire des hypothèses assez fortes pour justifier le surcoût du recyclage au titre de l'effet de serre:

- les coûts de tri et de conditionnement seraient divisés par deux et demi en cinq ans.
- une tonne de plastique recyclé laisse dans les unités d'incinération la place pour trois tonnes d'ordures ménagères, compte tenu de la contrainte de PCI : hypothèse qui sous-entend, à tort, que l'on ne peut pas incinérer à l'aide de techniques qui ne sont pas soumises à cette contrainte.
- la tonne de carbone atmosphérique est évaluée à 2000 F – alors que, dans le cas du carton, la prise en compte de l'effet de serre ne va pas dans le sens du recyclage.

Il faut aussi parler des conséquences de ce processus sur l'activité des filières de recyclage qui fonctionnent selon une économie de marché concurrentielle. Les produits issus des déchets ménagers sont mis sur le marché à un prix très bas, rendu possible par les subventions d'Eco-emballage, ce qui crée une pression "vers le bas" qui ne correspond pas à la réalité des coûts.

Il est difficile de dire "qui paie" la "taxe" Eco-emballage entre le consommateur, celui qui met le produit emballé sur le marché ou le producteur de matériau d'emballage. En tous cas il apparaît que l'existence de cette taxe, si largement répartie qu'elle en est "indolore", sert à diminuer très sensiblement le prix de mise sur le marché d'une petite partie des matériaux recyclés, créant une "pression" sur l'ensemble des produits recyclés, au bénéfice des producteurs de matériaux.

On entend parfois une autre raison pour justifier la subvention accordée au recyclage du papier-carton : l'industrie papetière en aurait besoin. Si tel est le cas - situation conjoncturelle née des investissements réalisés récemment - que l'industrie paie le papier recyclé à son coût complet - c'est à dire au surcoût de la collecte et du tri par rapport au mode de traitement le moins cher ! Sauf à démontrer que le recyclage du papier génère des effets externes favorables (sans parler de possibles effets défavorables sur l'aménagement du territoire) on ne voit pas de raison pour que des fonds publics le favorisent.

En définitive, tout en comprenant les motivations historiques, je n'ai rien vu qui justifie aujourd'hui le montant des subventions versées pour la collecte sélective du papier et du plastique.

5.3.3- Une explication sociologique et politique ?

Je ne me hasarderai pas longtemps sur ce terrain, qui est pourtant celui où l'on a le plus de chance de trouver les vraies raisons de cet engouement pour le recyclage *à tout prix*, des prises de position passionnées, des "arguments" qui ne résistent pas à l'analyse et qui, sans en donner aucun motif, s'expriment en termes de "bien" et de "mal" : la relation de l'homme avec ses déchets est quelque chose de vraiment très compliqué.

Au plan politique, les élus locaux décident bien sûr en fonction des dépenses qui sont à la charge du budget de la commune mais leurs motivations sont aussi plus complexes. Ils trouvent normalement gratifiant de pouvoir aisément justifier leurs décisions ; or quelle plus belle justification que de montrer que l'on a obtenu une subvention, ou bien que l'on a diminué les impôts ? Outre l'aspect financier, c'est montrer - plus que de l'habileté - au moins une parité avec un pouvoir plus grand. Par ailleurs, tout homme politique aime à mettre en mouvement les populations qu'il représente : c'est tout à la fois mettre à l'épreuve et manifester sa capacité de mobilisation, et créer une cohésion utile au corps social ; la chose est rendue plus facile si elle s'inscrit dans une ambiance favorable confirmée par des décisions aussi fortement symboliques qu'un avantage fiscal.

Revenons sur le terrain technique et économique - en prenant en compte les effets externes sur l'environnement.

6- Comment orienter les matières recyclables et combustibles vers leur meilleure destination ?

6.1- Deux remarques sur le mode de prise de décision

Il serait inapproprié de critiquer Eco-emballage pour son action : elle fait ce qu'elle peut pour réaliser des objectifs qui sont des objectifs *quantitatifs*, qualifiés "de performance", indépendamment du coût - pas tout à fait néanmoins car Eco-emballage cherche à réaliser ces objectifs au coût le moins élevé possible.

Il s'agit d'employer au mieux une somme qui va bientôt atteindre 1,5 milliards de francs par an destinée à la valorisation des emballages.

Ce n'est pas le lieu ici d'entrer dans les mécanismes de prise de décision et de régulation d'Eco-emballage. Je ferai seulement deux remarques et quelques recommandations pour utiliser les fonds de la façon la plus efficace du point de vue de la valorisation des emballages combustibles :

- Les boucles de rétroaction entre ceux qui décident les dépenses et ceux qui paient ne peuvent pas fonctionner correctement. Les décisions réglementaires sont prises par la Communauté et par le

gouvernement ; les barèmes d'intervention d'Eco-emballage sont le fruit parfois inattendu de négociations au sein d'Eco-emballage. Ceux qui paient sont les industriels (qui répercutent la charge sur les consommateurs) et les contribuables. Celui qui devrait être le vrai décideur, le consommateur-contribuable à qui on demande en plus un "geste citoyen" ne peut pas se rendre compte de ce qu'il paie pour le traitement de ses déchets ni évaluer la pertinence de ces dépenses puisqu'il est sollicité de toutes parts et qu'il n'est pas correctement informé ni sur le montant de ce qu'il paie, ni sur les coûts comparés des différentes voies de traitement de ses déchets.

- Pour gérer au mieux les déchets, il faut une approche globale qui non seulement inclue les emballages dans l'ensemble des déchets ménagers, mais aussi incorpore en tant que de besoin des déchets d'autres origines, DIB pour le recyclage et l'incinération, déchets agroalimentaires et agricoles pour la méthanisation. Un dispositif spécifique pour les emballages doit s'insérer dans une telle approche globale.

6.2- Recommandations au sujet des déchets à la fois combustibles et recyclables

Dans la situation actuelle, un avantage considérable, à mon avis tout à fait déraisonnable, est donné à l'utilisation comme matière première ; les subventions sont assez fortes pour convaincre les élus pour les orienter dans des voies dispendieuses qui, de plus, perturbent les conditions de la concurrence. C'est pourquoi, concernant Eco-emballage, les recommandations seraient les suivantes

- donner à Eco-emballage un objectif d'utilisation des déchets d'emballage *sans faire de différence entre le recyclage matière et la production d'énergie*, à condition que cette énergie soit utilisée le plus efficacement, notamment sous forme de chaleur ; oublier les objectifs de recyclage par matière

- parallèlement travailler au niveau communautaire pour faire évoluer les esprits en ce sens

- demander à Eco-emballage de financer des études et des recherches pour diminuer le coût de la collecte sélective et du tri avec la fixation d'objectifs, le suivi des travaux et la remise en cause des programmes : son rôle pourrait être non de soulager des dépenses croissantes mais d'inciter à dépenser le moins possible.

- demander à Eco-emballage de financer *à la même hauteur* les dépenses liées au recyclage et les dépenses liées à l'incinération, à condition que la chaleur soit utilisée ; un avantage peut être donné au recyclage du plastique à hauteur de 200 F/T ou 400 F/T au titre de l'effet de serre.

La structure d'Eco-emballage, où se retrouvent des élus représentant des collectivités locales, des représentants d'associations de consommateurs, des fonctionnaires, l'ADEME, les industriels produisant ou utilisant des emballages, est certainement à même de mener cette politique.

- comme il est hors de question de revenir sur le taux réduit de TVA pour les communes qui ont contracté avec Eco-emballage, pour en diminuer l'effet déroutant, le bénéfice du taux réduite de TVA devrait être étendu à toute commune qui récupère l'énergie de ses déchets.

- pour informer correctement le consommateur-contribuable-citoyen, qui s'étonnera d'être sollicité de toutes parts et de diverses façons pour recycler les emballages, il faudrait connaître et rendre public le coût réel, avant subventions, des opérations de collecte, de tri, d'incinération et de toute forme de traitement des déchets. L'observatoire des coûts de traitement, dont le principe est acquis, devrait être confié à un comité de pilotage formé d'élus, de prestataires de services et de représentants des consommateurs. Parallèlement, la loi pourrait rendre obligatoire cette information sur les coûts de la même façon que sont rendus publics les coûts relatifs à l'eau.

Nous verrons plus loin combien il serait intéressant de collecter au porte à porte les déchets toxiques de ménages ou DTQD (déchets toxiques en quantités dispersées)

Note : Pour encourager les habitants à apporter volontairement bouteilles et papier, ce qui est moins coûteux pour la commune que l'enlèvement des ordures mélangées au porte à porte, peut-être les communes, se souvenant de ce qui a fait le succès des collectes en apport volontaire du verre, pourraient-elles verser à des organismes d'intérêt collectif une partie des économies qu'elles réaliseront ainsi sur la collecte. L'expression de "geste citoyen" employée à satiété pour qualifier un geste le plus souvent inutile et coûteux retrouverait ainsi tout son sens.

ANNEXE I au chapitre sur le recyclage
Incidence sur l'effet de serre du recyclage ou de l'incinération
de papier ou de plastique
Une affaire de période d'observation

La situation de référence :

La situation de référence est celle où les déchets sont déposés à la surface d'un sol végétal. La période d'observation est de l'ordre du siècle. Pendant la période d'observation, la putréfaction des matières organiques émet du carbone sous forme de gaz carbonique et ce carbone est repris par la biomasse : par convention l'émission de carbone organique sous forme de gaz carbonique est comptée pour zéro.

1- L'incidence de la combustion sur l'effet de serre:

Le bois

Si l'on brûle du bois ou du papier, dans les minutes qui suivent, la quantité de carbone dans l'atmosphère est plus importante que dans la situation de référence. Donc, sur le moment, brûler du bois ou du papier augmente l'effet de serre. A l'échelle du siècle, ce bois ou ce papier, s'il n'avait pas été brûlé aurait pourri et émis la même quantité de carbone. Donc, à l'échelle du siècle, brûler du bois ou du papier n'augmente pas l'effet de serre.

Le plastique,

Le plastique est fait à partir de pétrole. Si l'on brûle du plastique, sur le moment et à l'échelle du siècle la quantité de carbone atmosphérique est plus importante que dans la situation de référence. Certes, à l'échelle géologique le plastique déposé sur le sol finira bien par se décomposer et le carbone qu'il contient retrouvera le cycle du carbone organique auquel il a, un jour, participé : ainsi, à l'échelle géologique, la combustion du plastique est neutre sur l'effet de serre, mais, à l'échelle du siècle, elle augmente l'effet de serre.

Ainsi, par rapport à la situation de référence et à l'échelle du siècle, brûler du papier n'augmente ni ne diminue l'effet de serre ; brûler du plastique augmente l'effet de serre.

2- Comparer le recyclage et la combustion avec récupération de la chaleur

Les deux scénarios étudiés, recyclage et incinération :

Disposant d'une certaine quantité de déchets, les opérations de l'un et de l'autre scénario conduisent à disposer d'une part d'une quantité de matière équivalente à ce que donne le recyclage de ces déchets, et d'autre part d'une quantité d'énergie équivalente à ce que donne leur incinération. Donc, dans le scénario recyclage, il faudra *aussi* produire de l'énergie avec une autre source ; dans le scénario incinération, il faudra *aussi* produire de la matière à partir de matière vierge.

Première approche, avec une hypothèse très simplificatrice

Admettons d'abord que la production de plastique ou de papier ou leur recyclage ne consomme pas d'énergie et qu'une tonne de produit recyclé a les mêmes qualités d'usage qu'une tonne de produit vierge. Supposons aussi qu'à quantité de chaleur égale, le déchet fossile et le combustible pétrolier émettent la même quantité de carbone - on corrigera ces hypothèses ensuite. En cas de recyclage, l'énergie produite est soit d'origine pétrolière, soit d'origine nucléaire.

Soit une quantité de matière (plastique ou papier-carton) dont la combustion émet 1 tonne de carbone. En cas de recyclage, pour obtenir la quantité de chaleur qu'aurait donnée sa combustion, il faudra ou bien produire de l'énergie nucléaire, ou bien brûler un combustible qui émettra 1 tonne.

Si le déchet est du papier, sa combustion produit de l'énergie mais *n'émet pas de carbone* en comparaison avec la situation de référence.

	émission par la combustion du déchet	En cas de recyclage, émission par une autre source d'énergie		Emission totale supposant que l'énergie produite est mi nucléaire mi fossile
		nucléaire	fossile	
Plastique recyclage		0	1	0,5
Plastique combustion	1			1
Papier recyclage		0	1	0,5
Papier combustion	0			0

Avec ces hypothèses, par rapport à la combustion, le recyclage de plastique a un effet positif, le recyclage du papier a un effet négatif.

Il faut tenir compte de la consommation d'énergie pour produire du papier ou du plastique à partir de la matière recyclée d'une part, à partir de pétrole ou de bois d'autre part. Il faut tenir compte également du fait qu'une tonne de produit recyclé n'a pas les mêmes caractéristiques d'usage qu'une tonne de matière vierge : la quantité de matière vierge équivalente est V avec $V < 1$.

Par ailleurs, la quantité de chaleur utile en cas d'incinération dépend du PCI de la matière plastique sèche, du taux d'humidité de la matière et de l'efficacité thermique de l'ensemble four chaudière.

Scénario recyclage

Par rapport à la situation de référence (cf. en haut de la page précédente) il génère les émissions suivantes, en poids de carbone :

Pour la production d'énergie : émission de $n = s \cdot p \cdot t$

- p : le PCI du plastique ou du papier sec exprimé en TEP

- s : efficacité de la récupération de chaleur dans une unité d'incinération *par rapport à une chaudière classique* : s dépend surtout de l'humidité de la matière.

- t : émission de carbone par TEP de l'énergie produite ; il dépend de la source d'énergie : $t = 1,2$ pour le charbon, $0,65$ pour le gaz, $0,84$ pour le pétrole, 0 pour le nucléaire.

Pour le recyclage : émission de E venant de l'énergie nécessaire au recyclage.

Soit au total, une émission de $n + E$

Scénario incinération

Par rapport à la situation de référence (cf. en haut de la page précédente) il génère les émissions suivantes, en poids de carbone :

Pour la production d'une quantité de matière équivalente : émission de $V \cdot F$

- V est la quantité de matière vierge équivalente à 1 tonne de matière recyclée

- F est la quantité de carbone énergie émise pour fabriquer 1 tonne de matière vierge

Pour la production d'énergie : émission de m avec $m = 0$ pour le papier

Soit au total, une émission de $V \cdot F + m$

Comparaison entre les scénarios recyclage et incinération

La différence d'émission entre incinération et recyclage est donc $\Delta = F.V + m - n - E$ avec $m = 0$ pour le papier. Le recyclage est préférable à l'incinération si Δ est positif avec

Pour le papier $\Delta = F.V - E - n$

Pour le plastique $\Delta = F.V + m - E - n$

Application numérique

* **Pour le papier**, cela dépend beaucoup des techniques et du type de papier ; *faute d'informations disponibles*, prenons un jeu de données hypothétiques a priori favorable au recyclage : $E = 0,5$; $F = 0,8$; $V = 0,8$; $p = 0,5$; $s = 0,7$; $n = s.p.t = 0,35 t$, - ce jeu de données est favorable au recyclage

$\Delta = 0,14 - 0,35 t$ avec $t = 1,2$ pour le charbon, $0,65$ pour le gaz, $0,84$ pour le pétrole, 0 pour le nucléaire.

Du point de vue de l'effet de serre, le recyclage de papier est intéressant seulement si l'énergie remplacée est d'origine nucléaire

Note : la production de papier avec de la pâte mécanique produite à partir de résineux n'émet pratiquement pas de gaz à effet de serre puisque l'énergie vient du bois et de l'électricité, alors $F=0$ et Δ est négatif en tout état de cause.

* **Pour du polyéthylène**, je reprends ici les données d'une étude réalisée récemment en Allemagne pour le DSB, l'équivalent d'Ecoemballage, le VKE, union allemande des fabricants de plastiques, APME, association européenne de l'industrie des plastiques et VCI, la fédération professionnelle des chimistes allemands.

Pour produire 1 tonne de plastique vierge, il faut l'équivalent de 1,8 tonne de pétrole dont 1 restera sous forme de matière et 0,8 partira d'une façon ou de l'autre dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique. Pour faire une tonne de plastique recyclé, il faut l'équivalent de 0,9 tonne de pétrole. Une tonne de plastique recyclé remplace 0,7 tonne de plastique vierge,

$E = 0,9$; $F = 0,8$; $V = 0,7$; $m = 0,85$; $p = 1$; supposons que s vaut $0,7$

$\Delta = 0,56 + 0,85 - 0,9 - n$ soit, rappelant que $n = s.p.t$

$\Delta = 0,5 - 0,7.t$ avec $t = 1,2$ pour le charbon, $0,65$ pour le gaz, $0,84$ pour le pétrole, 0 pour le nucléaire.

Avec ces données, du point de vue de l'effet de serre

il vaut mieux recycler le polyéthylène si l'énergie remplacée est du nucléaire

il vaut mieux brûler le polyéthylène si l'énergie remplacée est du charbon ou du pétrole

c'est indifférent si l'énergie remplacée est du gaz

On pourra trouver que $F = 0,9$ est un peu fort ; on peut estimer que l'évolution technique pourra accroître v . Néanmoins, elle pourra aussi abaisser E . En sens inverse on pourrait améliorer s (l'efficacité thermique de la combustion) en concevant les unités d'incinération pour la récupération de chaleur.

Par ailleurs, ces valeurs chiffrées ne valent pas pour le PET ni pour le PVC.

Je rappelle que l'on tient compte ici de l'effet de serre et non d'un effet externe éventuel relatif à l'économie de matière première. Si cet effet externe joue, dans un sens ou dans un autre, il est beaucoup plus faible que l'effet de serre – et incomparablement plus faible que les dépenses attachées au recyclage.

ANNEXE II au chapitre sur le recyclage Deux études

Une récente étude allemande pour tenter de justifier le financement externe du recyclage de plastique

Avec pour titre "emballages plastiques : comparaison entre le recyclage matière et la récupération d'énergie en Allemagne", cette étude (écrite en novembre 1999) a été réalisée par öko-institute. Elle rapporte qu'une étude récente avait montré que la récupération d'énergie fournie par l'incinération des plastiques coûtait beaucoup moins cher avec les mêmes effets écologiques. Le débat était donc ouvert.

L'étude d'öko-institute compare les effets sur l'environnement de la mise en décharge du plastique, de son utilisation comme matière première et de son incinération avec production d'électricité ou de chaleur pour l'industrie ou le chauffage d'immeubles.

En Allemagne une des utilisations du plastique comme matière première est de l'injecter dans des hauts fourneaux ; il s'agit là d'une acception assez large de l'expression "matière première" puisque cette technique utilise non pas la structure physique de la matière plastique, mais sa structure moléculaire - en poussant un peu plus, on constatera que la valorisation thermique utilise la structure atomique du plastique.

L'étude compare, selon la destination du plastique, des coûts et des avantages moyens ou marginaux à court ou à long terme.

Sur l'environnement, les différences sur les émissions acides sont négligeables ; l'étude les chiffre à moins de 0,3 moles de H⁺ par kilo de plastique. Quant à l'effet de serre, par rapport à la mise en décharge, les émissions diffèrent, dans un sens ou dans l'autre de moins de une tonne de CO₂ par tonne de plastique, c'est à dire que l'écart entre les extrêmes est inférieur à 2 tonnes de CO₂ soit une demie tonne de carbone inclus : cela dépend essentiellement de l'usage qui est fait de l'énergie produite.

Parallèlement, cette étude indique le surcoût de la collecte sélective et du tri par rapport à une collecte unique suivie d'une incinération (les indications qui suivent pourront être comparées aux valeurs que nous avons données plus haut).

La collecte d'ordures ménagères brutes coûte de 100 à 150 DM ; la collecte sélective est évaluée à un minimum de 700 DM, le tri à 700 DM également et le traitement du plastique à 350 DM (ces chiffres sont voisins de ceux que nous avons donnés sauf la collecte sélective, évaluée ici moins chère). Selon DSD, l'équivalent allemand de Eco-emballage, les opérations de tri et de conditionnement pourraient dans les cinq années à venir être remplacées par une opération unique coûtant non plus 1050 DM mais 400 DM/T et le coût de la collecte sélective passerait de 700 à 490 DM. De son côté, l'incinération coûte entre 125 et 800 DM/T ou entre 300 et 700 DM/T. La moyenne serait 310 DM et pourrait être abaissée à 200 DM/T. Selon cette étude, le goulet d'étranglement de l'incinération se trouve dans la capacité de la chaudière et des installations de traitement des fumées. Or une tonne de plastique a un PCI égal au triple de celui d'une tonne d'ordure ménagère brute ; comme, en l'an 2005, les capacités d'incinération seront saturées, le coût de traitement d'une tonne de plastique doit être compté au triple du prix moyen soit 600 DM/tonne.

L'étude conclut que si aujourd'hui le recyclage du plastique coûte très cher (3000 DM par tonne de gaz carbonique économisée), la différence en 2020 sera seulement de 164 DM/T, ce qui, selon cette étude, est acceptable.

Commentaires :

- Quant à l'effet de serre, le *résumé* de cette étude, dont je n'ai pas le texte entier, indique toujours des coûts par "kg CO₂" ou de "MgCO₂" - Mg voulant dire "mégagramme", ou encore "tonne". Sa conclusion indique qu'un coût de 164 DM/MgCO₂ correspond à un coût "vu généralement comme acceptable". Cela correspondrait à 550 F/ tonne de gaz carbonique ou 2000 F par tonne de carbone. Or on a plutôt l'habitude de considérer en France que le coût normal de l'émission de gaz carbonique est de 500 F par tonne *de carbone* incorporé.

- Le raisonnement est fondé sur deux considérations très fortes et contestables

- *Le mode de calcul du coût d'incinération des matières plastiques*

Il est particulièrement contestable. S'il est exact que dans certaines circonstances, la combustion de plastique peut avoir comme effet d'empêcher l'incinération d'une quantité triple d'ordures ménagères, il s'agit là d'une situation à court terme qui ne doit pas être prise comme la norme dans un raisonnement à moyen terme : on peut diminuer le PCI des ordures ménagères en méthanisant du papier par exemple ; surtout, on peut adopter d'autres techniques d'incinération qui ne butent pas sur un plafond de PCI, la pyrolyse par exemple.

- *Les perspectives de coût retenues*

Elles demandent à être validées : l'étude prévoit pour le tri et le traitement une diminution des coûts de 60 %, ce qui n'est pas rien ; par ailleurs, le coût de collecte serait réduit de plus de 30%. Par contre le coût de l'incinération serait diminué de 30% et celui de la collecte d'ordures brutes ne serait pas diminué.

Une étude qui conclut que le recyclage a un bilan environnemental nul

La ville de Paris a décidé de s'engager dans une collecte sélective des emballages ménagers. Elle avait pourtant procédé en 1996 à une étude sur le bilan environnemental de la collecte sélective des emballages en plastique en apport volontaire. Cette étude, faite en suivant les indications de la norme X30-300 sur les analyses du cycle de vie et notamment ses exigences de transparence, a conclu que la plupart des impacts sur l'environnement liés à la mise en place de la collecte sélective est du deuxième ordre. En effet, une grande partie des bouteilles gardera la même destination car le rendement de la collecte restera certainement inférieur à 25%, puisque tel est le rendement de la collecte sélective du verre qui, lui, fait l'objet d'un apport volontaire depuis une douzaine d'années. Certains flux de l'écobilan sont diminués, tels que les matières en suspension dans l'eau, tandis que d'autres sont augmentés, comme les émissions de gaz carbonique.

La "revue critique" à laquelle s'est pliée cette étude conformément à la norme X3-300 a permis à Eco-emballage de faire remarquer que le tonnage de bouteilles plastiques devrait être supérieur à ce que l'étude avait retenu et que les unités d'incinérations sont saturées en PCI, qu'en conséquence une tonne de plastique recyclée n'aura pas comme effet d'augmenter la consommation d'énergie d'origine fossile mais sera remplacée dans l'incinérateur par trois tonnes d'ordures ménagères qui aujourd'hui vont à la décharge.

J'ai déjà commenté cet argument en disant qu'il est valable à court terme mais non à moyen terme et que, même à court terme, cette substitution ne suffit pas à justifier du point de vue économique les dépenses attachées à la collecte et au recyclage du plastique, 4 000 F/T de plus que les dépenses de collecte mélangée et d'incinération.

Annexe III au chapitre 3

Le rapport coût performance de la collecte sélective du plastique ou du papier carton collecte au porte à porte v/s collecte après apport volontaire

On compare deux situations

Dans les deux situations, la quantité collectée est la même, mais la quantité collectée *à part* est différente ; cela signifie que la différence de dépenses n'est pas imputable à la collecte mais au tri ; elle est donc représentative d'une partie du coût du tri.

Quant aux emballages plastiques, les coûts estimés tiennent compte du rapport de densité avec les autres ordures ménagères – voir commentaires dans le corps du rapport, §2.1.

Hypothèses de coût :

collecte au porte à porte

mélangée : papier : 400 F/T, plastique 3000 F/T (estimation)

papier séparé : 800 F/T (estimation)

emballage plastique séparé : 6000 F/T (estimation),

collecte après apport volontaire (estimations):

papier : 300 F/T

Plastique : 3000 F/T

Le cas du Papier-carton

Hypothèse A : la collecte au porte à porte est deux fois plus efficace que la collecte après apport volontaire ; collecte de deux tonnes

Scénario 1 : 1 tonne collectée en porte à porte en mélange et une après apport volontaire : coût : 700 F

Scénario 2 : 2 tonnes collectées en porte à porte séparées : coût 1600 F

Différence : une tonne de plus pré-triée pour une dépense supplémentaire de **900 F**

Hypothèse B : la collecte au porte à porte accroît les quantités triées de 50 % ; collecte de trois tonnes

Scénario 1 : 1 tonne collectée en porte à porte en mélange et deux après apport volontaire : coût 1000 F

Scénario 2 : 3 tonnes collectées en collecte au porte à porte séparées : coût 2400 F

Différence : une tonne de plus pré-triée pour une dépense supplémentaire de **1400 F**.

Le cas de l'emballage plastique :

Hypothèse A : la collecte au porte à porte est deux fois et demie plus efficace que la collecte après apport volontaire : collecte de 5 tonnes

Scénario 1 : 3 tonnes collectées en porte à porte en mélange (pour 9000 F) et 2 après apport volontaire (pour 6000 F) soit 15 000 F en tout

Scénario 2 : 5 tonnes collectées en porte à porte séparées : coût 30 000 F

Différence : 3 tonnes de plus pré-triées pour une dépense supplémentaire de 15000 F soit **5000**

F/T

Hypothèse B : la collecte au porte à porte augmente les quantités triées des 2/3 : collecte de 5 tonnes

Scénario 1 : 2 tonnes collectées en porte à porte en mélange (pour 6000 F) et 3 après apport volontaire (pour 9000 F) soit en tout 15 000 F

Scénario 2 : 5 tonnes collectées en porte à porte séparées : coût 30 000 F

Différence : 2 t de plus pré-triées pour une dépense supplémentaire de 15000 F soit **7500 F/T**

Les coûts différentiels ne sont pas des coûts de collecte mais des coûts *imputables seulement au tri*.

Chapitre 4

La production de méthane par fermentation de la part organique des déchets

La méthanisation des matières fermentescibles permet de bonnes performances de recyclage matière et de récupération de l'énergie à un coût inférieur à celui de l'incinération ; les installations de méthanisation demandent peu d'espace et peuvent être implantées en milieu urbain ce qui peut faciliter l'usage de la chaleur ou l'injection de gaz suffisamment épuré dans le réseau de distribution publique.

La solution la plus économe est de regrouper les déchets putrescibles avant qu'ils ne se mélangent à d'autres déchets (ainsi pour les déchets de jardin apportés en déchetterie, les déchets de marchés, de restaurant etc.) et d'y ajouter les boues de stations d'épuration et des déchets agroalimentaires.

Pour diminuer le coût des collectes sélective au porte à porte des fractions fermentescibles, les échanges d'expériences, notamment sur les aspects économiques et sanitaires sont encore insuffisants. Une autre voie est celle de l'extraction mécanique, sur le site, d'une partie suffisamment propre de la part fermentescible d'ordures collectées en mélange : les quelques installations en fonctionnement sur ce principe en France ou à l'étranger ouvrent des perspectives et devraient être étudiées avec attention et sans a priori. Cette voie pourrait devenir très intéressante si les déchets toxiques des ménages étaient efficacement collectés à part au porte à porte : non seulement le compost, mais aussi le biogaz et les mâchefer serait alors exempts de produits toxiques.

Comme valorisation énergétique, la méthanisation peut se rapprocher de celle de l'incinération ; elle est évidemment préférable au compostage (qui ne procure pas d'énergie).

Les ordures ménagères mises en décharge dégagent du biogaz qu'il est impossible de récupérer entièrement ; comme il est probable qu'une partie du carbone organique des déchets enfouis reste en l'état (générant un « effet de puits ») on peut penser que la contribution à l'effet de serre des décharges bien tenues est à peu près nulle. Une technique dérivée des décharges et des méthaniseurs consiste à disposer dans des alvéoles des ordures conditionnées spécialement et à pousser la méthanisation au maximum pour obtenir une matière inerte qui sera reprise et déposée en décharge. Cette technique récente mérite d'être évaluée.

Ce chapitre traite dans sa première partie de la méthanisation dans un "digesteur" de la part fermentescible des ordures dont le traitement est de la responsabilité des communes. Puis est abordé le cas des décharges, en particulier leur production de biogaz et leur contribution à l'effet de serre. Une troisième partie présente un mode de traitement en cours de développement, qui emprunte et à la méthanisation en digesteur et à la décharge et qui demande encore à être validé.

1- La méthanisation en digesteur

1.1- Le principe

Cette transformation de la part fermentescible des ordures ménagères en l'absence d'oxygène produit un mélange de gaz carbonique et de méthane, le biogaz, et un résidu, appelé le digestat, dont la teneur en eau dépend de celle du produit entrant. Cette opération que l'on peut appeler "méthanisation" est plus ou moins poussée, transformant une part plus ou moins importante du carbone organique. Quand elle est menée dans un digesteur, le biogaz a une teneur en méthane de 50 à 70 %, ce qui en fait un bon gaz combustible. Le digestat peut devenir un bon amendement organique ; ses qualités dépendent des produits entrant dans le digesteur et de la conduite de l'opération.

L'économie de la méthanisation est plus complexe que celle des autres formes de transformation des déchets car cette opération donne deux types de produits, un gaz combustible et un résidu plus ou moins solide, dont les conditions d'utilisation ne sont pas bien définies ni *a fortiori* normalisée. Cette situation ne facilite pas les échanges commerciaux qui, faute de repères objectifs admis par tous, s'établissent selon le rapport de force entre les parties prenantes beaucoup plus que sur la qualité du produit, indéterminée ou insuffisamment spécifiée.

Si cette technique de la méthanisation est relativement peu employée en France pour traiter les ordures ménagères, elle l'est beaucoup plus dans d'autres pays de la Communauté. Parallèlement la méthanisation est bien connue pour traiter les boues d'épuration et les déchets d'industrie agroalimentaire.

La méthanisation des boues de station d'épuration et des déchets de l'industrie agro-alimentaire

Ces "boues" sont des produits liquides à 10% de matière sèche. Elles doivent être stabilisées avant d'être épandues. Pour cela la méthanisation est une méthode couramment pratiquée. Le biogaz est essentiellement utilisé pour produire de l'électricité et de la chaleur pour sécher le digestat. La plus grande part de l'énergie produite est auto consommée. L'économie de telles installations ne soulève guère de questions : elles sont une soixantaine en France. J'aborderai la question de l'usage du digestat dans le chapitre sur la valorisation.

La suite de ce chapitre traite de la méthanisation de la partie fermentescible des ordures ménagères et assimilées.

Il est généralement convenu de ne pas inclure dans ce qu'on appelle la FFOM, fraction fermentescible des ordures ménagères, les papiers ni le carton. Pourtant ces produits sont fermentescibles. Alors que la FFOM ne pèse que 29% du poids total, la part susceptible d'être fermentée représente 60 % des 26 millions de tonnes d'ordures ménagères et assimilées, à quoi il faut ajouter les 4 millions de tonnes de déchets verts et de déchets fermentescibles communaux (sans compter les boues de STEP qui, portées à 30% de matière sèche, pèsent 3 millions de tonnes).

1.2- Sur la technique de méthanisation

Un digesteur est un récipient cylindrique horizontal ou vertical, fixe ou rotatif où le produit est brassé et séjourne un temps suffisant. Le brassage peut être assuré par la rotation du cylindre, ou par le mouvement de bras ou encore par des injections de gaz (procédé Valorga). La matière organique, introduite en "batch" ou en continu, y séjourne deux à trois semaines ; elle est progressivement transformée par des bactéries ; la partie dégradable est transformée en méthane et gaz carbonique en plusieurs stades, chacun mettant en oeuvre des bactéries différentes. Une température adéquate doit être maintenue à un niveau suffisant dépendant du type de méthanisation, par chauffage des parois par exemple ou par l'introduction d'un fluide, liquide ou gaz, réchauffé.

Un défaut de brassage peut en quelques heures laisser se former une croûte à la surface de la matière ; le gaz ne pouvant plus passer, la pression augmente très vite jusqu'à l'explosion du réacteur. Lorsque les produits sont de consistance pâteuse, l'autre cause principale de panne ou d'accident dans les réacteurs fonctionnant en continu est le blocage des orifices de sortie de la matière.

La quantité de biogaz produite est de 100 m³ de biogaz par Tonne de produit introduit, contenant 53 kg de carbone, soit 25 à 30 % du carbone contenu dans les matières entrantes.

Le poids du digestat est à peu près de 60% du poids entrant.

Avant de devenir un "amendement organique", le digestat est "affiné", c'est à dire criblé, puis il continue sa transformation, de façon aérobie, soit simplement en tas, sur le site de la méthanisation ou en bout de champ, soit dans un tunnel d'aération, soit en étant systématiquement retourné - les coûts de ces trois modes de maturation sont évidemment très différents.

Pour des questions de stabilité et de coût, il est préférable que la capacité d'un méthaniseur fonctionnant en continu soit supérieure à 10 000 T de déchets par an. A ce sujet, le guide de l'ADEME pour la révision des plans départementaux cite la capacité minimum de 20 000 T/an alors que la ville de Genève sera bientôt dotée d'un méthaniseur de 10 000 T/an. Les plus gros ont une capacité de 40 000 T/an.

D'un point de vue technique, certains digesteurs peuvent recevoir des ordures ménagères grossièrement triées, comprenant une grande proportion d'inertes. Mais la qualité du digestat et celle du biogaz dépendent beaucoup de la nature des matières entrantes - je reviendrai sur cette question de la qualité des produits.

1.3- Les coûts d'investissement et de fonctionnement

Il s'agit ici de donner des ordres de grandeur, non de comparer des techniques.

Le guide de révision des plans départementaux de l'ADEME indique que "les coûts d'investissement seraient de l'ordre de 40 à 50 MF pour 20 000 T/an" soit 200 à 250 F/T traitée ; quant aux coûts de traitement, ils seraient de l'ordre de 400 à 1000 F par tonne de déchets traités - l'ampleur de la fourchette est remarquable. Le coût total serait donc de 600 à 1250 F/tonne de déchets traités. Ces coûts, qui reflètent ceux de quelques réalisations apparaissent néanmoins surestimés, comme le montrent les exemples qui suivent. Les valeurs numériques ci-dessous m'ont été indiquées oralement au cours d'entretiens et de visites de centres de gestion.

L'installation de Fribourg, qui reçoit 35 000 T par an de déchets verts et de fraction fermentescible des ordures ménagères, a coûté en investissement 77 MF, ce qui correspond à un coût à la tonne de 220 F ; les coûts d'exploitation après la vente de gaz à 7 cme/KWh thermique pour produire de l'électricité (vendue 42 cme/KWh en Allemagne contre 28 en France) sont de 208 F/T, soit en tout, pour des déchets déjà triés à la source, 428 F/T.

Un cas inspiré du choix de Varenne Jarcy

Pour remplacer une installation de compostage à l'air libre et nauséabonde à Varenne Jarcy dans l'Essonne, le syndicat intercommunal de Yerres et des Sénarts a lancé un appel d'offres pour recevoir 100 000 T de déchets dont moitié de déchets fermentescibles triés et moitié d'ordure brutes d'où l'on peut extraire 50 % de fermentescibles à méthaniser. Il faut donc trier 50 000 T par an, fermenter 75 000 tonnes et évacuer 25 000 tonnes de refus de tri.

L'investissement : Le syndicat a retenu au début de l'année 2000 une offre de capacité de méthanisation de 80 000 T/an pour un montant d'investissement de 130 MF y compris l'installation de tri et la production d'électricité par une génératrice alimentée par un moteur à explosion. Cette offre a été choisie de préférence à une autre proposition de méthanisation d'un montant de 165 MF et à une proposition de compostage beaucoup plus onéreuse. L'investissement représente un coût annuel d'environ 14 MF soit 190 F par tonne entrant dans le méthaniseur - contre 250 F/T pour l'incinération. Ce genre de comparaison doit être nuancé par le fait qu'un incinérateur peut traiter à peu près toutes les formes de déchets, ce qui n'est pas le cas d'un méthaniseur.

Quant *aux coûts de fonctionnement* annoncés à ce syndicat, ils doivent s'élever à 220 F/T entrant dans le méthaniseur, avant déduction des recettes de vente de l'électricité.

Celles-ci sont évaluées prudemment à 40 F/T entrante. Le projet escompte que le digestat sera cédé gratuitement au départ de l'usine à des agriculteurs de la même façon qu'aujourd'hui le compost. Le produit demande néanmoins une aération complémentaire.

Le coût de fonctionnement s'élèverait donc à 200 F par tonne méthanisée, soit 15 MF par an.

Le coût complet de la méthanisation serait ainsi, après recettes, de 390 F par tonne entrant dans le méthaniseur, soit 29 MF par an.

Si les 25 000 T de refus de tri avant la méthanisation sont mis en décharge, cela coûtera 300 F/T soit 7,5 MF par an ; s'ils sont incinérés le coût de traitement sera par exemple de 450 F/T pour une incinération, soit 11 MF par an.

Les dépenses totales, déduction faite des recettes de vente d'électricité, s'élèvent donc à 36 ou 40 MF pour 100 000 T entrant sur le site, soit de **360 à 400 F par tonne entrant sur le site**.

Ce coût situe très bien la méthanisation par rapport à l'incinération. De plus les méthaniseurs peuvent être implantés en milieu urbain comme le montre l'exemple de Fribourg (Allemagne) ce qui facilite l'usage du biogaz pour alimenter des réseaux de chaleur ou, après épuration, pour être introduit dans les réseaux de distribution de gaz - néanmoins, à Fribourg, le gaz est transformé en électricité, ce qui peut être expliqué par le prix de reprise de l'électricité (45 cme/KWh, contre 28 en France).

Note sur la production d'énergie et sur l'effet de serre

Si la fermentation d'une tonne de déchets produit 100 mètres cubes de biogaz à 70 % de méthane, le pouvoir thermique est de 700 KWh par tonne. Or nous avons calculé que la quantité de chaleur *utilisable* en provenance de la combustion d'une tonne de produits ayant un PCI de 2000 Kcal/kg est de 1700 KWh ; supposant que le PCI des parties fermentescibles (de la FFOM et un peu de papier carton) est de 1400, si l'on utilise *directement* la chaleur de combustion du biogaz dégagé par la fermentation, l'énergie utilisée est à peu près les 2/3 de celle qui proviendrait de la combustion.

Le méthane a un pouvoir d'effet de serre très supérieur au gaz carbonique mais, à l'inverse, il peut se substituer à de l'énergie fossile, économisant, pour chaque tonne de déchet méthanisé, une émission de 30 à 60 kg de carbone. Par ailleurs le carbone qui reste dans le digestat sera partiellement piégé dans le sol, créant un effet de puits, que l'on peut estimer à 50 à 70 kg. Au total, la méthanisation d'une tonne de matière fermentescible peut avoir un effet favorable.

1.4- Méthanisation ou compostage

Le coût du compostage peut varier considérablement selon les procédés. L'investissement, selon l'ADEME va de 70 à 200 F par tonne traitée annuellement. Le fonctionnement coûte de 300 à 650 F/T.

Contrairement aux estimations de l'ADEME sur la méthanisation, qui ne peuvent pas se fonder sur de nombreuses observations, les coûts indiqués pour le compostage correspondent à la réalité observée. Les chiffres indiqués ci-dessus situent donc la méthanisation au bas de la très large fourchette des coûts du compostage. Or, les coûts les plus bas correspondent à un compostage à l'air libre, qui peut être la source de sérieuses nuisances d'odeur s'il est mal conduit.

Quant à l'effet de serre, les effets "de puits" du compostage et de la méthanisation sont à peu près les mêmes. Par contre, la méthanisation, en permettant de remplacer un combustible fossile, a un avantage sur le compostage de 35 à 60 kg de carbone par tonne de déchets soit de 17 ou 30 F/T pour une tonne de carbone à 500 F, 35 ou 60 F pour une tonne de carbone à 1000F.

Si on ajoute que le compostage est gros consommateur d'espace, dans le cadre de cette étude sur la valorisation énergétique des déchets on considérera que ***la méthanisation est préférable au compostage***.

Il faut dire néanmoins qu'il est possible de traiter de petites quantités par compostage et que cela n'est pas possible par méthanisation ; et les coûts indiqués récemment au colloque de Lille en mai 2000 (200 à 350 F/T) peuvent rendre le compostage compétitif par rapport à la méthanisation.

2- La récupération du méthane des décharges

La proportion d'ordures ménagères mise en décharge est encore aujourd'hui de la moitié environ. Elle devrait légèrement diminuer jusqu'en 2002, date à laquelle seuls les déchets « ultimes » seront mis en décharge ; la définition donnée par la loi à « déchet ultime » ne permet pas de dire assurément quelles

seront les quantités en cause après 2002. Quoi qu'il en soit les quantités de biogaz émises par les décharges passeront par un maximum en 2002.

2-1- La production d'énergie d'une décharge

Le décret qui réglemente les décharges fait obligation au gestionnaire de récupérer le biogaz, mais ne fixe ni les moyens minimum à mettre en place ni les résultats minimum à obtenir. Par ailleurs, au plan technique selon les documents consultés, chaque tonne d'ordure ménagère mise en décharge dégage en 20 ou 30 ans 100 à 200 mètres cubes de biogaz. On lit aussi des estimations largement supérieures : si tout le carbone organique contenu dans les ordures ménagères était transformé en biogaz, le volume dégagé serait de 230 mètres cubes par tonne environ pour 126 kg de carbone organique par tonne de déchets - cf. les données numériques, en annexe à ce rapport – et le volume maximal de biogaz est largement supérieur si, avant l'enfouissement, on a sorti des déchets les parties non fermentescibles. Comment expliquer la différence entre débits calculés et observés ? On ne le sait car la dynamique d'une décharge est très mal connue. En conséquence, ni la réglementation ni les connaissances techniques ne permettent de dire quelle est la production *récupérable* de biogaz.

Quant à l'expérience, elle montre qu'une décharge très bien équipée peut ne collecter que 100 mètres cubes par tonne. Même lorsque la récupération de biogaz est soigneusement faite, elle est loin d'être complète : on est conduit à penser qu'il peut y avoir des fuites et que les ordures ménagères, avant d'être recouvertes d'une couche suffisamment étanche, subissent en surface une transformation aérobie - qui ne donne pas de méthane - puis une transformation partiellement anaérobie, dont le méthane s'échappe. Enfin, il est probable que le processus de méthanisation ne va pas à son terme.

2.2- Les coûts de mise en décharge, les recettes

Les tarifs de mise en décharge varient dans une large fourchette : de 240 à 600 F/ sans compter la TGAP, qui est aujourd'hui de 60 F/T. On m'a cité des coûts inférieurs, mais sans doute ces décharges-là ne sont-elles pas correctement équipées.

Quant aux recettes venant de la vente de biogaz, en cas de vente de chaleur elles pourraient être de 0,5 F par mètre cube de méthane contenu, c'est à dire 0,25 F/ mètre cube de biogaz, soit 40 F/T - davantage si l'utilisateur est proche. En cas de production d'électricité, les recettes doivent être diminuées des coûts de production ; le récent appel à proposition d'EDF montre qu'aujourd'hui les coûts de production sont supérieurs au prix de marché de l'électricité ; quant à l'injection du biogaz de décharge, après purification, dans le réseau de distribution publique de gaz, elle ne semble pas aujourd'hui possible (sur ces deux points voir le chapitre 6). Il suffit ici de dire que même l'utilisation directe du biogaz de décharge comme source de chaleur ne peut procurer qu'une recette peu importante par rapport au coût de gestion de la décharge ; généralement la valeur du biogaz est considérée comme nulle. Les coûts externes du biogaz sont plus importants.

2.3- Les coûts externes, la contribution à l'effet de serre

On peut distinguer les effets externes qui se font sentir *localement* et les effets *globaux*. Les premiers se traduiront rapidement dans les dépenses du gestionnaire, puisque celui-ci devra mieux équiper sa décharge ou la déplacer en un lieu où elle sera moins gênante : ces effets seront alors spontanément "internalisés". Par contre seul l'Etat peut amener l'entreprise à internaliser les effets externes globaux tels l'effet de serre.

La situation de référence

Une tonne d'ordures ménagères et assimilées contient 126 kg de carbone organique. En réalité, la quantité de carbone organique contenu dans une tonne de déchets peut être supérieure si des matières minérales ont été extraites auparavant, le verre en particulier. Dans la situation de référence, ce carbone organique est émis sous la forme de gaz carbonique.

On notera que 1 kg de carbone dans du biogaz à 50 % de méthane a le pouvoir d'effet de serre de 4 kg de carbone environ sous la forme de gaz carbonique (soit d'une part 0,5 Kg sous forme de gaz carbonique et d'autre part 0,5 Kg sous forme de méthane, ayant le pouvoir d'effet de serre de 3,8 kg de carbone sous forme de gaz carbonique). Si le biogaz contient 66 % de méthane, le pouvoir d'effet de serre de 1 kg de carbone de biogaz est égal à celui de 5 kg de carbone environ de gaz carbonique.

Une hypothèse extrême

Tout le carbone organique part dans l'atmosphère sous forme de biogaz – 126 kg de carbone dans 230 mètres cube par tonne.

Si tout le carbone organique par tonne de déchets déposés dans une décharge était ainsi transformé, le biogaz émis aurait l'effet de serre de 500 kg de carbone sous forme de gaz carbonique, soit 370 kg de plus que dans la situation de référence - "coûtant" 185 F ou 370 F/ tonne déposée selon que la tonne de carbone est estimée à 500 ou à 1000 F.

Mais cette hypothèse n'est pas réaliste car les décharges les mieux aménagées ne recueillent pas plus de 160 m3 par tonne ; il est difficile de croire qu'elles laissent fuir un tiers du biogaz.

Une hypothèse optimiste mais vraisemblable:

Les chiffres qui suivent sont ramenés à la tonne de déchet ; ils sont là seulement pour donner des ordres de grandeur et former un jeu d'hypothèse cohérentes :

- un quart du carbone organique est conservé (31 kg)
- un quart fuit dans l'atmosphère, quoi que l'on fasse, dont la moitié (16 kg) sous forme de gaz carbonique dans les jours qui suivent la mise en décharge, et l'autre moitié sous forme de biogaz à 50% de méthane, soit 15 kg ayant un effet de serre de 60 kg de carbone sous forme de gaz carbonique, soit en tout 76 kg
- la moitié part sous forme de biogaz qui lui-même est récupéré ou non - contenant 63 kg de carbone, ce qui équivaut à 63 kg ou à 250 kg de carbone sous la forme de gaz carbonique selon que le biogaz est brûlé ou non.

Au total, les émissions d'une décharge seraient équivalentes, pour une tonne de déchets, à celles de 140 à 330 kg de carbone sous forme de gaz carbonique, selon qu'elles sont équipées ou non pour la récupération du biogaz pour mise à la torche.

Mais, pour une tonne de déchets, *par rapport à la situation de référence (émission de 126 kilos), les émissions nettes d'une décharge sont équivalentes à l'émission de 16 à 200 kg de carbone sous forme de gaz carbonique par tonne de déchets, selon que le biogaz est plus ou moins bien récupéré.*

Selon ces hypothèses, le coût externe est donc à peu près nul si le biogaz est bien récupéré ; si le biogaz n'est pas récupéré, le coût externe est de 100 ou 210 F par tonne de déchets selon que le carbone atmosphérique est évalué à 500 ou 1000 F/T.

L'utilisation de la chaleur en remplacement de chaleur d'origine fossile peut même générer *des économies d'émissions*, par rapport à la situation de référence : en effet, pour une même quantité de chaleur produite, un combustible pétrolier émet la même quantité de carbone que le biogaz ; dans ce cas, le remplacement par du biogaz d'un combustible pétrolier économise 63 kg. Le bilan de l'effet de serre devient donc favorable de 50 kg de carbone par tonne de déchets - soit 25 à 50 F par tonne de déchets.

Ce bilan dépend beaucoup du taux de captage du biogaz, que l'on ne connaît pas précisément.

Internaliser le coût d'une décharge quant à l'effet de serre

L'impact sur l'effet de serre pourrait être internalisé dans les comptes de la décharge par une taxe calculée à partir des tonnages déposés et diminuée en fonction de la quantité de méthane récupérée. Si le biogaz n'est pas récupérée, cette taxe serait égale au coût de l'émission de gaz à effet de serre en comparaison avec la situation de référence ; et la taxe serait annulée dès lors que le biogaz est

correctement récupéré. Elle pourrait être de 200 F par tonne déposée moins 3 F par mètre cube de méthane recueilli (pour un « carbone atmosphérique » à 1000 F/T)

Le cas des décharges qui ne sont plus en exploitation

Dans un prérapport traitant du biogaz des décharges, j'avais recherché une incitation économique pour conduire les responsables des décharges à récupérer efficacement le biogaz qu'elles continuent d'émettre après la fin de leur exploitation. J'avais pensé à une taxe dont le montant serait fonction des quantités de méthane recueillies ; cette taxe serait nulle en cas de bonne récupération ; sans récupération du biogaz, elle serait calculée en fonction des quantités de déchets déposés antérieurement. Même si le principe d'une telle taxe peut se défendre, son calcul et sa mise en œuvre soulèveraient de grandes difficultés : il faudrait en effet tenir compte de l'historique de la décharge sur les vingt dernières années, et l'on se heurterait à des questions touchant au caractère rétroactif de l'impôt. Aujourd'hui, pour les décharges qui ne sont plus en exploitation, je ne retiens donc pas cette proposition. Mais la question de la récupération du biogaz qu'elles émettent reste entière.

Certes, une obligation réglementaire de le récupérer est nécessaire, mais elle ne suffira pas. Au lieu d'une taxe, il faudra sans doute une incitation financière positive, fonction du volume de méthane récupéré. Si une « pénalisation » n'est pas possible, une telle incitation est justifiée du point de vue de l'effet de serre.

3- La méthanisation poussée très loin sur une longue durée

Une autre technique de méthanisation emprunte à la gestion des décharges, où le biogaz est un produit fatal qu'il faut récupérer pour des raisons liées à la protection de l'environnement, et celle des méthaniseurs, conçue pour produire le maximum de biogaz et stabiliser la matière autant que possible dans le minimum de temps.

Le promoteur d'un tel projet gère un "biocentre" qui reçoit des déchets verts et des fractions fermentescibles, des produits qui ont fait l'objet d'une collecte séparée et des "poubelles grises".

3.1- La technique

La technique dont il est ici question cherche à produire la maximum de biogaz et à stabiliser au maximum les produits *en se donnant le temps*.

Comme pour les décharges, les produits sont enfouis dans des alvéoles parfaitement étanchéifiées. Mais avant d'être enfouis *les produits sont conditionnés* de façon à faciliter leur méthanisation : ils sont notamment broyés,ensemencés de bactéries et conditionnés de façon à ce que leur consistance soit favorable à la méthanisation.

Les alvéoles sont équipées non seulement de puits pour récupérer le biogaz mais aussi d'une instrumentation qui permettra de savoir comment évolue la fermentation, et d'un dispositif pour réensemencer la méthanisation en fonction des besoins, par réinjection du lixiviat par exemple.

Il est prévu que la fermentation dure cinq à sept ans.

Le promoteur du projet reçoit des ordures mélangées et des ordures triées à la source. Il complète le tri sur des chaînes de tri, composte les déchets verts et met en alvéoles le contenu de la collecte mélangée et les refus de tri ou de compostage. Dans la suite, pour simplifier, nous supposons que toutes les ordures brutes sans le verre sont enfouies - en conséquence, ce qui suit *ne reflète pas* un cas réel.

Les déchets contiennent 145 kg de carbone organique par tonne, pouvant produire au maximum 265 mètres cubes de biogaz par tonne - pesant 300 à 364 kg selon la teneur en méthane.

Quand la fermentation sera achevée - ce que l'instrumentation permettra de savoir -, les produits inertés seront retirés de l'alvéole et déposés dans une décharge pour 300 F/T. Je suppose que le poids à stocker définitivement sera de 60 à 70 % du poids des produits entrants - la perte étant due à la perte de matière gazéifiée et à une diminution de l'humidité.

La capacité raisonnablement minimum est de 80 000 T/an de déchets, selon le promoteur de cette technique.

3.2- Les coûts d'investissement et de fonctionnement

Selon les promoteurs du projet, l'investissement est de 30 MF pour une capacité de 80 000 T par an, ce qui correspond à 30 F par tonne traitée.

Pour réceptionner les ordures brutes, les conditionner, les disposer, gérer l'alvéole sur une période de sept ans, puis reprendre les produits inertés, le coût de fonctionnement est de 200 F/T, recettes déduites.

Supposant que la mise en décharge coûte 200 F/T traitée, le coût total serait de 430 F/T.

Le promoteur de ce principe le met en œuvre dans une opération plus globale qui incorpore le tri de produits à recycler ; il espère que le coût de mise en décharge sera inférieur, puisque les produits seront, à son avis, rendus inertes. Après une subvention d'Eco-emballage, il annonce un prix global de 400 F/T traitée.

Incidence sur l'effet de serre et production d'énergie

L'incidence sur l'effet de serre est différente selon que l'énergie du biogaz est récupérée ou non.

Si les produits enfouis contiennent 145 kg de carbone organique par tonne (après avoir sorti le verre), la situation de référence est une émission de 145 Kg de carbone.

Sans récupération de l'énergie, l'émission nette, comparée à la situation de référence, est de 38 ou 40 kg par tonne de déchet selon la teneur en méthane du biogaz (cf. ci-dessous).

L'énergie du biogaz pourrait être de 1100 à 1400 KWh par tonne sans le verre ce qui serait remarquable puisque, selon les valeurs retenues dans ce rapport, la chaleur récupérable sous forme de vapeur dans une usine d'incinération est de 1700 Kwh pour des ordures dont le PCI est de 2300 Kcal/kg. Si le biogaz récupéré remplace des produits pétroliers, cette substitution permet une économie de 120 kg de carbone atmosphérique.

En tout, cette méthode de traitement permettrait une économie d'effet de serre de 90 kg de carbone par tonne enfouie – évaluée à 45 ou 90 F selon la valeur du carbone atmosphérique. Ce bon résultat est largement dû au fait que le carbone fossile n'est pas brûlé.

Hypothèses de calcul : Supposons que 10 % du carbone, soit 14 kg, reste en l'état. Supposons aussi que 10% du carbone, soit 14 kg, fuie sous la forme d'un biogaz dont la teneur est de 50 % ou 66% en méthane ; l'effet de serre de ces fuites est équivalent à (cf. §1.3 ci-dessus) celui de 56 kg (quatre fois 14) ou 70 kg (cinq fois 14) de carbone sous la forme de gaz carbonique. Le reste, c'est à dire 117 kg (soit 220 mètres cubes) est récupéré et brûlé. Les émissions seront alors équivalentes à 173 ou 187 kg de carbone sous la forme de gaz carbonique soit, par rapport à la situation de référence (émission de 145 kg), 30 ou 40 kg.

La production d'énergie est de 10 Kwh thermique par mètre cube de méthane. Si le biogaz contient 2/3 de méthane, soit 140 mètres cubes normaux de méthane par tonne de déchets, cela fait 1400 KWh par tonne, sans le verre (ou 1210 F/T avec le verre). Si la teneur en méthane est de 50 %, la quantité d'énergie est de 1100 KWh par tonne sans le verre.

Si ce biogaz remplace des produits pétroliers, il évitera l'émission de 120 kg de carbone ; s'il remplace du gaz, l'émission évitée sera de 90 kg.

Alors, par rapport à la situation de référence, l'incidence globale sur l'effet de serre est une réduction de 50 à 90 kg par tonne de déchets enfouis.

3.3- Commentaires

Les informations dont je dispose ne permettent pas de se faire un jugement définitif, mais cette technique repose sur des idées intéressantes :

- elle permet de traiter des ordures brutes, ce qui diminue beaucoup les dépenses de collecte,

- elle tire le maximum énergétique de la partie fermentescible sous une forme, le biogaz, qui est plus souple que la chaleur brute fournie par l'incinération.
- quant à l'effet de serre, beaucoup dépend de l'efficacité de la collecte du méthane, qui sera très difficile à contrôler puisque l'on ne connaît pas les quantités produites mais, même avec 10% de fuite, le résultat est favorable.
- cette technique permet de s'affranchir des difficultés d'épandage des composts urbains,

par contre

- elle pose la question du devenir à long terme de certains plastiques qui contiennent du chlore et des produits toxiques contenus dans les déchets toxiques des ménages, DTQD (déchets toxiques en quantité dispersées) qui auraient été enfouis malgré les précautions prises : il n'est pas assuré que le produit après digestion soit réellement inerte
- elle demande une quantité minimum d'ordures de 80 000 T ce qui est beaucoup en zone rurale,
- elle est consommatrice d'espace ce qui n'est pas gênant en zone rurale mais représente une difficulté en zone urbaine - sauf à transporter les déchets, ce qui n'est pas exclu puisque le coût de transport ne modifierait pas l'économie du projet.

Avant d'être reconnue, et malgré l'avantage économique qu'elle semble présenter, cette méthode demande encore à être validée par l'expérience et par d'autres études sur la dynamique de la méthanisation (études qui pourront s'aider des données procurées par l'instrumentation des alvéoles). Pour savoir si, après méthanisation, les matières sont réellement inertes, il faudra par exemple connaître la quantité de biogaz qui aura été recueillie et apprendre ce que deviennent les éléments toxiques contenus dans les ordures ménagères.

3.4- Tirer parti de tout le potentiel énergétique des déchets

Pour tirer complètement parti non seulement du potentiel énergétique de la part fermentescible mais aussi du pouvoir calorifique des matières non fermentescibles et pour ne pas laisser après fermentation des substances dont on ne connaît pas l'avenir à long terme, il pourrait être intéressant de coupler la transformation biologique et l'incinération : après un tri sommaire sur site, les matières fermentescibles iraient dans les alvéoles, les matières combustibles et non organiques iraient dans un four qui ne craint pas les forts PCI - peu importerait que l'une et l'autre fraction ne soient pas "pures".

D'un point de vue économique, en prenant en compte le coût de la collecte sélective et du tri, il semble que ce partage entre fermentation et incinération conduirait aux meilleurs prix de revient, inférieurs même à la fermentation de toutes les ordures brutes mélangées. Par ailleurs il serait beaucoup plus intéressant que le partage, en faveur aujourd'hui, entre méthanisation et recyclage.

Le chapitre qui suit compare plusieurs scénarios de traitement de déchets qui combinent de différentes façons méthanisation, incinération et mise en décharge, après apport volontaire du verre.

Chapitre 5

Associer incinération et méthanisation

Comparaison de quelques scénarios de valorisation énergétique

En s'appuyant sur les données des chapitres antérieurs, on fait ici une comparaison entre six voies de traitement des déchets : le tout incinération, qui servira de point de comparaison, la méthanisation de tout ou partie des parties fermentescibles après tri à la source ou après tri sur site et la "méthanisation" des ordures brutes avec mise en décharge du résidu solide. Les comparaisons portent sur les coûts, les quantités d'énergie et de matières produites, l'effet de serre. Le coût de la collecte séparée des parties fermentescibles est un facteur critique. Les informations connues il y a un an inclinaient à éviter, si possible, ce type de collecte ; des informations récentes semblent montrer que les coûts sont très inférieurs aux estimations précédentes.

Le principal enseignement de ces scénarios est de montrer que les résultats se tiennent tous dans une fourchette très étroite à tous points de vue. Entre deux projets, la différence de « coûts complets » incluant l'impact sur l'effet de serre, sera due non pas tellement au mode de traitement choisi mais aux conditions d'utilisation de l'énergie et à la nature de l'énergie remplacée – et aussi à la valeur du compost produit.

Ainsi, lorsque le biogaz peut être efficacement utilisé (par injection dans le réseau public, après épuration, ou en combustion directe toute l'année) et si le compost est de qualité, les solutions qui produisent du biogaz deviennent préférables à celles qui ne produisent que de l'électricité.

On trouvera dans ce chapitre un très grand nombre d'hypothèses sur les coûts et sur les rendements ; elles ont toutes été explicitées pour pouvoir être discutées.

Parmi les modes de gestion des déchets, la mise en décharge n'est envisagée que pour les déchets qui ont déjà subi un traitement. Le chapitre consacré au "recyclage des déchets combustibles" a montré quel niveau atteignent les dépenses de recyclage et à quels sommets s'élèvent les subventions versées aux communes pour les convaincre de s'engager dans ces opérations dispendieuses ; ainsi, tant que la collecte sélective coûte plus cher que la collecte en brut et tant que le tri coûte plus cher que l'incinération, le recyclage des matériaux *combustibles* peut se justifier dans un seul cas : la collecte du papier-carton après apport volontaire (comme pour le verre) - encore ai-je montré que, du point de vue de l'effet de serre, il vaut mieux brûler le papier-carton que de le recycler.

Par ailleurs, la recherche d'une bonne utilisation de l'énergie ne doit pas faire oublier l'objectif parallèle de recyclage de matière. L'un et l'autre peuvent être atteints au mieux par **une combinaison de la combustion et de la méthanisation** des ordures ménagères et autres déchets.

L'arrangement optimal dépendra des circonstances locales. Dans la suite, je retiens un jeu d'hypothèses sur les coûts et sur les flux et je propose quelques comparaisons avec le "tout incinération". Comme solution de référence, elle présente en effet l'avantage d'être relativement simple : apport volontaire des déchets verts, une seule collecte brute au porte à porte et un traitement unique ; elle présente aussi l'attrait d'être une des moins coûteuses mais on verra qu'elle n'apparaît pas toujours la meilleure à tous points de vue.

1- La situation commune aux divers scénarios

Le volume et la nature des déchets

Le verre, collecté en apport volontaire, n'entre pas dans ces scénarios.

Dans une zone de collecte, supposons que, hors le verre, 65 % des déchets sont fermentescibles et que les 3/4 seulement de cette part fermentescible (soit 50% seulement du total) peuvent être extraits pour entrer dans un méthaniseur ; le reste sera brûlé. La moitié de cette partie fermentescible extraite fait l'objet d'un apport volontaire (déchetterie, déchets verts urbains), l'autre est collectée, selon les voies choisies, soit en collecte sélective, soit mélangée avec les autres ordures ménagères. Pour simplifier on dira que 50% sont "non fermentescibles" et 50 % sont fermentescibles.

Ainsi, sur 100 T de déchets hors verre dont 50 T non fermentescibles et 50 T fermentescibles

- les 50 T non fermentescibles sont collectées au porte à porte.
- sur les 50 tonnes fermentescibles
 - 25 T font l'objet d'un apport volontaire (déchets verts et papiers)
 - 25 T seront collectées au porte à porte, soit en mélange, soit en collecte sélective selon les cas.

Hypothèses sur les coûts de collecte

Pour le coût d'une collecte après apport volontaire, retenons 300 F/T (50F de plus que le coût de la collecte de verre, pour tenir compte du foisonnement et de coûts annexes) ; la collecte des ordures brutes coûte 400 F/T.

Quant au coût de la collecte sélective de fractions fermentescibles au porte à porte, on pourrait retenir 1000 F/T, partie basse de la fourchette donnée par l'ADEME dans son guide pour les plans départementaux. Mais l'ADEME vient de publier une brochure faisant état d'une vingtaine de retours d'expérience : l'écart entre les performances annoncées laisse perplexe puisque sur 18 coûts indiqués, 11 sont compris entre 300 et 600 F/T, 4 sont inférieurs à 300 F/T et 3 supérieurs à 600 F/T. Il est probable que tous ces chiffres ne recouvrent pas la même chose. Mais il est probable aussi que la collecte sélective de parties fermentescibles peut coûter beaucoup moins de 1000 F/T ; nous retiendrons 600 F/T.

Hypothèses sur les coûts de traitement

Pour l'incinération le coût de traitement est 550 F/T pour une unité de grande dimension avant recettes. Pour une quantité de déchets inférieure, les coûts sont 600 ou 650 F/T, ce qui reflète soit un coût de traitement plus élevé dans une unité plus petite, soit un coût de transport plus élevé pour faire incinérer les déchets dans une unité de grande taille plus éloignée. Les recettes dépendent du PCI des matières incinérées : on dira ici qu'elles sont de 100 F/T avec une production de 2000 KWh thermique par tonne pour un PCI de 2300 Kcal/kg - la valeur retenue généralement dans ce rapport est 1700 Kwh pour des déchets dont le PCI est 2000 Kcal/kg.

Pour la méthanisation de déchets fermentescibles triés le coût est de 420 F/T de fermentescibles avant recettes. On tiendra compte d'un effet de taille : dans certains scénarios le coût sera de 500 F/T. Les recettes venant du biogaz sont de 60 F/T. Pour la mise en décharge le coût est de 300 F/T.

Coûts de collecte et coûts de traitement sont des coûts réels, sans compter d'éventuelles subventions de l'ADEME ou des départements ni "restitutions" d'Ecoemballage.

Production d'énergie et de matière

Le PCI des ordures ménagères sans le verre est de 2300 Kcal/kg. Après extraction de 25 % de fraction fermentescible, le PCI est de 2600 Kcal/Kg ; après extraction de 50% de fraction fermentescible, il monte à 3100 Kcal/kg.

On suppose que le mâchefer est utilisable ; le compost également ; ils sont écoulés à un prix égal à zéro.

L'effet de serre

Par rapport à la situation de référence (où tous les déchets sont répandus sur un sol végétal), tous les scénarios où le carbone fossile est brûlé émettent 100 kg de carbone. Par contre toute émission de carbone organique sous la forme de gaz carbonique est comptée pour zéro, que ce soit du gaz issu de la digestion aérobie, de la combustion de la partie organique ou de la combustion de biogaz. Le carbone organique qui reste durablement dans le sol est compté en négatif (effet de puits) ; par contre le carbone sous la forme de méthane vaut 7,6 fois le carbone sous la forme de gaz carbonique.

La production de 1 MWh thermique par des énergies fossiles émet du carbone : 86 kg s'il s'agit de fuel, ou 56 kg s'il s'agit de gaz ; il n'y a pas d'émission de carbone si l'énergie est d'origine nucléaire.

Les différents scénarios

Les scénarios possibles sont fort nombreux. On présente six voies :

- le tout incinération, qui servira de point de comparaison,
- la méthanisation des parties fermentescibles qui font l'objet d'un apport volontaire, soit 25% du poids total (charge complétée par des boues ou des déchets d'IAA) et l'incinération des 75% autres,
- la méthanisation des 50 % fermentescibles dont la moitié fait l'objet d'une collecte en porte à porte séparée
- la méthanisation des 50 % de fermentescibles dont la moitié est apportée volontairement et la moitié collectée dans les ordures mélangées et extraites sur site
- la "méthanisation" des ordures brutes avec mise en décharge du résidu solide.
- La fermentation en alvéoles *in situ* de 70% des ordures et l'incinération de 30%

Comme on l'a dit plus haut, n'ont pas été retenus de scénarios de collecte au porte à porte de papier, *a fortiori* d'emballage puisque ces pratiques sont beaucoup plus chères que la collecte sélective après apport volontaire ou que la collecte d'ordures mélangées au porte à porte.

2- Le scénario "tout incinération"

Ce scénario, comme les suivants, ignore le verre, collecté et trié à part.

L'hypothèse "tout incinération" est simplificatrice ; elle est vraisemblable lorsque le cours du papier est tel qu'il vaut mieux brûler le papier collecté après apport volontaire ; sinon, le papier sera trié pour recyclage.

Les coûts, après recettes

La collecte coûte 400 pour les 3/4 et 300 pour un quart, soit 375. L'incinération coûte 450 F/T après recettes. La solution "tout incinération" coûte donc 825 F/T.

Production d'énergie et de matière

La production d'énergie utilisable est de 2000 KWh/tonne

L'incinération d'une tonne produit 250 kg à 300 kg de mâchefer ; ici on retient 250 en l'absence de verre.

L'effet de serre

Par rapport à la situation de référence, avant que l'énergie ne se substitue à une autre forme d'énergie l'incinération génère l'émission des 100 kg de carbone fossile par tonne de déchets. Si l'énergie remplace du gaz, le bilan est à peu près équilibré ; il devient favorable si l'énergie remplace du fuel (réduction des émissions de 80 kg de carbone par tonne de déchets – cf. chapitre 6, §2.1).

3- Quelques scénarios ; comparaisons avec le scénario "tout incinération"

3.1- Méthanisation de toute la partie fermentescible (50% du tout) et incinération du reste

Dans ce scénario, on méthanisera tout ce que l'on peut et on incinérera le reste. Pour collecter suffisamment de matière fermentescible, l'apport volontaire ne suffit pas ; il faut aller rechercher les parties fermentescibles par des collectes séparées au porte à porte.

Les coûts, après recettes

- pour la part fermentescible, la collecte coûte 300 F/T pour la moitié et 600 F/T pour l'autre moitié soit en tout 450 F. La méthanisation coûte 420 F avant les recettes. Les recettes sont de 60 F/T. Le coût net est donc 810 F/T.

- pour la part non fermentescible : 400 pour la collecte ; pour le traitement, tenant compte du fait que l'unité est plus petite que dans la solution "tout incinération" le coût est estimé à 650, contre 550 avant recettes. Les recettes, fonction du PCI, sont de 135 F/T. Au total l'incinération coûte 915 F.

- en moyenne, le coût est de 860 F/T.

Par rapport au "tout incinération" le surcoût est de 35 F/T seulement.

Si l'on retient comme coût de collecte sélective au porte à porte la partie basse de la fourchette donnée par l'ADEME, soit 1000 F/T, le surcoût par rapport au tout incinération est de 135 F/T soit 15 % ; les conclusions sont alors, bien sûr, très différentes.

- La quantité de matière et d'énergie

La production de matière utilisable est de 425 kilos par tonne *dont 300 kg de digestat pouvant servir d'amendement organique*. Avec le verre, qui fait 13% du poids total, le seuil de 50% de réutilisation matière est atteint - sans compter une importante production d'énergie.

Si l'on extrait d'une tonne d'ordures brutes sans le verre, les 9/10 de la FFOM et la moitié du papier carton, soit en tout 50 % en masse des ordures (sans le verre), le PCI passe de 2300 à 3100 Kcal/kg. La quantité de chaleur *utile* (c'est à dire sous forme de vapeur) sera donc de 2700 KWh par tonne incinérée.

Quant à la quantité de chaleur incluse dans le biogaz, elle est de 700 KWh/t méthanisée –cette chaleur *peut* être utilisée directement.

La quantité totale de chaleur *utile* dégagée sera donc de 1700 KWh, à comparer aux 2000 du tout incinération : la méthanisation de papier produit moins d'énergie utile que sa combustion alors que la méthanisation de la FFOM, beaucoup plus humide, en produit presque autant.

L'effet de serre

Par contre les deux voies diffèrent en ce qui concerne l'effet de serre, et cela de deux façons : par la génération d'un "puits de carbone" et par une utilisation plus efficace de l'énergie.

- La production d'une énergie de substitution

La solution "tout incinération" produit davantage d'énergie ; si cette énergie remplace du fuel, cela lui donne un avantage par rapport à la solution mixte incinération et méthanisation. Mais la méthanisation produit 700 KWh de biogaz par tonne de déchet méthanisé, c'est à dire une forme d'énergie qui pourra plus facilement remplacer une énergie fossile, évitant de la sorte une émission de 35 kg de carbone s'il remplace du gaz ou 60 kg s'il remplace un combustible pétrolier - cela pour deux tonnes de déchets, soit 20 à 30 kg par tonne de déchets.

- Un puits de carbone ?

La méthanisation conduit à mettre dans le sol une certaine quantité de carbone. Dans une tonne méthanisée de mélange papier et FFOM, à 50% d'humidité, il y environ 200 kg de carbone ; si la production de biogaz est de 100 m³, la quantité de carbone dans ce gaz est de 53 kg. La différence, soit 147 kg de carbone organique, reste dans le compost et sera déposée sur le sol ; une partie se transformera en gaz carbonique, une autre restera longtemps dans le sol. Je ne sais pas où en sont les connaissances sur le devenir à long terme du carbone du sol. Supposons que 50 à 70 kilos restent assez longtemps pour que l'on voie là un "puits de carbone".

Comme on aura méthanisé une tonne sur deux tonnes de déchets, pour une tonne de déchets, c'est donc 30 kg qui resteront ainsi dans le sol pour une tonne de déchets traités.

En tenant compte de l'utilisation de l'énergie et de l'effet de puits, la voie méthanisation peut donc procurer un avantage par rapport à l'incinération de 40 à 50 kg de carbone par tonne de déchet, soit de 20 à 50 F par tonne selon la valeur du carbone atmosphérique (500 ou 1000 F/T).

Ce chiffre se compare aux 35 F d'écart entre les coûts du tout incinération ou de la solution mixte incinération- méthanisation.

Il apparaît donc que la voie méthanisation- incinération présente de nombreux avantages - fort taux de réutilisation de la matière et de récupération de l'énergie - ; elle serait très pénalisée par un coût de la collecte sélective au porte à porte de 1000 F/T contre 400 F/T pour la collecte de produits bruts ; elle est tout à fait compétitive avec une collecte au porte à porte des parties fermentescibles à 600 F/T.

Les deux scénarios suivants ont ceci de commun qu'on n'y fait pas de collecte sélective au porte à porte de parties méthanisables. Mais ils sont très différents puisque dans le premier on ne méthanise que ce qui est collecté après apport volontaire pour incinérer tout le reste, alors que, dans le second, on collecte en porte à porte les ordures mélangées et on extrait sur site les fermentescibles.

3.2- Méthanisation des parties fermentescibles en apport volontaire (25% seulement) et incinération du reste

Les apports volontaires des parties fermentescibles sont le papier et les déchets verts. Ce scénario n'a de sens au plan technique que si cette charge est complétée par d'autres produits fermentescibles, boues de stations d'épuration et/ou déchets de l'industrie agroalimentaire par exemple.

Les coûts

Sur 100T, 25 T de fermentescibles sont collectées après apport volontaire pour méthanisation. Le coût de la collecte est de 300 F/T ; quant à la méthanisation, on augmentera le coût pour tenir compte de moindres quantités à méthaniser ; le coût est de 500 F/T avant recettes, 440 F/T méthanisée après recettes ; soit en tout 740F/T méthanisée.

75 T sont collectées au porte à porte et incinérées. Le coût de la collecte est 400F/T. Comme la quantité incinérée est inférieure à celle du scénario "tout incinération", le coût d'incinération est supérieur : 600 F/T. Et comme le PCI est supérieur, les recettes sont également supérieures : le coût après recettes est 486 F/T. Soit, en tout 886 F/T.

Le coût moyen est de 850 F/T. Il se compare au coût du tout incinération, de 825 F/T.

La quantité de matière et d'énergie

La quantité de matière réutilisable est de 338 kg - contre 250 dans le cas du tout incinération. Si on ajoute le verre (13% du poids humide et 19% du poids sec), le taux de récupération matière avoisine les 50%.

La quantité d'énergie produite par ce scénario (700 KWh par tonne méthanisée et 2275 KWh par tonne incinérée, soit 1900 KWh en moyenne) est proche de celle du "tout incinération" (2000 KWh) ; cela vient du fait que les parties les plus humides des ordures sont méthanisées.

L'effet de serre

Avant utilisation de l'énergie, l'incidence sur l'effet de serre, par rapport à la situation de référence, est la même que celle du scénario "tout incinération", puisqu'elle est due à la combustion du carbone fossile. Après utilisation de l'énergie, y compris celle du biogaz, le bilan est plus favorable que celui du "tout incinération". De plus, il se peut que l'on puisse tenir compte d'un effet de puits car une bonne part du carbone organique de la partie méthanisée est restée dans le digestat et il est probable qu'une partie restera dans le sol. Cet effet néanmoins restera limité à moins de 20 kg de carbone.

Ce scénario est donc aussi économique que le tout incinération ; il s'en distingue par les quantités de matière organique qui reviennent au sol : 150 kg par tonne de déchets. Il est donc très favorable mais il pourrait échouer sur la taille minimale des unités de méthanisation, sauf complément de charge.

3.3- Méthanisation de toute la partie fermentescible (50% du total), sans collecte sélective au porte à porte

On a vu plus haut qu'il est intéressant de méthaniser la moitié des ordures ; mais si cela doit passer par une collecte sélective coûteuse et malcommode, un autre scénario peut être étudié.

Sur 100 T de déchets, 25 T de fermentescibles sont collectées après apport volontaire et 75 sont apportées sur le site de méthanisation où une partie de ce qui est fermentescible est extraite. C'est le schéma retenu à Amiens (avec les avatars que l'on connaît), à Séville dans une installation en cours de démarrage ou encore pour une partie de l'activité du centre de traitement de Varennes Jarcy.

L'économie de ce scénario ressemble à celle du scénario du § 3.1 ci-dessus, à ceci près que le coût de la collecte et du tri est inférieur – très largement inférieur si la collecte sélective est coûteuse.

Les coûts

La collecte coûte 400 F/T pour les trois quarts et 300 F/T pour un quart soit 375 F/T en moyenne.

Il faut compter un tri sur site. Ce tri peut être assez grossier puisque, s'il doit avoir comme objectif de ne pas laisser de parties non fermentescibles dans le digesteur, il peut laisser passer une partie significative du fermentescible dans l'incinérateur. On comptera 30 F par tonne triée, soit 22 F/T de déchets. Collecte et tri s'élèvent donc à 400 F/T : c'est 150 F de moins que celui du scénario du §3.1. On retrouve les coûts du "tout incinération" à savoir 830 F/T après recettes.

Les autres aspects

A coûts très proches, la voie méthanisation présente sur la voie incinération les avantages que l'on a décrits plus haut, notamment un taux de réutilisation de la matière très intéressant, un bon retour des matières organiques vers le sol et un effet de puits.

Mais aujourd'hui, des contestations sérieuses s'élèvent contre l'utilisation, comme amendement de culture, du compost produit par la méthanisation de fractions fermentescibles lorsque celles-ci sont triées sur le site. Si cette difficulté peut être surmontée, ce scénario est sans doute un des meilleurs.

3.4- Méthanisation suivie d'une mise en décharge

Ici, les ordures brutes sont toutes introduites dans le méthaniseur ; le digestat est mis en décharge. Hors le verre, les parties fermentescibles représentent environ les deux tiers du total des ordures brutes.

Les coûts

La collecte coûte 300 F pour la partie apportée volontairement, 400 F pour le reste soit 375 F en moyenne.

Du fait de l'utilisation moins efficace des équipements, le coût de la méthanisation des ordures brutes est supérieur à celui du coût de méthanisation des seules parties fermentescibles, où la part de "stériles" est largement inférieure au tiers. Supposons que le coût est supérieur de 20% ; il sera alors de 480 F/T avant les recettes. Celles-ci viennent de la production de biogaz qui fournit 500 KWh par tonne au lieu de 700, compte tenu de la part d'inerte dans la charge du méthaniseur, et procure 40 F par tonne.

Le digestat sera de 70% des quantités d'ordures brutes. La mise en décharge coûte 300 F/T, soit 210 F/tonne entrante.

Le coût total sera alors de 1025 F contre 825 F/T pour le "tout incinération".

La production de matière et d'énergie

Le taux d'utilisation matière hors le verre est nul dans la voie "méthanisation et mise en décharge" alors qu'il est de 25% dans le cas de l'incinération. La production d'énergie est beaucoup moins importante dans le cas de la méthanisation car on ne tire pas parti du PCI des plastiques et l'énergie venant des papiers-cartons sous forme de biogaz dans un digesteur est très inférieure à celle que donne leur combustion.

L'effet de serre

Le seul avantage de cette voie "méthanisation et mise en décharge" pourrait tenir à *l'effet de serre*.

On est amené ici à faire un grand nombre d'hypothèses sur le devenir du carbone organique ; elles conduisent à penser que l'effet de serre ne peut sans doute pas compenser le surcoût de cette méthode.

Sur les 255 kg de carbone par tonne d'ordures ménagères sans le verre, 53 se retrouvent dans le biogaz (100 mètres cubes) dont 35 sous forme de méthane, et 200 seront mis en décharge, dont une partie sera récupérée sous forme de biogaz et le reste sera immobilisé. Supposons que la décharge produise 100 mètres cube de biogaz, contenant 53 kg de carbone dont 27 sous forme de méthane. La quantité de carbone retenu en terre est de 147 kg ; on y trouve tout le carbone fossile soit 100 kg par tonne de déchets sans le verre et 47 kg de carbone organique : l'effet de puits serait donc de 47 kg, moins si une partie repart à l'atmosphère avec le temps.

Par ailleurs, 62 kg de carbone auront été transformés en méthane, dans le méthaniseur et dans la décharge. Si celui-ci remplace du gaz, il évitera l'émission de 62 kg de carbone ; s'il remplace un carburant pétrolier, il évitera l'émission de 100 kg de carbone.

Selon ces hypothèses, par rapport à la situation de référence, où les ordures sont étalées sur le sol, la solution "méthanisation et enfouissement" présente donc un avantage de 47 kg de puits et 60 à 90 kg en substitution d'énergie fossile.

Par rapport au tout incinération, l'avantage est de 145 kg de carbone par tonne de déchets avant substitution de l'énergie, moins après substitution à de l'énergie *fossile*. En comptant la tonne de carbone à 1000 F, cela compense presque l'écart de coût avec l'incinération.

Si on privilégie l'effet de serre et si l'on refuse par principe ou pour d'autres raisons l'incinération, la "solution méthanisation et enfouissement" trouve de l'intérêt.

3.5- L'incinération des parties combustibles et l'enfouissement pour méthanisation suivie d'une mise en décharge inerte

Ici, à côté de l'apport volontaire de verre, de papier et de déchets verts, la collecte au porte à porte est une collecte mélangée. Un tri se fait sur le site entre une fraction fermentescible et une fraction combustible. Ce tri est grossier car, à la marge, la présence d'impuretés n'a aucune importance ; il ne coûtera donc presque rien.

Les coûts

Cette voie ressemble à la précédente. Elle coûte 375 F par tonne pour la collecte, 580 F/T en moyenne pour l'incinération de 30 % du tout, pour le conditionnement, la mise en alvéole puis la reprise et la mise en dépôt définitif de 70 % du tout, soit 955 F en tout avant les recettes.

La production de matière et d'énergie

Cette voie produit le mâchefer de l'incinération de 30% des déchets soit 75 kg par tonne de déchets - auquel il faut ajouter le verre, qui suit un autre chemin.

Mais la production d'énergie est de 1950 KWh/T ; elle égale celle de l'incinération (2000 KWh/T) car, à l'énergie du biogaz, se rajoute l'énergie thermique des déchets combustibles non fermentescibles.

L'effet de serre

Il n'y a pas d'effet de puits car tout le carbone organique est gazéifié et le carbone fossile est brûlé.

Par rapport à la situation de référence, les émissions sont de 100 kg de carbone par tonne, c'est à dire le carbone fossile. Cette émission peut être réduite par l'utilisation de l'énergie dégagée. Le biogaz peut se substituer plus facilement à une énergie fossile que la chaleur d'une unité d'incinération, par exemple pour des usages agricoles – ce sera favorable à l'effet de serre.

4- Commentaires sur ces comparaisons entre quelques voies de traitement des ordures ménagères

- *Les différences de coût entre les voies de traitement sont étrangement faibles ; elles sont largement inférieures aux fourchettes de coûts à l'intérieur de chaque voie* et aussi aux incertitudes sur les coefficients techniques adoptés pour les calculs. Cela veut dire que les circonstances locales, le choix des techniques, les négociations commerciales peuvent avoir plus d'effet que les données économiques, y compris après intégration de l'effet sur l'environnement.
- Aux coûts observés généralement aujourd'hui, la collecte sélective de la FFOM, fraction fermentescible, est très pénalisante ; les scénarios ci-dessus ont intégré un progrès important à cet égard. Il reste qu'il est toujours intéressant aujourd'hui de privilégier l'apport volontaire.
- Le coût de l'incinération est très sensible à la quantité des déchets traités ; on peut se rappeler que le "coût marginal" à moyen terme est de l'ordre de 370 F/T. Dès lors que l'on décide d'incinérer une partie des ordures ménagères, la voie "tout incinération" devient économiquement attractive. Mais, pour s'y engager, il faut une quantité suffisante de produits ce qui, souvent, suppose l'accord d'un très grand nombre de communes.
- A côté des classiques fours à grille, il existe des techniques qui, acceptant des PCI plus élevés, peuvent recevoir des ordures dont les parties les moins combustibles ont été extraites, complétées par des DIB au fort pouvoir calorifique.
- Pour les petites quantités, les voies "méthanisation et décharges" donnent des possibilités alternatives à l'incinération.
- La méthanisation des fractions fermentescibles collectées après apport volontaire présente des avantages à tout point de vue. Elle peut achopper sur les quantités traitées pour dépasser le seuil de production minimale des installations industrielles et, au-delà bénéficier des effets d'échelle. Ces quantités minimum seront plus facilement atteintes en méthanisant du papier-carton, des boues de stations d'épuration et des déchets agro-alimentaires ou de l'agriculture
- La collecte d'ordures brutes avec extraction sur le site des parties fermentescibles à des fins de méthanisation est potentiellement intéressante à tout point de vue (coûts, taux de réutilisation de la matière, effet de serre, *confort des particuliers*) sous la réserve que le compost produit ait des qualités reconnues par les utilisateurs ; cela suppose notamment que les matières méthanisées soient **exemptes de tout produit toxique**.- c'est un point crucial de l'économie de la gestion des déchets.
- La voie de l'incinération des parties combustibles et de la méthanisation poussée des parties fermentescibles des ordures brutes est économique ; elle évite de demander aux particuliers de faire un tri ; elle a un bon impact sur l'effet de serre ; elle se libère de la contrainte d'écouler le compost. Elle demande à être validée.

L'économie de ces différentes voies alternatives dépend aussi beaucoup des conditions dans lesquelles sont écoulés les produits et l'énergie qui en sortent : énergie, mâchefer et composts : l'effet économique peut être de l'ordre de 100 F/T soit 10% du coût total. C'est l'objet du chapitre qui suit.

Comparaison entre plusieurs modes de traitement des déchets : coûts et productions – pour le détail des scénarios voir le texte du chapitre 5

La précision apparente des nombres ci-dessous ne doit pas cacher les marges d'incertitude

1 tonne de déchets sans le verre	Tout incinéré	25% méthanis			50% méthanis après coll. sélective			50% méthanis	<i>Tout</i> méthanisé	Fermentation en alvéoles		
		75% incinéré,			50% incinéré		50% incinéré	70% méthan		30% incinéré	Total	
		1T méthanis	1 T incinérée	Total	1T méthanis	1 T incinérée	Total	PàP mélang		par tonne	par tonne	Total
Collecte : coût en F/T	375	300	400	375	450	400	425	375	375	375	375	375
Traitement												0
Prod. d'énergie (KWh)	2000	700	2275	1881	700	2696	1698	1698	500	1400	3217	1945
de matière en Kg	200	600	200	300	600	200	400	400	0		200	60
Coûts avant recettes	550	500	600	575	420	650	535	555	480	350	650	440
mise en décharge									210	200		140
recettes	100	60	114	100	60	135	97	97	40	120	161	132
Résultat	825	740	886	850	810	915	863	833	1025	805	864	823
effet de serre Kg de C												
avant substit énerg	99	0	132	99	0	198	99	99	0	0	330	99
substit à du fuel	182	64	207	171	64	245	154	154	90	127	292	177
substit à du gaz	100	35	114	94	35	135	85	85	60	70	161	97
substitut à du nucl,	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
effet de serre net												
substit à du fuel	-83	-64	-75	-72	-64	-47	-55	-55	-90	-127	38	-78
substit à du gaz	-1	-35	18	5	-35	63	14	14	-60	-70	169	2
substitut à nucl	99	0	132	99	0	198	99	99	0	0	330	99
Coût total - C à 500F/T												
substit à du fuel	784			814			835	805	980			784
substit à du gaz	824			852			870	840	995			824
substitut à nucl	874			899			912	882	1025			872
Coût total - C à 1000F/T												
substit à du fuel	742			778			807	777	935			745
substit à du gaz	824			854			877	847	965			824
substitut à nucl	924			949			962	932	1025			922
effet de puits Kg/T	0	70		18	70		35	35	47	0		0
Fuites de biogaz		p,m,		p,m,	p,m,		p,m,	p,m,	p,m,	p,m,		p,m,
Indice synthétique	100			105			108	109	20			84

Chapitre 6

"Valoriser" la production des unités de traitement des ordures productrices d'énergie

Les principales conclusions de ce chapitre sont les suivantes :

Il est possible de concilier, avec des coûts comparables à ceux du "tout incinération", les objectifs de récupération matière fixés par la circulaire ministérielle du mois d'avril 1998 et la meilleure valorisation énergétique à condition

- *de définir les caractéristiques d'usage des composts, pour éviter chez les utilisateurs à la fois inquiétude et surenchère,*
- *de collecter efficacement les DTQD, déchets toxiques en quantité dispersées que sont les piles, les médicaments, les produits chimiques ménagers*
- *de diminuer les coûts de collecte des parties fermentescibles ou de mettre au point des techniques de tri sur site de la part fermentescible des ordures ménagères qui permettent d'atteindre les caractéristiques d'usage spécifiées*

Parallèlement, au titre de l'effet de serre en particulier, il sera légitime de consacrer des fonds publics assez importants pour que soit utilisée directement sur place ou à proximité la chaleur dégagée par l'incinération des ordures ou par la combustion du biogaz. Il conviendra aussi de compenser l'effet, sur le prix du biogaz, de la tarification par souscription de Gaz de France.

Cette intervention financière sera infiniment plus justifiée que celle qui tend, à grands coûts, à augmenter le taux de recyclage des emballages.

La définition administrative du mot "valorisation" est incomplète et parfois incohérente. Pour considérer à la fois et également l'utilisation des matières et de l'énergie issues du traitement des déchets, il est proposé d'utiliser un indice synthétique de valorisation fondé sur l'observation des meilleures pratiques.

Le traitement des déchets a pour premier objectif de s'en débarrasser en essayant d'éviter, autant que faire se peut, d'en faire supporter la charge aux générations futures. Il a aussi pour objectif d'en tirer le meilleur parti dès maintenant, en mettant à disposition des produits ou de l'énergie et, si possible, en générant des effets externes favorables, en particulier au titre de l'effet de serre.

Les chapitres précédents ont donné des ordres de grandeur des coûts économiques et des avantages externes en cause.

Ils ont montré deux grandes classes de coût

- le coût d'une collecte économe (en mélange au porte à porte ou sélective après un apport volontaire) suivie d'un traitement combinant, selon des proportions variables, le tri du verre et du papier, l'incinération, la méthanisation, le compostage et la mise en décharge, le tout à un prix de l'ordre de 800 à 1000 F par tonne de déchets – après recettes et intégration des avantages externes, mais hors toute subvention.
- le coût des collectes sélectives au porte à porte suivies, d'une part, de tris plus ou moins poussés pour recycler des matériaux et, d'autre part, des traitements « classiques » mentionnés ci-dessus. Le coût de la chaîne de tri (y compris la part du coût de collecte imputable au tri) atteint alors des montants plusieurs fois plus élevés que le coût d'un traitement économe – on a calculé au chapitre 3 des coûts moyens de plusieurs milliers de francs et des coûts marginaux dépassant 6 000 F/tonne. Certes des progrès sont certainement possibles, mais les avantages externes que l'on peut attribuer au recyclage par rapport aux traitements « classiques » sont négatifs pour le papier et nuls ou faibles (moins de 300 F/T) pour le plastique ; ils ne justifient ni ces surcoûts ni a fortiori les financements et avantages fiscaux dont bénéficient les communes pour le tri et le recyclage.

Ce chapitre traitera de la récupération de l'énergie issue du traitement des déchets : il donnera des indications sur le coût de production de cette énergie et sur son prix de cession et sur les avantages externes de la production d'énergie à partir des déchets ; il montrera que l'utilisation sous la forme de chaleur est la plus intéressante et en donnera quelques illustrations ; et il décrira quelques modalités d'intervention publique.

Or la production d'énergie est intimement liée à la production de matières éventuellement "valorisables" ; il n'est donc pas possible de parler de récupération de l'énergie sans considérer l'utilisation des matières co-produites ; en particulier la production de biogaz dépendra des débouchés trouvés pour le compost. Nous aborderons donc aussi ce sujet.

Auparavant, je dirai quelques mots de la notion administrative de "valorisation", qui oriente la politique du gouvernement, donc celle des élus.

1- La signification administrative du mot "valorisation" et les objectifs de la circulaire ministérielle d'avril 1998

1.1- La signification administrative du mot "valorisation"

Le mot de valorisation a deux significations. Selon une acception habituelle la valorisation est une transformation qui donne au produit une valeur supérieure, cela n'ayant de justification économique que si les dépenses engagées sont inférieures à l'accroissement de la valeur. Selon une acception "officielle", celle que l'on trouve dans les textes législatifs et réglementaire, un déchet est "valorisé" lorsqu'il trouve un usage comme matière ou source d'énergie, à l'exception néanmoins de certaines utilisations.

1.1.1- Alors que les biens produits ont des valeurs très différentes....

Les opérations de traitement des déchets produisent des matières et de l'énergie, cette énergie prenant la forme de chaleur ou d'un gaz combustible.

Certaines matières issues du traitement des ordures ménagères peuvent être réutilisées. Il en est ainsi des matières destinées au recyclage comme le verre, le papier, les plastiques, le fer etc. , des matières issues du traitement biologique des ordures ménagères lorsqu'elles sont acceptées par les utilisateurs (agriculteurs, collectivités locales, personnes privées) et des mâchefers produits par les unités d'incinération lorsqu'ils sont stabilisés et ont passé avec succès les tests de lixiviation.

Quant à l'énergie, sa valeur économique et environnementale dépend de ses usages, à peu près nulle par exemple pour faire de l'électricité, positive en cas d'utilisation directe comme chaleur tout au long de l'année

Lorsqu'une matière ou une énergie ne trouve pas preneur, il est toujours possible de dépenser davantage pour y parvenir - ainsi du tri des matières à recycler, de l'affinage du compost etc. de sorte que parfois on aura consenti des dépenses très largement supérieures à la valeur des matières produites.

Il n'est pas toujours possible d'imputer les dépenses spécifiquement à une matière ou à une production d'énergie ; pourtant certaines dépenses sont spécifiques. En comparant deux modes de traitement, leurs coûts et la valeur des matières qu'ils produisent, il est possible parfois d'affecter la *différence* de coûts à la production de certaines matières ou énergies qui sont produites dans un mode et non dans l'autre.

Lorsque le coût de production de certaines matières ou formes d'énergie est largement supérieur à la valeur que leur donne le marché, peut-on alors vraiment parler de valorisation ?

1.1.2- ... la "valorisation" ne tient compte que de quantités...

Il est pourtant convenu d'appeler "valorisation" toute utilisation de matière ou d'énergie, quel que soit le prix de vente à l'utilisateur et quels que soient les dépenses que l'on peut imputer à la production de ces matières ou de cette énergie. C'est une première convention dont il faut être conscient. Parallèlement, pour calculer un "taux de valorisation", cette notion de "valorisation" est diracienne : c'est tout ou rien : elle est indépendante de la valeur d'usage de la matière ou de l'énergie produite. Ainsi, on considérera également une production d'énergie électrique ou de chaleur "en base" et une production de chaleur qui sera utilisée seulement pendant l'hiver.

1.1.3 ... et, qui plus est, de façon incohérente

Il est une autre convention : l'utilisation de certaines matières n'est pas considérée comme une valorisation alors que celle d'autres matières qui ont une nature économique identique est considérée comme une valorisation. Il en est de même de l'énergie. Il est assez difficile d'imaginer les motifs d'une telle discrimination. Ainsi l'incinération produit de l'énergie et du mâchefer ; la méthanisation donne du compost et du biogaz. Dans le cas de l'incinération, l'utilisation de l'énergie est considérée comme une valorisation mais non celle du mâchefer, tandis que dans le cas de la méthanisation l'utilisation du compost est une valorisation mais non celle du biogaz.

Certes, ces conventions n'ont pas d'effet direct sur les prix de vente des matières et de l'énergie. Néanmoins elles donnent une orientation à la politique des élus et elles conditionnent les subventions publiques dont bénéficient les investissements, voire le régime fiscal applicable aux opérations de collecte et de traitement. Il est donc préférable qu'elles soient représentatives de la réalité.

1.2- Les objectifs de la circulaire ministérielle du 28 avril 1998

Cette importante circulaire adressée aux préfets donne les orientations ministérielles.

"Ces orientations visent à redonner à la politique de prévention et de valorisation la place qu'il convient notamment par rapport aux filières de traitement que sont l'incinération et le stockage". Elle demande aussi une "réorientation qui doit se traduire par un aménagement des objectifs antérieurs de façon à intégrer davantage de recyclage matière et organique".

Elle expose un grand nombre de considérations qualitatives et fixe un objectif quantifié : "l'objectif que je retiens au niveau national est qu'à terme la moitié de la production de déchets dont l'élimination est de la responsabilité des collectivités locales soit collectée pour récupérer des matériaux en vue de leur réutilisation, de leur recyclage, de leur traitement biologique ou de l'épandage agricole". L'annexe à cette circulaire indique : "cette récupération n'a de sens que si elle n'induit pas une augmentation excessive du coût global de la gestion des déchets."

Or on a vu à quel point une politique de récupération de certains matériaux induit des dépenses de collecte et de tri.

La circulaire de 1998 met donc l'accent sur la récupération matière, *y compris organique*, et fixe un objectif en volume mais sans indiquer de délais précis ; elle prend en compte les aspects économiques elle semble vouloir freiner le mouvement vers l'incinération mais *sans remettre en cause le fait que la récupération de chaleur est une des formes de "valorisation" indiquées dans la loi de 1975*.

1.3- Un indicateur synthétique de valorisation

J'ai donc recherché un "indice synthétique" de valorisation qui soit à la fois simple et significatif sachant que, *a priori*, il n'est pas facile d'additionner de l'énergie et de la matière. Toute matière utilisée serait prise en compte, y compris le compost qui n'est pas mis en décharge. La prise en compte de l'énergie dépendrait de la quantité d'énergie effectivement utilisée.

Pour définir un indicateur synthétique, on pourrait partir de considérations physiques en prenant en compte par exemple le poids de matières produites à des fins énergétiques, après correction des effets de la teneur en humidité, et le poids de carbone utilisé.

Ici, la démarche est différente, très pragmatique et partant de l'observation. Il vaut mieux avoir un indice « additif », c'est à dire tel que l'indice du traitement d'un ensemble de déchets qui fait l'objet de deux traitements différents soit égal à la somme pondérée des indices de chacun des modes de traitement. Il a donc la forme $I = a.E + b.P$ où E est une quantité d'énergie et P un poids ; pour que cet indice représente la « valorisation » réelle des déchets, ces quantités sont des quantités non pas produites mais utilisées effectivement.

Cet indice pourrait avoir la valeur 100 si le traitement est le plus efficace possible.

On dira qu'est égal à 100 l'indice de valorisation synthétique

- d'un tri sans refus
- d'une unité d'incinération qui produit, par tonne incinérée, 1800 KWh de chaleur *utilisée* et 300 kg de mâchefer utilisés
- ou d'une unité de méthanisation qui produit 1000 KWh (ou 100 m³ de méthane) de chaleur utilisée et 600 kg de compost utilisés

On a donc un système de trois équations (le tri, l'incinération, le compostage) à deux inconnues. En général ce genre de système n'a pas de solution. Or il se trouve qu'il existe une réponse :

$I = 0,04 E + 0,1 P$ E en KWh thermique par tonne et P en kilos par tonne; la valeur optimale de I est 100.

Si I reflète non seulement le traitement des déchets mais l'utilité de l'énergie produite, on considérera l'énergie produite en fonction de l'énergie qu'elle remplace et l'on placera devant la quantité d'énergie un coefficient d'efficacité, e. L'efficacité de l'énergie pourrait être fonction de son intérêt économique et de ses avantages externes – voir ci-dessous. L'énergie la plus efficace est la chaleur utilisée directement lorsqu'elle remplace du charbon ou des produits pétroliers. Quant à l'électricité, sa production est en quelque sorte un pis-aller ; le coefficient pourrait être de 0,5 pour tenir compte du fait qu'une partie de l'électricité sera utilisée sous forme de chaleur. E est toujours exprimé en KWh *thermique* (utilisés ici pour produire de l'électricité).

D'où un indice synthétique de valorisation : $I = 0,04 eE + 0,1 P$,

E est l'énergie produite ou contenue dans le biogaz produit *et utilisée*, en KWh *thermique*

e est un coefficient d'efficacité de l'utilisation de l'énergie

P est le poids de matière produite *et utilisée*, en kilos

La valeur optimale de I est proche de 100.

Cette formule n'a d'autre signification qu'une abaque ; elle est valable dans la mesure où l'on estime que le classement auquel elle conduit est effectivement valable. Tout au plus peut-on dire que le coefficient 0,04 a la dimension de l'inverse d'un PCI et correspond à un PCI de 2500 Kcal/Kg, ce qui a un sens pour l'incinération mais évidemment pas pour la méthanisation.

Cet indice, fruit de l'observation, permettrait de différencier le compostage de la méthanisation, d'encourager davantage la stabilisation des mâchefers, et surtout d'encourager les élus à faire en sorte que les unités de traitement trouvent un usage à l'énergie qu'elles produisent.

L'indice synthétique de valorisation d'une unité d'incinération dont toute la chaleur est utilisée directement et dont tout le mâchefer est utilisé sera de 100 ; si le mâchefer n'est pas utilisé et que la chaleur est transformée en électricité, son indice sera de 36.

Une unité de compostage a un indice de 60 ; une unité de méthanisation dont le compost n'est pas utilisé mais dont la chaleur est utilisée directement aura un indice de valorisation de 40 ; si le compost est utilisé, son indice passe à 100.

Des ordures brutes mises en décharge qui dégagent 100 m³ de biogaz à 50% de méthane ont un indice de valorisation de 20. Un "réacteur biologique" où la méthanisation est poussée au maximum et qui produirait trois fois plus de méthane aurait un indice de 60 : si l'on a extrait auparavant des parties recyclables à hauteur de 20% en poids, son indice passe à 80 etc.

L'objectif national de valorisation pourrait être d'atteindre un indice synthétique de valorisation de 70 sur 100.

Autre formule possible : un indice d'économie d'énergie fossile couplé à un indice d'intérêt pédologique

Il est certainement possible de trouver d'autres indices plus ou moins synthétiques. Par exemple, si on constate que la seule ressource non renouvelable à l'échelle du siècle est l'énergie fossile, un indice destiné à rendre compte du caractère de « développement durable » doit refléter les économies d'énergie fossile : le recyclage de matière présente de ce point de vue un intérêt dans la mesure où il permet une économie d'énergie fossile. Cet indice reflètera correctement l'impact sur l'effet de serre. Si l'idée paraît intéressante à bien des points de vue, elle demande que l'on se mette d'accord sur les bilan-énergie fossile des différentes matières ; comme cet indice ne reflète pas l'intérêt, pour l'agriculture, de produire un support organique, il devra sans doute être complété par un second indice d'utilité agricole ou pédologique.

Note

Ces indices sont basés sur des quantités de matière ou d'énergie sans tenir compte de leur valeur d'usage. Ils me semblent préférables à l'indice qui est utilisé aujourd'hui par l'administration ou les textes réglementaires car ils traitent *également* énergie et matière. Mais, dans un marché fonctionnant correctement, ***le véritable indice serait le résultat économique « élargi » en incorporant la valeur, en plus ou en moins, des avantages externes du traitement des déchets.*** Des indices « matière-énergie » ne méritent d'être considérés que si l'on estime que les indications données par le « résultat économique élargi » ne sont pas satisfaisantes – alors, il serait intéressant de préciser en quoi elles ne le sont pas.

2- La récupération de l'énergie

2.1- Rappel des données économiques et de l'impact sur l'effet de serre

Le coût de production de la chaleur et de l'électricité

Il faut bien s'entendre sur la définition du coût de production de l'énergie d'une unité d'incinération ou d'un méthaniseur. L'incinération n'est pas faite pour produire de l'énergie ni la méthanisation – *a fortiori* la mise en décharge - pour produire du biogaz. Il s'agit donc d'évaluer les dépenses nécessaires pour rendre cette énergie utilisable.

Dans le cas de l'incinération, sans production de vapeur, il faudrait refroidir les fumées pour pouvoir les traiter. Les dépenses supplémentaires engagées pour produire de la vapeur doivent en tenir compte, c'est à dire que le calcul doit déduire le coût de la tour de refroidissement. Ce calcul a été fait au chapitre 2 : il conduit à un coût de la chaleur compris entre 2 et 3 centimes par KWh thermique utilisable sous forme de vapeur *si toute la chaleur est utilisée à proximité* et, selon des données de la profession (FNADE), à un coût de l'électricité de 32 cme par KWh électrique – moins, selon d'autres données, mais rarement au-dessous du coût de production par les centrales de production d'électricité.

Dans le cas de la méthanisation, le biogaz devrait être compté pour une valeur négative égale aux dépenses à engager pour le mettre à la torchère. Nous dirons que sa valeur est nulle. Alors, l'appel de proposition réalisé durant l'été par EDF à l'invitation du ministère de l'industrie pour la production d'électricité à partir du biogaz de décharge a montré qu'aujourd'hui le coût de production d'énergie serait de l'ordre de 33 cme par KWh. L'expérience de Grande-Bretagne laisse penser que les coûts peuvent descendre en dessous de 28 cme par KWh.

La valeur de l'énergie récupérée

Comme la chaleur ne se transporte ni ne se stocke, il n'y a pas de marché de la chaleur. Sa valeur dépend uniquement de la présence à proximité d'un utilisateur. Faute d'utilisateur, sa valeur est négative s'il faut faire des dépenses pour la dissiper ; par contre une chaleur disponible au lieu et au moment où l'on en a besoin vaut plus de 10 cme par KWh.

Quant à l'électricité, c'est un produit qui se stocke très difficilement (en remontant de l'eau au-dessus de barrages par exemple) mais qui se transporte aisément. Mais il n'existe pas de marché non plus du fait du monopole d'EDF. Cette situation permet à EDF d'acheter de l'électricité à un prix -29 cme/KWh - supérieur à celui qu'aurait indiqué un marché concurrentiel. J'ai expliqué au chapitre 2 §3.1 pourquoi je retiens que la valeur économique de l'électricité produite est de 23 cme/KWh.

Le résultat économique de la production de chaleur ou d'électricité – vu de l'exploitant

Ces quelques chiffres montrent combien sont différentes les données économiques de l'utilisation comme chaleur ou comme électricité : d'une part un bénéfice qui peut être important (6 ou 7 cme par KWh thermique) mais qui peut se muer en pertes faute d'utilisateur ; pour l'électricité un compte à peu près équilibré : un coût de 32 cme/KWh électrique pour un prix de vente de 29 cme - mais *en réalité* un résultat économique négatif si l'on retient que la valeur économique de l'électricité est de 23 cme/KWh électrique.

Les avantages externes de l'utilisation de l'énergie du traitement des déchets

Dans un premier temps, on comparera à la situation de référence l'incinération sans récupération de l'énergie puis l'incinération avec récupération de l'énergie. Dans un deuxième temps on comparera l'incinération avec récupération à l'incinération sans récupération.

a) Par rapport à la situation de référence

Une partie seulement du carbone contenu dans les déchets est du carbone organique, dont on convient que la combustion ne génère pas d'effet de serre par rapport à la solution de référence.

Si les ordures étaient incinérées sans récupération de chaleur, l'incinération d'une tonne de déchets émettrait près de 90 kg de carbone (86 kg selon les données numériques données en annexe). Le coût pour la société serait de 45 F ou 90 F par tonne de déchets (y compris le verre) selon que le carbone atmosphérique est évalué à 500 ou 1000 F par tonne.

Si la chaleur est récupérée, l'incinération d'une tonne de déchets produira 1700 KWh thermiques utilisables sous forme de vapeur. Pour obtenir cette quantité de chaleur avec un rendement de chaudière de 85% il aurait fallu brûler (voir les données numériques en annexe) une quantité de gaz contenant 112 kilos de carbone ou une quantité de fuel contenant 172 kilos de carbone, c'est à dire 20 ou 80 kg de plus que la quantité de carbone fossile contenue dans cette tonne de déchets.

Si la chaleur est utilisée pour faire de l'électricité, elle évitera une émission de 260 kg de carbone si l'électricité est faite à partir de charbon – mais rien du tout si l'électricité est nucléaire.

Contribution à l'effet de serre de l'incinération et de l'utilisation de l'énergie d'une tonne d'ordures ménagères

	Contribution ou économie en Kg de C par t.de déchets
Situation de référence : les matières sont étalées sur un sol végétal	0
Incinération sans récupération de l'énergie	90
Incinération et production d'électricité – nucléaire ou charbon	90 ou économie de 170
Incinération et production de chaleur qui se substitue à du gaz	Economie de 20
Incinération et production de chaleur qui se substitue à du fuel	Economie de 80

Une économie de 80 kgC/T - soit 40 ou 80 F selon la valeur de la tonne de carbone atmosphérique - par tonne d'ordures ménagères c'est à dire pour 1700 KWh thermiques sous forme de vapeur, correspond à une somme de 2,4 ou 5 cme par KWh thermique. Une économie de 20 kgC/T correspond à une somme de 0,6 ou 1,2 cme/KWh thermique.

b) Par rapport à l'incinération sans récupération de l'énergie, avantages économiques et environnementaux de la récupération

L'émission de gaz carbonique par la combustion de gaz est évaluée à 3 cme par KWh thermique de vapeur si le carbone est compté pour 500 F/T, 6 cme si le carbone est évalué à 1000 F/T. Pour la production de chaleur à partir de produits pétroliers, ces chiffres sont respectivement 5 et 10 cme par KWh thermique. Pour une production à partir de charbon, ces chiffres sont de 7 ou 14.

Du point de vue économique, et en comparant là aussi à l'abandon de l'énergie, l'avantage de la production de chaleur est de 7 cme par KWh thermique si la chaleur est utilisée toute l'année ; par contre l'« avantage » économique de la production d'électricité est négatif.

Pour représenter les avantages économiques et environnementaux, en prenant pour situation de référence ici l'incinération sans récupération d'énergie on peut dresser les tableaux suivants selon que le prix du carbone est de 500 ou 1000 F/T émise.

centime par KWh thermique <i>pour une tonne de C atmosphérique à 500 F</i>	Avantage économique	Avantage environnemental	TOTAL
Incineration sans récupération de l'énergie	0	0	0
Incineration et production d'électricité à partir de nucléaire ou de charbon	-2	0 ou 7	-2 ou 5
Incineration et production de chaleur qui se substitue à du gaz	7	3	10
Incineration et production de chaleur qui se substitue à du fuel	7	5	12

Centime par KWh thermique <i>Pour une tonne de C atmosphérique à 1000 F</i>	Avantage économique	Avantage environnemental	TOTAL
Incineration sans récupération de l'énergie	0	0	0
Incineration et production d'électricité à partir de nucléaire ou de charbon	-2	0 ou 14	-2 ou 12
Incineration et production de chaleur qui se substitue à du gaz	7	6	13
Incineration et production de chaleur qui se substitue à du fuel	7	10	17

Ces tableaux confirment à quel point la production de chaleur est intéressante à condition qu'elle trouve un utilisateur. La banalité de cette constatation ne doit pas dissuader de tout faire pour rapprocher production et usage de la chaleur. Certains exemples et aussi des « occasions manquées » instructives peuvent montrer des voies.

2.2- Quelques exemples d'utilisation de la chaleur

2.2.1- Le cas de l'aéroport de Roissy

Un aéroport est un gros consommateur de chaleur. Celui de Roissy est équipé d'une centrale qui produit 184 MW thermique et 21 MW électrique. Or les besoins de chaleur continuant d'augmenter, il a été décidé de construire une nouvelle centrale d'une puissance de 30 MW thermique. Par ailleurs, l'aéroport génère 10 000 T par an de DIB combustibles ou fermentescibles qui sont aujourd'hui mis en décharge.

Dans le cadre du plan départemental d'élimination des déchets, une réflexion a été menée avec le Sycotom qui avait la perspective de construire une usine d'incinération à Tremblay, juste au sud de

Roissy : l'aéroport pouvait utiliser la chaleur puisque les lieux d'utilisation étaient à moins de cinq kilomètres de l'unité d'incinération ; d'autre part l'aéroport aurait fait brûler ses DIB dans l'unité du Sycotom. La quantité de chaleur qui aurait ainsi trouvé un débouché était importante puisqu'une puissance de 30 MW thermique correspond à l'incinération de 130 000 tonnes de déchets urbains.

Pourtant Aéroports de Paris a décidé de s'équiper avec une centrale thermique au gaz. Pour expliquer cette décision il est avancé que la décision du Sycotom n'est pas intervenue à temps, que le coût de la conduite de vapeur est paru excessif, que les propositions de Gaz de France étaient fort attractives, que Aéroports de Paris a jugé préférable d'être autonome car il ne peut courir le risque de manquer d'énergie. Le dossier de consultation des entreprises a été réalisé et, normalement, un marché doit être passé durant l'été 2000.

Il se peut qu'une seule des raisons avancées pour expliquer ce choix soit la bonne, les autres étant appelées en appui. Il est intéressant de les considérer toutes néanmoins : un motif technico-économique, un motif qui relève de la politique commerciale d'une entreprise et deux motifs d'ordre politique : mode de décision, sécurité.

La question des délais ne m'a pas été présentée comme prohibitive. La tradition d'Aéroports de Paris n'est pas à la coopération, mais plutôt à l'autosuffisance ; c'est peut-être la principale raison. Elle aurait pu être surmontée si les autres motifs avancés avaient trouvé une réponse. Or il est facile de montrer que la simple prise en considération de l'impact sur l'effet de serre de la substitution de cette énergie à du gaz s'évalue à 6 MF par an avec un carbone à 500 F/T et 12 MF par an avec un carbone à 1000 F/T, ce qui paie largement une conduite de cinq kilomètres même si cinq cents mètres passent sous les pistes (compter normalement 10 000 F par mètre et 20 000 F par mètre sous les pistes, soit en tout moins de 60 millions). Aéroports de Paris aurait pu légitimement se voir offrir cette conduite et, surtout, trouver là une nouvelle occasion de démontrer son souci de l'environnement.

Quoi qu'il en soit, on a le sentiment d'une occasion manquée.

2.2.2- Incinération et réseau de chaleur d'une ville moyenne -cas indiqué par l'ADEME

Il y a quelques années, un district a décidé de s'équiper d'une unité d'incinération avec récupération de la chaleur. Parallèlement la ville principale de ce district devait renouveler sa chaudière pour le chauffage urbain. La distance entre la chaudière et l'unité d'incinération est de cinq cents mètres. Or le président du district et le maire n'ont pas pu s'entendre. On peut imaginer que les raisons ne sont ni techniques ni économiques.

2.2.3- L'utilisation du biogaz de décharge pour sécher du fourrage

Une décharge à Changé près de Laval reçoit 500 000 T/an de déchets municipaux et de DIB. Elle fut une des premières à être équipées pour collecter le biogaz, dès 1986. Ce biogaz, dans un premier temps était brûlé à la torchère. Puis il a servi à alimenter un moteur qui produisait de l'électricité. Depuis quelques années, en été, il est brûlé dans un four de séchage de luzerne. Un usage de la chaleur pendant l'été : la chose mérite d'être signalée.

Pour le président de la Codema, coopérative agricole de la Mayenne, ce fut toute une aventure de convaincre ses collègues. Pourtant, certains d'entre eux dépensaient beaucoup pour acheter du fourrage séché en Champagne. Peu à peu, les avantages du séchage de la luzerne apparaissent et s'ajoutent. Une étape importante fut franchie lorsque les vaches, mises en situation de choisir, ont préféré aux « bouchons » de Champagne la production locale. On s'est alors rendu compte qu'il est possible de couper la luzerne non plus en fonction du temps qu'il fait (ou qu'il va peut-être faire), mais en fonction de la pousse de la luzerne, que la culture de luzerne, remplaçant le maïs, couvre le sol toute l'année (alors que le maïs laisse un sol nu pendant l'hiver), ce qui limite le ravinement, que l'on peut diminuer les quantités d'engrais et de désherbant, que le lait des vaches contient moins de butyrique (marque de fermentation) que lorsqu'elles sont nourries de fourrage ensilé, et qu'il contient

moins de matière grasse, ce qui est favorable puisque les quotas laitiers sont exprimés en matière grasse.

Après quelques années difficiles, les adhésions à la coopératives affluent : 230 adhérents aujourd'hui pour 600 hectares de luzerne souscrits et 6000 vaches.

D'autres projets se font jour : les CTE, contrats territoriaux d'exploitation, exigent que les bords de rivière soient traités en prairie (pour limiter la pollution de l'eau). Le fétuque y pousse bien, mais il doit être séché pour que les bêtes l'acceptent. Déjà il manque de biogaz. Faudra-t-il méthaniser des déchets agricoles ? Bien des adhérents de cette coopérative voient également l'intérêt d'épandre du compost sur des terres qui manquent de matière organique.

2.2.4- Biogaz de décharge et fabrique de tuiles à quelques kilomètres de là

La décharge d'une ville moyenne est équipée pour récupérer le biogaz. Aujourd'hui, ce biogaz est transformé en électricité à l'aide d'un moteur à explosion. Or à quelques kilomètres, se trouve une fabrique de tuiles. Le projet avait été caressé de porter le biogaz jusqu'à l'usine. Il m'a été expliqué que ce projet avait très vite achoppé sur la difficulté de faire passer le tuyau à travers des propriétés privées. Or, au point de vue économique comme du point de vue général, l'utilisation comme chaleur dans un processus industriel est infiniment plus intéressante que la production d'électricité.

2.2.5-Un projet de l'agriculture en Bretagne

A vingt kilomètres au nord de Brest se prépare un projet remarquable. Les responsables de cette région se rendent compte qu'ils doivent s'engager dans une démarche nouvelle pour concilier une agriculture aujourd'hui très polluante (l'élevage de porcs en particulier), le tourisme et l'ostréiculture. Après une longue phase de maturation, leur projet est prêt et devrait devenir opérationnel dans deux ans. L'objectif est de traiter 100 000 tonnes par an de déchets fermentescibles (lisiers, déchets de l'industrie agro-alimentaire, résidus végétaux) pour en faire du compost de qualité et du biogaz et pour éliminer l'excédent d'azote. Cet azote sera partiellement exporté dans le compost et partiellement évacué dans l'atmosphère après une opération de nitrification-dénitrification. Quant au biogaz il servira à faire l'électricité autoconsommée et sera vendu à des agriculteurs ou des industriels voisins. Certaines utilisations sont déjà trouvées : le séchage de bois exotique, le traitement des algues pour en extraire de l'alginate ; d'autres sont en perspective, comme le chauffage de serres.

Le budget prévu est de 20 MF par an, charges d'investissement et fonctionnement compris (pour moitié chacun). Il sera financé par ceux qui apportent leurs déchets, par la vente de compost et, à hauteur de 13 %, par la vente d'énergie.

La production de biogaz sera de 35 m³ par tonne de substrat (dont la teneur en matière sèche est de 10 % - contre 30 ou 35% pour les déchets urbains) soit 3,5 millions de mètre cubes.

2.3- Pour que l'énergie soit récupérée

L'Etat est fondé à intervenir pour au moins deux sortes de motifs : réunir les conditions pour que les solutions économiquement les plus intéressantes soient effectivement mises en œuvre ; faire en sorte que les décideurs prennent en compte les effets externes – sans oublier son rôle général de gardien de la sécurité et de la santé publiques.

Le premier motif pourrait paraître déplacé dans un monde où règne la libre initiative ; les données chiffrées et les exemples ci-dessus montrent qu'il n'en est rien. Si des opérations intéressantes économiquement ne se font pas, c'est qu'elles se heurtent à divers obstacles que l'intervention de l'Etat peut lever ou qu'elle peut aider à passer.

L'énergie issue du traitement des déchets se présente sous la forme de chaleur des fumées ou de biogaz. Celui-ci, qu'il soit « fatal » lorsqu'il est produit par une décharge ou « choisi » lorsqu'il est produit par un méthaniseur, demande des mesures spécifiques. Il peut servir à produire en

« cogénération » de l'électricité avec des moteurs à explosion commandée dont la chaleur des fumées d'échappement peut être récupérée ; il peut être brûlé dans des chaudières, il peut être purifié pour être introduit dans les réseaux de distribution publique, il peut aussi, après purification, être utilisé comme carburant.

Ce dernier usage, s'il trouve de l'intérêt, le doit au régime fiscal applicable à l'utilisation de gaz comme carburant et non au fait qu'il s'agit d'un produit issu du traitement des déchets ; si en effet l'on s'en tient à un raisonnement sur l'utilisation de l'énergie issue du traitement des déchets, l'utilisation du biogaz comme carburant ne présente pas d'intérêt. Je n'en parlerai donc pas davantage.

2.3.1- Pour que l'énergie soit récupérée sous la forme d'électricité

Le contrat proposé par EDF aux unités d'incinération

La production d'électricité à partir de déchets des ménages et assimilés représente aujourd'hui une puissance d'environ 155 MW. Or 3 millions de tonnes d'ordures ménagères sont brûlées sans récupération d'énergie. Si les unités qui les incinèrent étaient équipées, elles auraient une puissance de 200 MW. L'enveloppe maximale de la production d'électricité calculée au chapitre 1, soit 1000 MW, ne sera certes pas atteinte, mais les marges de progression sont importantes.

Il faut pour cela des conditions de vente d'électricité encourageantes, c'est à dire non seulement un niveau de prix suffisant mais une stabilité de ces prix. Tel est l'objet du contrat proposé par EDF et approuvé par le secrétaire d'Etat à l'industrie le 18 mai 1999 pour la reprise d'électricité provenant de la chaleur des unités d'incinération d'ordures ménagères.

Ce contrat prévoit deux prix seulement, un prix d'hiver et un prix d'été. La durée du contrat est de quinze ans et les prix sont indexés. Le niveau moyen des prix du KWh est de 28 cme en Francs 98 pour un raccordement en HTA et de 26 cme pour un raccordement en HTB ; en moyenne 29 cme aujourd'hui.

Ce prix est supérieur au "coût de développement" d'EDF mais cela se justifie du point de vue de l'effet de serre si cette électricité remplace de l'électricité faite à partir d'énergie fossile.

Un an après, ce contrat donne satisfaction aux gestionnaires des stations d'incinération ; des discussions sont engagées pour que sa portée soit étendue à l'électricité produite avec du biogaz. La nouvelle loi sur l'électricité dit qu'il pourra être fait obligation à EDF d'acheter de l'électricité produite à partir de déchets à un prix qui sera fixé par le gouvernement. Il suffit ici de recommander que les nouvelles dispositions prennent en compte l'effet de serre, mais sans que cela n'ait pour effet de dissuader les exploitants de rechercher une meilleure utilisation de la chaleur.

La production d'électricité à partir de biogaz

Une récente action en faveur du biogaz des décharges

Pour connaître les prix de production de l'électricité à partir du biogaz des décharges, le ministère de l'industrie avait recommandé à EDF de faire un appel à propositions pour la production d'électricité à partir du biogaz produit par les décharges, ce qui fut fait pour une capacité totale de 10 MW. Des propositions ont été reçues pour 40 MW. Bien que le jury ait eu le sentiment que les propositions reçues n'étaient sans doute pas les meilleures possibles, l'appel à proposition n'a pas été jugé infructueux et quatre propositions ont été retenues pour un prix de vente de 34 cme par KWh.

Pour un dispositif durable

EDF n'a pas l'intention de renouveler une telle procédure. Je ne discuterai pas ici les avantages et inconvénients de cette procédure d'appels d'offres, largement pratiquée en Grande-Bretagne. Si EDF ne renouvelle pas d'appel d'offres, il devrait proposer d'étendre à l'électricité produite à partir de biogaz le contrat applicable à l'électricité produite à partir des usines d'incinération.

2.3.2- Pour que l'énergie soit récupérée sous la forme de chaleur

Contrairement à la production d'électricité, il n'existe aucun dispositif public systématique en faveur de l'utilisation directe de la chaleur issue du traitement des déchets alors que même celle-ci aura *certainement* une incidence favorable sur l'effet de serre. Or on a vu combien il importe de rechercher une utilisation directe à la chaleur produite par les stations d'incinération ou par le biogaz des unités de méthanisation. Les obstacles qui empêchent l'utilisation comme chaleur ne sont pas économiques - ce qui n'empêche qu'ils peuvent être levés par une intervention économique, justifiée par les effets externes.

2.3.2.1- Trouver et susciter des débouchés locaux pour la chaleur

L'avantage de l'utilisation locale de la chaleur est tel que l'on peut deviner que les raisons qui empêchent de trouver une telle utilisation ne sont pas d'ordre économique.

Cette utilisation locale sera trouvée grâce à *des plans d'aménagement d'ensemble*, comprenant le traitement des ordures ménagères, l'urbanisation avec des réseaux de chaleur, l'aménagement de zones d'activité, l'implantation de collectivités comme des maisons de retraite, des hôpitaux, l'équipement des bâtiments publics, écoles, immeubles municipaux, gymnases etc. On pourra installer les unités de traitement près des installations qui utiliseront la chaleur ou au contraire susciter, près des unités de traitement, de nouvelles installations pouvant utiliser la chaleur : des serres, des unités de séchage de fourrage etc.

Il sera plus facile de trouver des débouchés locaux si les décisions relatives à la gestion des déchets et à l'urbanisme sont prises de façon coordonnée. Le découpage des responsabilités de gestion entre déchets d'une part, urbanisme ou développement économique d'autre part ne le facilite pas, surtout lorsque ces responsabilités sont confiées à des organismes concurrents ou à des établissements de coopération intercommunale qui n'ont pas les mêmes périmètres.

Pour lever les obstacles non économiques, il est possible d'utiliser des moyens économiques. En l'espèce, ce serait tout à fait justifié par l'avantage que présente, du point de vue de l'effet de serre, l'utilisation directe de la chaleur.

2.3.2.2- Les réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur offrent à la chaleur des ordures ménagères sa meilleure utilisation surtout si la chaleur est utilisée toute l'année.

Le chapitre 7 du rapport d'évaluation de la politique d'économie d'énergie du Commissariat général du Plan est consacré aux réseaux de chaleur. Il montre l'intérêt de ces réseaux comme utilisateurs de la chaleur "fatale" procurée par le traitement des déchets. Il remarque pourtant que la consommation domestique de chaleur est alors très supérieure à celle des chauffages individuels. La cause en est connue : le plus souvent les frais de chauffage collectif sont "péréqués" ; la consommation rejoindra donc le niveau de celle des chauffages individuels quand chacun pourra régler son chauffage et devra payer ce qu'il a dépensé, ce qui est techniquement possible.

Un handicap fiscal à lever

Le taux de TVA sur les abonnements au gaz ou à l'électricité est le taux réduit ; par contre le taux de TVA des réseaux de chaleur est le taux normal. Le ministre de l'Economie, saisi de cette distorsion qui *pénalise les réseaux de chaleur*, a répondu qu'abaisser le taux de TVA des réseaux de chaleur serait contraire à une directive européenne qui limite les cas où la TVA peut être à taux réduit et qui mentionne le gaz et l'électricité et non les réseaux de chaleur. Or il semblerait que cela vienne d'une erreur de rédaction. Comme le réseau de chaleur est certainement le meilleur usage que l'on puisse faire de l'énergie en provenance des ordures ménagères, il serait indiqué d'abaisser le taux de TVA qui leur est applicable. Pour cela il faut faire une démarche officielle pour modifier la directive - ou procéder comme les Britanniques qui ont adopté le taux réduit pour toutes les énergies domestiques, sans avoir soulevé d'objections, apparemment, de la Commission. Il se peut en définitive que la

distorsion entre réseaux de chaleur et chauffage individuel soit levée si les abonnements au gaz et à l'électricité sont assujettis à nouveau au taux plein.

2.3.2.3- Planter les unités de traitement de déchets près de zones de consommation

Aujourd'hui, il apparaît difficile d'installer des unités d'incinération ou de méthanisation en zone urbaine. Pourtant, la visite du méthaniseur de Fribourg en Allemagne montre que c'est possible : il a été implanté en bordure d'un hypermarché et, après sa mise en service, un restaurant s'est implanté à proximité immédiate. Quant aux unités d'incinération, la seule émission qui, semble-t-il, soit gênante est celle d'un panache de vapeur condensée, gêne que l'on peut diminuer par un traitement à sec des fumées, ou par un réchauffement des vapeurs (comme à Monaco où l'usine d'incinération est en pleine ville, bien sûr - mais ce qui coûte cher) ou par une campagne d'information pour montrer que ce panache est tout à fait inoffensif. Si l'on peut ajouter que la chaleur produite permet d'avoir un chauffage meilleur marché qui, de plus, diminue les émissions de gaz à effet de serre, ou encore a permis l'implantation d'activités génératrices d'emploi, ces unités pourraient être plus volontiers acceptées.

Une autre solution, envisagée plus haut, est d'installer une très grosse unité d'incinération près d'un gros centre de consommation de chaleur, par exemple un aéroport, même si cela oblige à transporter les déchets sur des dizaines de kilomètres.

En réalité, il n'y a pas de solution meilleure qu'une autre : chaque cas doit être étudié spécifiquement.

2.3.2.4- Pour "internaliser" l'incidence favorable sur l'effet de serre, subventionner l'investissement lié à l'utilisation de la chaleur

Contrairement à la production d'électricité, il n'existe pas de dispositif pour internaliser l'intérêt de l'usage direct de la chaleur : de 3 à 10 cme par KWh thermique selon que la chaleur remplace du gaz ou du fioul et selon que le carbone est estimé à 500 ou 1000 F/T.

Une façon simple serait de subventionner les investissements liés *à l'utilisation* de la chaleur : une conduite de vapeur ou de biogaz, une chaudière de biogaz, les investissements de purification de biogaz etc. Le montant de la subvention serait égal à dix fois l'avantage externe annuel.

Les sommes atteintes pourraient être importantes : 10 cme par KWh pour la chaleur produite par une UIOM de 100 000 T/an, qui produit 1700 KWh thermiques par tonne représentent 17 MF par an, dont la valeur totale actualisée est de l'ordre de 170 MF. Voilà de quoi, sans doute, convaincre des utilisateurs d'investir pour recevoir la chaleur. De même, pour 10 000 T/an de déchets fermentescibles, une production de 0,7 million de mètres cubes de méthane par an (produit qui, bien sûr, va remplacer du gaz, ce qui génère un « effet externe » de 5 cme par thermie pour un carbone à 1000 F/T), procure un avantage de 350 000 F par an, correspondant à une valeur actualisée de 3,5 MF environ : tel est le montant de la subvention équivalente, pour un investissement qui coûtera, par référence à celui de Montech, de l'ordre de 10 MF : ainsi une subvention de 35 % du montant de l'investissement de purification est équivalente à la prise en compte de l'effet de serre.

La subvention à l'investissement est une procédure simple ; elle est tout à fait satisfaisante si l'investissement suffit à assurer la pérennité du débouché, ce qui est le cas si l'utilisateur est une institution peu soumise aux aléas de la vie économique. Par contre, lorsque l'utilisateur est une entreprise, il vaut sans doute mieux intervenir *sur le coût de fonctionnement* (ce qui n'exclut pas une subvention qui, alors, serait moindre) ; par exemple l'intervention publique pourrait financer les coûts de fonctionnement spécifiques à l'utilisation de biogaz : la sécurité d'approvisionnement d'une part, la maintenance des équipements de l'autre.

2.3.2.5- Le biogaz face à la concurrence des tarifs à souscription de Gaz de France.

Gaz de France a adopté une grille tarifaire qui correspond aux dépenses qu'il engage pour desservir ses clients : une dépense fixe pour installer une conduite correspondant au débit maximum souscrit, et une dépense correspondant à la quantité de gaz livrée effectivement. Si un industriel envisage d'utiliser à la fois ou successivement du biogaz et du gaz naturel il pourra souscrire un abonnement à GDF correspondant aux quantités qu'il achètera. S'il n'est pas sûr de l'approvisionnement en biogaz (il s'agit d'une technique encore nouvelle et cette source de gaz, comme toute source de production isolée, présente plus d'incertitude qu'un approvisionnement par un réseau), il voudra obtenir de GDF la possibilité d'un approvisionnement correspondant à l'ensemble de ses besoins. Dans ces conditions, ne faisant pas d'économie sur la partie fixe du tarif de Gaz de France, il comparera le prix du biogaz à la partie *variable* du tarif de Gaz de France. Cette comparaison pénalise la source d'approvisionnement biogaz.

Or il apparaît que cette pénalisation vient de *l'incertitude* de l'approvisionnement ; en effet, si cet approvisionnement était sûr, l'industriel n'aurait pas à souscrire au-delà de ce qu'il achète normalement à GDF.

Pour pallier à une défaillance de l'approvisionnement en biogaz, il n'est pas nécessaire de souscrire pour une quantité plus grande : il est possible aussi de courir le risque d'avoir à payer un complément de prime égale à quatre fois le prix proportionnel pour la partie qui dépasse 1,05% des quantités souscrites. L'utilisateur court donc le risque d'avoir à payer cette surprime.

Comme il s'agit d'un risque, une façon d'y répondre pourrait être une formule *d'assurance ou de mutualisation*. Il serait intéressant que Gaz de France prolonge l'analyse dans ce sens. Le gestionnaire de l'unité de traitement des ordures ménagères pourrait de son côté souscrire une assurance qui rembourse à son client le complément de prime en cas de défaillance de l'approvisionnement en biogaz - sauf à trouver une formule plus favorable en négociant avec GDF, qui semble prêt à ne pas faire obstacle à l'utilisation du biogaz comme source de chaleur.

2.3.2.6- Pour transporter le biogaz, un régime juridique adapté

La méthanisation présente l'avantage que la "chaleur" se présente sous la forme de biogaz, un produit qu'il est plus facile à transporter que de la vapeur. Il pourrait donc se créer des réseaux locaux de biogaz, sur quelques kilomètres. Le régime juridique de ces réseaux doit être déterminé de façon formelle.

Bien qu'il s'agisse de gaz combustible, la solution préférable est de *le soumettre au régime des produits chimiques*. Techniquement, cela se justifie par le fait que le biogaz, parfois chargé d'oxygène et d'éléments qui le rendent très corrosif et toxique, présente des caractéristiques que n'a pas le "gaz combustible" qu'est le gaz naturel. Et cette façon de considérer le biogaz présente des commodités pratiques.

En effet, le régime juridique des produits chimiques, créé par la loi du 29 juin 1965, présente une souplesse que n'ont pas les régimes applicables aux autres canalisations. Des canalisations peuvent être déclarées d'intérêt général ou, sinon, d'intérêt privé. Comme le produit est dangereux, les canalisations d'intérêt privé doivent respecter les prescriptions techniques fixées par un arrêté préfectoral ; elles doivent être posées sur des terrains privés dont le propriétaire a accepté des servitudes de passage. Pour passer sur le domaine public et pour pouvoir obtenir les servitudes officielles sans l'accord des propriétaires, la canalisation peut être déclarée d'intérêt général. La procédure est relativement simple : un décret sur avis conforme du Conseil d'Etat *sans enquête publique*, sinon un avis au Journal officiel. La déclaration d'intérêt général donne la possibilité d'obtenir des servitudes, après une enquête parcellaire, sans DUP – déclaration d'utilité publique.

2.3.3- Pour que l'énergie soit récupérée sous la forme de gaz à injecter dans le réseau public

Si l'utilisation sous forme de chaleur tout au long de l'année n'est pas possible, d'un point de vue économique, l'injection de gaz épuré dans le réseau est la meilleure utilisation du biogaz issu des

méthaniseurs. La raison en est simple : le gaz est une des rares formes d'énergie à la fois transportables et stockables.

2.3.3.1- Préserver la sécurité et la santé publiques : une responsabilité de l'Etat

Comme le biogaz est toxique et corrosif, il ne pourra être introduit dans les réseaux de distribution publique que s'il est suffisamment purifié. La question est posée à Gaz de France et à l'administration depuis trois ans en ce qui concerne le *biogaz de la décharge* de Montech près de Montauban. Une entreprise a contracté avec GSO pour lui livrer un gaz purifié ; GSO a effectivement signé le contrat, mais celui-ci indique qu'il n'est applicable que sous réserve de l'accord des clients de GSO, c'est à dire essentiellement GDF. Or celui-ci n'a toujours pas donné son accord.

En septembre 1999, je faisais remarquer qu'il appartient à l'Etat, et non à Gaz de France, de fixer les normes relatives à la santé et à la sécurité publiques. Je proposais donc que soit saisi le Conseil supérieur d'Hygiène publique de France. Depuis, Gaz de France a déclaré qu'il se conformerait à l'avis de l'administration. Le CSHPF a été saisi par la DIGEC et s'est réuni à deux reprises sur le sujet. Il a rendu un avis négatif.

Deux sortes de questions se posent : quelle est la teneur maximum admissible de produits chlorés, de métaux lourds ou d'autres corps susceptibles d'être toxiques ou corrosifs ? Comment procéder pour être sûr que ces teneurs ne seront pas dépassées : quel est la fréquence des mesures, quelles dispositions prendre en amont du processus de production etc. ?

Pour y répondre, on est amené à distinguer le cas des décharges et celui des méthaniseurs.

Distinguer le biogaz des décharges et celui des méthaniseurs

Le CSHPF constate que le gaz de décharges contient toutes sortes d'impuretés dont on ne connaît pas les risques qu'ils présentent aux teneurs observées et dont il est impossible de prévoir les teneurs puisque l'on ne sait pas grand chose de la dynamique des décharges et que l'on ne sait pas non plus ce qui y a été déposé depuis des décennies. Même si la teneur du gaz purifié est aujourd'hui inférieure à un plafond calculé en supposant que les impuretés résiduelles se transforment toutes en corps des plus toxiques, le CSHPF se demande à quel rythme il faudra faire les mesures pour être sûr que les plafonds ne seront pas dépassés. Ces questions sont évidemment pertinentes. Il s'agit donc aujourd'hui de décider, compte tenu du niveau de pureté auquel l'entreprise est parvenue, à quel rythme contrôler la qualité du gaz. En même temps, pour mieux cerner le risque présenté par ce produit, il faudra étudier comment les impuretés contenues dans le biogaz purifié se transforment effectivement en cours de combustion.

Par ailleurs Gaz de France devra vérifier que le biogaz ne causera pas de corrosion dommageable.

Aujourd'hui, les motifs avancés par le CSHPF concernent surtout les décharges et semblent montrer qu'il ne verra pas d'obstacle à l'introduction dans le réseau de biogaz issu de la fermentation des fractions fermentescibles des ordures ménagères. D'ailleurs si quelques pays acceptent l'injection dans le réseau public de gaz de biogaz purifié issu des décharges (comme la Hollande), ils sont plus nombreux à limiter cette possibilité au biogaz provenant de la méthanisation de fractions fermentescibles et de déchets verts (la Suisse, l'Allemagne). Il convient donc d'interroger à nouveau le CSHPF sur ce cas. Supposons donc que cette injection soit possible d'un point de vue technique et sanitaire.

2.3.3.2- Faut-il créer une obligation d'achat de gaz issu de la fermentation des déchets ?

Il paraît difficile de demander aux producteurs ou aux importateurs de gaz de prendre en charge un surcoût au motif que ce gaz a été produit à partir d'ordures ménagères. Certes la loi l'a prévu pour l'électricité ; mais le gaz, contrairement à l'électricité, est en concurrence directe pour la plupart de ses

usages avec d'autres sources d'énergie. Il ne serait pas juste de faire supporter par ses utilisateurs des charges d'intérêt général que ne supporteraient pas les consommateurs d'autres formes d'énergie.

Si l'Etat internalise d'une façon ou de l'autre, par exemple avec une subvention accordée à l'installation de purification du biogaz, tout ou partie de l'avantage que présente la réduction de l'effet de serre, à savoir 6 cme par KWh le producteur de gaz purifié et le distributeur de gaz (GDF ou un autre) sauront trouver un terrain d'entente d'autant plus que, si le méthaniseur est en zone urbaine, il se trouvera une conduite de transport ou de distribution à proximité.

En conséquence, il n'est sans doute pas utile de créer un fonds qui permette aux distributeurs d'acheter ce gaz à un prix supérieur au prix de marché. Par contre il est certainement très utile, voire nécessaire, de faire obligation aux distributeurs de gaz d'accepter le biogaz purifié s'il leur proposé au prix auquel ils achètent leur gaz et s'il respecte les règles de santé publique et de sécurité publique posées ou approuvées par l'administration.

3- La valorisation de co-produits de la production d'énergie mâchefer et composts

3.1- Les mâchefers

L'incinération produit une quantité importante de mâchefer, de l'ordre de 25 à 30 %. Celui-ci se présente sous la forme d'une boue grise gorgée de l'eau qui a éteint les produits imbrûlés à la sortie du four d'incinération. Laissé en l'état, il "prend" comme le ferait du ciment et devient un bloc très dur. Il peut être déposé en décharge de classe 2, considéré comme un "déchet ultime" ; il peut également être traité pour servir de matériau dans les travaux routiers. Le traitement consiste à le débarrasser des déchets métalliques, à le stabiliser et à faire en sorte que les impuretés toxiques qu'il contient en traces, surtout des métaux lourds, soient fixées dans le matériau. Récemment, la pratique courante était de mettre tout les mâchefer en décharge - ce qui explique qu'il ne soit pas considéré comme une des formes possibles de "valorisation" - mais les installations modernes produisent un mâchefer qui peut être employé, moyennant un traitement qui coûte de l'ordre de 100 F/T (soit 30F/ tonne de déchet incinéré), alors que la mise en décharge coûte deux ou trois fois plus. Cette évolution a été rendue possible par *un important travail de qualification* du produit pouvant entrer dans les travaux publics. Connaissant les spécifications requises, il est possible de faire en sorte de les atteindre. Une incertitude se fait jour due à la présence des toxiques dans le mâchefer : est-on formellement sûr qu'ils seront à jamais fixés ou ne risquent-ils pas de migrer dans le sol ? On voit ici aussi l'intérêt que présenterait une collecte à la source, c'est à dire au porte à porte de tous les déchets toxiques des ménages.

3.2- Le compost de méthanisation

3.2.1- La situation des composts de méthanisation

La situation des composts de méthanisation est l'inverse de celle des mâchefers : la pratique de l'épandage de compost issu des déchets ménagers est sans doute aussi vieille que l'agriculture mais elle subit aujourd'hui une crise de grande ampleur et traverse une "ère du soupçon" où l'on voit des réactions plus passionnelles que rationnelles.

Ce n'est pas étonnant tellement est grande notre ignorance sur la composition des produits contenus dans les composts d'ordures ménagères, la façon dont ils se comportent dans le sol, leur éventuelle toxicité compte tenu de possibles phénomènes d'accumulation que nous ignorons également et dont nous ignorons les effets. Faute d'informations et de données reflétant la réalité, l'opinion donne tout à coup une grande importance à certains paramètres et à certains effets qui peuvent à première vue surprendre ; mais les effets de cet emballement ne sont certes pas négligeables si le consommateur se détourne de produits agricoles cultivés sur des terres qui ont reçu des composts provenant de déchets urbains. Il est normal que les industries agro-alimentaires soient très attentives au souhait de leur clientèle et que cela se répercute sur les pratiques agricoles.

La petite histoire des vignobles de Champagne et de l'unité d'Amiens

L'unité de méthanisation d'Amiens reçoit des ordures brutes et les trie mécaniquement pour en éliminer les parties non fermentescibles, c'est à dire en particulier les métaux, le verre et le plastique. Comme la première étape du processus est de broyer les déchets, il est très difficile par la suite l'éliminer complètement verre et plastiques. Cela ne nuit en rien aux qualités du compost. Les viticulteurs de Champagne venaient le chercher à l'usine, supportant pour cela la charge du transport, de l'ordre de 100 F/T. Or il advint qu'un jour, dans le cadre d'une campagne promotionnelle tournée vers les Etats-Unis et le Japon, une de nos plus célèbres ambassadrices de charme visita ces vignobles en compagnie de possibles futurs acheteurs ; elle manifesta de l'étonnement devant les sillons teintés de bleu, s'enquit de la cause et montra son dégoût - peut-être même fit-elle la moue. Les petits bouts de sacs plastique bleu qui résistaient au tri de l'usine d'Amiens s'étaient accumulés en effet et, à force, ne pouvaient cacher qu'ils étaient bleus. Certes on aurait pu, en réponse, faire en sorte que les sacs plastiques qui emballent les ordures ne soient plus bleus mais couleur terre. Le mal était plus profond. Depuis, les vigneron de Champagne n'enlèvent plus une tonne de l'usine d'Amiens, les producteurs de petits pois et autres légumes en conserve ou surgelés ont adopté la même attitude à l'égard des composts issus de déchets des ménages, les viticulteurs du bordelais s'apprentent à faire de même. "Le nez de Cléopâtre..."

En réalité, cette affaire dépasse l'anecdote, non seulement par l'ampleur de ses conséquences mais aussi parce que la couleur bleue peu à peu apparue est le signe d'un phénomène mal connu, celui de l'accumulation des quantités à très faibles flux d'entrée. Si le plastique s'accumule et, à la longue, se montre alors qu'il était invisible, il peut en être de même d'autres produits dont nous ressentirons un jour, trop tard, les effets.

Pourtant, toutes les installations qui font du compost, de façon aérobie ou anaérobie, à partir d'ordures brutes triées sur le site, comme à Amiens ou dans l'Essonne, ou à partir de déchets verts et de déchets triés à la source, trouvent à écouler leurs produits dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres auprès des communes pour leurs espaces verts ou des particuliers, auprès d'agriculteurs également.

L'ADEME estime qu'à partir de déchets urbains, il est produit aujourd'hui

- 400 000 T d'amendement de haut de gamme, vendus 1500 F/T pour le maraîchage ou le jardinage
- 700 000 T de compost de végétaux consommés par les communes
- 1 million de tonne, en matière sèche, de boues urbaines à 10% de matière sèche
- 1,5 million de tonnes en matière sèche de boues industrielle
- 600 000 tonnes de compost brut.

Ces chiffres sont à comparer aux 280 millions de tonnes d'effluents agricoles épandus en pratique courante.

On sent chez les agriculteurs et leurs organisations représentatives deux dynamiques : des dynamiques locales, où les agriculteurs connaissent l'origine des produits, peuvent voir comment fonctionnent les installations de tri et se rendent compte des vertus agronomiques du compost qu'ils utilisent, et une dynamique centrale qui pressent l'évolution de la sensibilité publique, cherche même à l'anticiper pour éviter un discrédit très dommageable. Peut-être, également, les organisations professionnelles et certains gros agriculteurs tirent-ils parti de cette situation dans les rapports contractuels qu'ils nouent avec les gestionnaires d'unités de compostage ou de méthanisation.

En tous cas, le malaise est sérieux. Pour y répondre, le ministère de l'agriculture et le monde agricole ont engagé une démarche de fond sur plusieurs fronts.

3.2.2- Une démarche de fond sur plusieurs fronts

Logiquement, il serait recommandé d'avoir d'abord une bonne connaissance scientifique sur la façon dont le compost agit sur la croissance des plantes et sur le comportement des impuretés et des agents toxiques qu'il contient. Puis des normes réglementaires seraient fixées au titre de la sécurité et de la santé publique et au titre de la protection de l'environnement ; d'autres seraient relatives aux qualités d'usage du produit et serviraient de base aux transactions commerciales. Troisième étape logique : un lien serait établi entre les caractéristiques du compost et le processus de production : matières entrantes et mode de transformation. Puis seraient définis les paramètres critiques de production, c'est à dire ceux qui ont un effet sensible sur les caractéristiques utiles du produit. Enfin, une assurance

qualité permettrait aux partenaires du producteur de compost d'être suffisamment sûrs que ces paramètres sont régulièrement contrôlés et qu'en conséquence la qualité du produit est satisfaisante.

Cette démarche séquentielle prendrait beaucoup de temps ; en effet l'utilité même de réintroduire dans le sol de la matière organique, bien que très largement reconnue, ne fait pourtant pas l'unanimité puisque l'on ignore beaucoup du mode d'action du compost et que l'on ne sait rien du comportement des substances en trace dans le sol. Le ministère et la profession ont donc décidé d'agir sur tous les fronts en même temps. Des recherches sur l'efficacité du compost et le comportement des éléments qu'il contient sont engagées, des maximums sur les quantités introduites dans le sol ont été fixés, des normes à usage réglementaire ou professionnel sont en cours d'élaboration.

3.2.3- La recherche

Au moins trois recherches sont en cours sur les composts de produits issus de la transformations de déchets urbains. Une étude de l'INRA sur les toxicités métalliques induites par l'épandage de boues urbaines ou de produits dérivés (bio-digestats anaérobies et composts) fera une modélisation mécaniste des processus physiques, chimiques et biologiques. L'INRA met en place à Colmar une plate-forme nationale d'expérimentation de longue durée sur l'épandage de déchets urbains et agro-industriels (on note dans "l'exposé des motifs" : "la vitesse de minéralisation de l'azote du compost, dans le sol, reste une donnée mal connue", alors que la pollution par l'azote est un problème crucial du jour). Enfin une autre étude porte sur la "caractérisation de la valeur agronomique de composts et l'appréciation de leurs impacts environnementaux : variation avec la nature du compost".

Il serait utile que les deux dernières études soient *étendues aux produits issus de la méthanisation*. Les deux premières concernent les boues de stations d'épuration mais leurs enseignements seront très utiles aux composts de d'ordures ménagères.

3.2.4- La réglementation et la normalisation

La loi du 13 juillet 1979 modifiée par la loi du 9 juillet 1999 fixe les conditions de mise sur le marché des matières fertilisantes et des supports de culture. Celle-ci n'est possible que si le produit a reçu une homologation ou une autorisation provisoire délivrée par l'administration ou s'il entre dans une des catégories suivantes :

- il fait l'objet d'une épandage réglementé au titre de la pollution des eaux ou des établissements classés
- c'est un produit organique brut non traité, et livré par l'exploitant lui-même
- il est conforme à une norme rendue "obligatoire" au sens de l'acte dit Loi du 24 mai 1941.

C'est montrer l'importance des "normes" ; pourtant ces normes ne sont utiles que si elles reflètent un consensus et deviennent dépassées si la demande de la population, traduite dans les exigences commerciales, vont bien au delà de ce qu'elles prescrivent ; telle est la situation aujourd'hui.

Les normes existantes sont peu utiles

Les composts de déchets urbains sont concernés par les normes NFU 44-051 de décembre 1981 sur les amendements organiques et la NFU 44-551 de décembre 1974 sur les supports de culture : celle-ci contient une rubrique "terreau", qui contient des "matières organiques fermentées ou susceptibles de fermenter".

La norme sur les supports de culture se borne à donner quelques définitions (terreau, terre de bruyère etc.), quelques caractéristiques chimiques (pour le terreau, plus de 10% de matière organique en brut, 15% en matière sèche) et le rapport maximum matière organique sur azote organique (40) ; elle oblige aussi à donner certaines informations dont la rétention en eau.

La norme sur les amendements organiques est plus complète : elle comporte un type dit "compost urbain" : mélange de déchets solides d'origine principalement domestique ayant subi au cours de sa fabrication un échauffement naturel de la masse à une température de 60°C ou plus, pendant une durée au moins égale à quatre jours et précédé ou suivi de certaines

opérations mécaniques (triage, broyage, dilacération, déferrailage, tamisage etc.). Ce type est divisé en trois catégories : *a* : *compost urbain frais* (quatre jours de fermentation au moins), *b* : *demi-mûr* (fermentation thermophile suivie d'une maturation incomplète) et *c* : *mûr* (fermentation thermophile suivie d'une maturation). Le compost urbain est également classé en "très fin", "fin", "moyen" et "grossier" selon sa granulométrie (de 6,3 mm à 40 mm). Les caractéristiques retenues pour le spécifier sont les mêmes que celles des supports de culture mais avec des valeurs différentes : plus de 20 % en masse de matière organique sur matière brute notamment. De plus le fournisseur doit déclarer la présence ou l'absence d'éléments piquants ou coupants.

Ce rappel du contenu des normes montre à quel point les esprits ont évolué depuis qu'elles ont été établies. On n'y trouve rien, notamment, sur la toxicité des matières.

Une nouvelle norme en cours d'élaboration pour les boues

Un projet de norme est aujourd'hui très avancé sur les matières fertilisantes issues du traitement des eaux, MFITE. Ce projet incorpore des "critères d'innocuité dans les conditions d'emploi". Des maximums sont indiqués pour les flux annuels moyens sur dix ans d'éléments traces minéraux, de composés traces organiques et de pathogènes - par exemple 1000 g par ha et par an pour le cuivre, 15 pour le cadmium, 10 pour le mercure ; 1,2 mg par mètre carré sur la période de 10 ans pour le total de sept PCB. D'autre part, un grand nombre d'informations doit être donné par le fournisseur à l'utilisateur.

Ce consensus suffira-t-il à rétablir une confiance qui tend à s'éloigner ? Faute de données scientifiques, ce n'est pas sûr. C'est pourquoi, il est bon de se montrer très prudent comme l'ADEME le recommande aux communes. Mais cette prudence ne doit pas freiner la recherche et l'innovation pour diminuer les coûts de la gestion des déchets.

3.2.5- La politique de l'ADEME : ne composter que des déchets triés à la source

Les inquiétudes se portent surtout sur la présence de métaux lourds et de dérivés chlorés. Or ceux-ci proviennent des matières plastiques, des emballages, des papiers et surtout des DTQD, déchets toxiques en quantités dispersées, tels les piles électriques, les flacons de détergents etc. - beaucoup plus que des déchets verts et de ce qu'il est convenu d'appeler les "fractions fermentescibles des ordures ménagères" (FFOM), c'est à dire les déchets de cuisine et les reliefs de repas. Pourtant, rien n'est certain puisque les déchets verts des jardins de Paris sont assez chargés en plomb.

En tous cas l'ADEME a retenu comme ligne politique de recommander aux communes de ne faire de compost qu'avec des déchets verts et de la FFOM. Elle estime que *seul le tri à la source est efficace*, suivi d'un apport volontaire ou d'une collecte séparée au porte à porte de déchets verts et de la FFOM. Pour elle, l'extraction sur site des fractions fermentescibles *ne peut pas* empêcher le compost de contenir en quantité des impuretés qui empêcheront de restaurer l'image de ce produit.

Le exemples se multiplient de communes qui collectent les déchets verts et les déchets fermentescibles triés à la source : Niort, Bapaume, le district du Clermontois, le SICTOM de Rambouillet compostent des déchets verts et FFOM. La Communauté Urbaine de Lille a décidé de s'engager dans la même voie mais avec une méthanisation. Après le colloque de Lille de mai 2000, l'ADEME a publié une brochure présentant une vingtaine de réalisations (ces informations, qui paraissent un peu disparates, devraient être commentées).

3.2.6- Etudier aussi l'extraction sur site des parties fermentescibles

L'incertitude sur ce qui fait la qualité d'un compost et sur ce qui peut le rendre inapte à l'emploi est telle que ceux qui le produisent prennent parfois un luxe de précautions qui se traduit pas des coûts très élevés. Les techniques retenues pour le compostage peuvent s'avérer très onéreuses. Quant aux coûts réels de la collecte sélective de la FFOM des ordures ménagères, on se trouve aujourd'hui dans la plus grande incertitude. Par ailleurs, se limiter aux déchets verts et à la FFOM, c'est s'interdire de

méthaniser papiers et cartons qui non seulement peuvent produire du compost et du biogaz mais aussi sont un bon "structurant" qui facilite la méthanisation d'autres matières notamment les boues d'incinération. Enfin les seuls déchets verts et FFOM triés à la source n'atteindront pas toujours les volumes qui permettent de réduire les coûts de traitement.

Pour mettre la transformation biologique des parties fermentescibles des déchets au même niveau de prix que leur incinération deux voies sont ouvertes : *l'abaissement du coût de la collecte sélective des parties fermentescibles* et *l'extraction sur site des parties fermentescibles*.

Il se pourrait que le coût de collecte sélective de la partie fermentescible soient moins élevé que l'on pensait. Néanmoins, une telle collecte présentera toujours des inconvénients : dans les régions chaudes, se contentera-t-on d'une ou deux collectes par semaine ? N'y a-t-il pas des enjeux sanitaires ? La population ne préférerait-elle pas être dispensée d'une poubelle en plus ? C'est pourquoi, à l'image de ce qui se fait dans d'autres pays, notamment le Canada, il est certainement utile de mettre au point des techniques d'extraction sur site des parties fermentescibles.

Je n'ignore pas que des tentatives ont déjà été faites, dont l'expérience d'Amiens ; elles ne doivent pas geler les études sur le sujet. Au contraire, elles ont montré que certaines méthodes conduisent à des impasses comme de mettre un broyage en tête de processus : l'élimination des plastiques doit en effet se faire en amont, avant qu'ils ne soient dilacérés et il n'est même pas sûr qu'un broyage soit nécessaire en cours de processus. La nouvelle installation de Séville qui reçoit des ordures brutes devrait être suivie avec attention. De même, à Varennes Jarcy dans l'Essonne, le procédé de compostage aujourd'hui en exploitation, grâce à un cylindre BRS en tête de processus, permet d'extraire la plus grande partie des sacs plastiques ; la future installation de tri, qui sera beaucoup plus complète, mériterait à mon avis d'être considérée par l'ADEME comme une installation pilote.

3.2.7- Mettre en place une collecte efficace des DTQD

Les impuretés toxiques sont, pour la plupart, contenues dans les déchets toxiques en quantité dispersée, les DTQD, tels que les piles, les médicaments les flacons de détergents et d'autres produits chimiques. Il suffirait sans doute que les DTQD soient efficacement collectés pour que le compost soit largement accepté même après un tri sur site d'ordures mélangées. S'il en est ainsi, le coût de la collecte en sera considérablement diminué : l'effet sur le coût global du traitement se chiffre par centaines de francs à la tonne : pour valoriser au mieux la part organique des déchets ménagers, il faut mettre en place une collecte efficace des DTQD.

Il conviendrait donc de multiplier les actions de sensibilisation pour une collecte efficace des DTQD en apport volontaire ou au porte à porte et de financer des études pour mettre au point des techniques qui permettent, sur le site de traitement, de retirer ces DTQD du flux des déchets.

Au terme de cette étude, il me semble que l'on peut envisager parmi d'autres un schéma assez simple :

- les matériaux qui ne sont ni combustibles ni fermentescibles sont aisément recyclables : ce sont le verre, le fer et l'aluminium ; le verre est collecté après apport volontaire, les métaux sont collectés sur site par des procédés électriques ou magnétiques
- les matières fermentescibles sont méthanisées ; pour cela, elles sont collectées après apport volontaire (le papier, les déchets verts) ou en collecte au porte à porte séparée, à condition que le coût en soit maîtrisé
- les autres matières sont incinérées.

Le papier-carton sera méthanisé, recyclé ou incinéré en fonction du prix du marché et des capacités disponibles, sans oublier que du point de vue général, il vaut mieux le brûler ou le méthaniser en récupérant la chaleur que de le recycler.

Le coût total de traitement, déduction faite des recettes mais avant toute intervention extérieure (subventions de l'Etat, des collectivités locales ou d'Eco-emballage) sera alors rendu minimum – en particulier par les économies sur la collecte -, l'utilisation de l'énergie contenue aura été exploitée au mieux par la fermentation des parties organiques peu combustibles et par l'incinération des parties combustibles, répondant à la fois à l'objectif de valorisation matière fixé par la circulaire ministérielle d'avril 1998 et à un objectif de valorisation énergétique et tous les produits issus du traitement seront sains et sûrs.

Et l'on se rappellera que dans nos campagnes l'on a toujours vu devant les fermes le tas de fumier à côté du foyer où brûlent en permanence les déchets combustibles et non fermentescibles que l'on y jette et, dans les maisons, une réserve de « petits bouts de chiffon ne pouvant servir à rien ».

Additif – juillet 2001

Mais au fond ce schéma n'est pas pleinement satisfaisant. A toutes les étapes de cette étude nous avons achoppé sur les toxiques : le compost est mal accepté par les agriculteurs et les consommateurs ; le biogaz est refusé jusqu'ici pour des raisons sanitaires ; le mâchefer d'incinération lui-même fait l'objet depuis peu de soupçons comme matériau de terrassement.

Dans les ordures ménagères, ***les produits les plus gênants ne sont pas les emballages, ce sont les toxiques***. Plutôt que de s'épuiser à vouloir recycler à tous prix des matières combustibles ou fermentescibles contenues dans les ordures ménagères, ce qui, compte tenu des coûts, ne présente du point de vue général aucun intérêt, ne faudrait-il pas collecter les toxiques des ménages avant qu'ils ne soient encore plus dispersés ?

Et plutôt que d'organiser des collectes par type de produit, ne serait-il pas préférable de réunir tous les efforts pour collecter au porte à porte non seulement les piles et les médicaments, mais aussi les détergents, les produits phytosanitaires, les solvants, les encres et peintures et autres produits chimiques ? Alors, les matières fermentescibles pourraient être extraites en toute sécurité des ordures mélangées, non pas à domicile mais sur le site de traitement. De la sorte, sauf peut-être le verre qui pourrait toujours être apporté volontairement, il n'y aurait plus besoin que d'une seule poubelle dans les logements – avec un réceptacle pour tous les produits toxiques et leurs contenants.

Aux trois flux traditionnels, le retour au sol, la combustion et le recyclage, s'en ajouterait donc un quatrième vers des décharges spéciales, pour les produits chimiques que notre civilisation a multipliés.

Chapitre 7

Pour une meilleure utilisation de l'énergie des déchets, l'action de l'Etat : propositions

Les communes et leurs groupements sont responsables du traitement des ordures ménagères et des déchets communaux ; elles peuvent aussi prendre la charge de déchets des entreprises. En général, les entreprises sont elles-mêmes responsables de l'élimination de leurs déchets.

L'Etat a néanmoins de nombreux motifs pour agir et de puissants moyens d'intervention.

Plusieurs motifs et plusieurs moyens d'intervention

Plusieurs motifs...

- Au titre de la sécurité et de la santé des populations
- Pour amener les acteurs économiques et les collectivités locales à prendre en considération des "effets externes" au nombre desquels surtout l'effet de serre
- Pour que les ressorts de la démocratie locale jouent efficacement
- Pour que l'argent public, c'est à dire les sommes que la loi fait obligation aux citoyens de payer, soit utilisé le plus efficacement possible
- Pour que les règles de la concurrence soient respectées
- Pour faciliter la passation de contrats entre acteurs économiques, définir un langage commun
- le sens des mots

Les motifs sont donc nombreux, même s'il est difficile de parler d'un enjeu significatif sur les conditions d'approvisionnement du pays en énergie.

..... et divers moyens

- La négociation des règlements et directives communautaires
- Les instruments économiques que sont la fiscalité et les subventions financées sur le budget national
- La réglementation nationale pour fixer des règles quantitatives (teneurs maximales en polluants ...)
- Le pouvoir de fixer aux collectivités locales un cadre pour leur action, pour les relations qu'elles nouent entre elles ou entre elles et des acteurs économiques
- Le pouvoir de faire obligation aux producteurs de pourvoir à l'élimination des déchets que deviendront leurs produits
- Les orientations fixées par circulaire ; les instructions données aux préfets quant à l'approbation des schémas départementaux
- La possibilité de rendre des normes obligatoires ou de limiter les mises sur le marché
- La possibilité donnée par la loi sur l'électricité et, peut-être, par la loi sur le gaz de faire obligation aux gestionnaires de réseau de recevoir de l'électricité ou du gaz pour des motifs d'intérêt général à des conditions qu'il fixe.

Pour une meilleure utilisation du pouvoir énergétique des déchets, les observations faites dans ce rapport conduisent aux propositions suivantes.

Les propositions

Sauf les quatre dernières, les propositions qui suivent ont été présentées et argumentées dans le corps de cette étude.

1- Considérer également la "valorisation énergétique" et la "valorisation matière"

- 1.1- Afficher le principe d'égalité entre énergie et matière,
Fixer un objectif de valorisation globale en utilisant un indice synthétique de valorisation.

La loi de 1975 place ces deux types de valorisation sur un même niveau et, comme je l'ai longuement montré dans ce rapport notamment dans le chapitre sur le recyclage des déchets combustibles, je ne vois **aucune raison** de privilégier le recyclage à l'incinération ou la méthanisation avec récupération efficace de l'énergie. La seule raison pourrait être l'effet de serre ; or l'incidence du recyclage, par rapport à la combustion avec récupération de l'énergie, est nulle ou très faible pour le plastique et **négative** pour le papier.

Or certains textes ministériels ont pu laisser penser que la valorisation matière avait une certaine priorité. Le mode de calcul du taux de valorisation de l'ADEME semble donner une priorité à la valorisation matière puisqu'il considère de la même façon la "valorisation" résultant du compostage et celle résultant de la méthanisation alors que la seconde génère les mêmes quantités de matière et, **en plus**, produit de l'énergie.

Il y a une correspondance forte entre la mesure et l'objectif, au point que, souvent, la possibilité de mesurer guide le choix - parfois implicite - de l'objectif. D'où l'importance de disposer d'un indice synthétique de valorisation.

In fine je rappelle la formule d'un indice de valorisation qui prend en compte et la valorisation matière et la valorisation énergétique, tel qu'il a été présenté au chapitre 6. D'autres formules sont sans doute possibles.

- 1.2- Négocier un objectif communautaire de valorisation globale des déchets

Travailler avec les autres pays de la Communauté et avec la Commission pour abandonner les objectifs de recyclage par type de matière au profit d'un objectif global de valorisation des déchets.

- 1.3- Donner à Eco-emballage mandat d'intervenir **également** en faveur de l'utilisation efficace de l'énergie et en faveur de la valorisation matière.

Les subventions d'Eco-emballage devraient être données non plus au recyclage mais à la valorisation des emballages que ce soit sous la forme de recyclage ou de récupération efficace de l'énergie. Elles seront calculées en fonction des tonnages recyclés et de la quantité d'énergie effectivement utilisée (en tenant compte du pouvoir calorifique des matières). Les collectivités seront libres de choisir la destination des produits. Les contrats entre Eco-emballage et les collectivités prendront comme critère un indice synthétique de valorisation.

- 1.4- Fixer à Eco-emballage un objectif global de valorisation et abandonner tout objectif quantitatif de recyclage par produit.

Ces objectifs par produit conduisent à des décisions irrationnelles qui sont la cause de gaspillage et de distorsion de concurrence.

L'objectif global de valorisation des emballages pourrait s'appuyer sur un indice synthétique de valorisation des déchets d'emballage sous la forme de matériau ou d'énergie.

- 1.5- Appliquer le taux réduit de la TVA en fonction d'un indice synthétique de valorisation

De nombreuses communes s'engagent dans des voies très coûteuses de recyclage matière pour bénéficier du taux réduit de TVA sans que l'intérêt général en soit démontré. C'est un mauvais signal donné par l'Etat. Il faudrait le corriger en étendant le bénéfice du taux réduit à toute commune qui s'engage à atteindre ou dépasser un seuil de valorisation globale des déchets sous la forme de recyclage ou d'utilisation effective de l'énergie (70 sur 100 par exemple si l'on retient l'indice proposé dans ce rapport)

2- Préserver la sécurité et à la santé publiques

- 2.1- Fixer des règles sanitaires relatives au compost issu du traitement biologique des déchets

Il appartient à l'Etat de fixer les plafonds de substances toxiques admissibles dans le compost. Ces décisions sont en cours d'élaboration pour les boues de stations d'épuration ; elles devraient être étendues aux composts issus de la méthanisation des déchets ménagers et communaux.

- 2.2- Fixer des plafonds aux teneurs d'impuretés toxiques ou corrosives dans le biogaz épuré injecté dans les réseaux de distribution de gaz

Il appartient aussi à l'Etat de fixer les plafonds de teneurs d'impuretés toxiques ou corrosives ; cette décision est un préalable à l'injection de biogaz épuré dans les réseaux, opération qui présente de nombreux avantages puisque le gaz est une des rares formes d'énergie issue des déchets à la fois stockables et transportables.

3- Compenser par les instruments économiques l'incidence sur l'effet de serre

Une estimation de l'incidence sur l'effet de serre

La substitution d'une énergie en provenance des déchets à une énergie d'origine fossile a une incidence favorable sur l'effet de serre qui peut ainsi se chiffrer, pour un « carbone atmosphérique » à 500 F/T ou, en simplifiant : 500 F/ Tep si cette énergie est d'origine pétrolière, soit 5 cme par KWh thermique ou 15 à 20 cme par KWh électrique. L'incidence est nulle si l'énergie remplacée est d'origine nucléaire. En conséquence, si l'énergie remplacée est de l'électricité, il convient d'étudier si cette électricité est produite à partir de charbon ou d'énergie nucléaire. Tous ces chiffres sont doublés si l'estimation de la tonne de « carbone atmosphérique » est de 1000 F.

- Une obligation d'achat de l'électricité produite à partir de l'énergie des déchets

L'Etat a approuvé un contrat cadre proposé par EDF : celui-ci achète l'électricité produite par les unités d'incinération des ordures ménagères à des conditions qui équivalent à un prix de 30 cme/KWh alors que le coût de développement est de 23 cme/KWh (y compris une partie du coût de réseau). Cette différence de 7 cme par KWh électrique se justifie si l'on conclut que l'électricité remplacée est produite à partir d'énergie fossile. Un contrat identique devrait être proposé à l'électricité produite à partir du biogaz des décharges ou de méthaniseurs.

- 3.1- Instaurer une obligation d'achat de l'électricité produite à partir de la chaleur provenant des déchets (incinération ou biogaz) au coût « évité » - augmenté de l'incidence sur l'effet de serre, seulement si l'on admet que la chaleur des déchets remplace une énergie fossile.

- **Faciliter l'usage de la chaleur** produite par l'incinération ou contenue dans le biogaz de méthanisation, par une aide au fonctionnement ou une subvention à l'investissement.

La substitution de la chaleur issue des déchets à une énergie d'origine fossile est l'opération dont l'incidence sur l'effet de serre est le plus favorable : elle se chiffre à 500 F par Tep soit 3 ou 5 cme par KWh thermique selon qu'il s'agit de gaz ou de fuel pour un « carbone atmosphérique » à 500 F/T. A titre de comparaison, la valeur d'usage de la chaleur est généralement de l'ordre de 10 cme par KWh thermique. Or l'intervention publique en faveur de l'utilisation efficace de la chaleur est inexistante. Les efforts doivent donc converger pour développer l'usage de la chaleur. Contrairement à l'électricité, il n'existe pas de structure ou de processus spécifique pour prendre en charge une intervention publique représentative de l'avantage environnemental de l'utilisation de la chaleur des déchets. L'ADEME pourrait donc en être chargée.

Une subvention de fonctionnement.

Pour être sûr que des fonds publics ne seront versés que si l'énergie des déchets est effectivement utilisée, il vaut mieux que cette intervention prenne la forme d'une subvention de fonctionnement. Cette subvention pourra prendre plusieurs formes : une baisse du coût ou une assurance contre le risque de non livraison de la chaleur ou du biogaz.

3.2- participer au financement d'une assurance contre le risque de non livraison de biogaz

Le prix de vente du biogaz comme source de chaleur souffre du fait que l'utilisateur, ayant moins confiance dans cette source d'énergie que dans l'approvisionnement en gaz, préfère ne pas diminuer les volumes qu'il souscrit à Gaz de France. Pour pallier cette situation, le fournisseur ou l'utilisateur pourrait souscrire une assurance contre les défauts de livraison de biogaz. Cette assurance pourrait être prise en charge en tout ou partie au titre de la lutte contre l'effet de serre.

3.3- avec une subvention par KWh, abaisser le prix de livraison du biogaz ou de la chaleur issue des fumées de l'incinération

En tenant compte de l'impact sur l'effet de serre, il est légitime de diminuer beaucoup le prix de la chaleur ; cela suffira souvent à remplacer d'autres sources de chaleur (gaz ou fuel) et à susciter de nouvelles utilisations : chauffage collectif ou climatisation, serres, séchage de fourrage ou de bois etc.

Une subvention d'investissement

Si la réalisation d'un investissement rend *certaine* l'utilisation de la chaleur, il peut être plus simple de subventionner l'investissement : il en est ainsi par exemple d'une conduite de chaleur vers un établissement public ou d'une installation de purification de biogaz avant injection dans le réseau de gaz.

La subvention peut être d'un montant équivalent à la valeur actualisée de l'incidence à venir sur l'effet de serre soit 500 F par MWh de consommation annuelle (pour un carbone atmosphérique à 500 F/T).

Cette subvention équivalente sera donc importante et devrait permettre de trouver des usages à la chaleur.

Par exemple, pour *utiliser* le biogaz d'un méthaniseur de 80 000 T par an la subvention serait de 40 MF . Pour rendre possible l'utilisation de la chaleur produite par une station d'incinération de 100 000 T/an soit 1300 KWh par tonne, la subvention équivalant à l'effet de serre est de 65 MF.

3.4- pour financer des investissements nécessaires à l'utilisation directe de la chaleur issue du traitement des déchets (chaleur d'incinération ou chaleur contenue dans le biogaz), retenir le principe de subventions pouvant atteindre 500 F par MWh thermique de consommation annuelle – ou 1000 F/MWh par an pour un « carbone atmosphérique » à 1000 F/T

- Faire de la TGAP sur les décharges une incitation à récupérer le biogaz

Pour que le biogaz, qui est un gaz à fort effet de serre, soit correctement récupéré, les obligations réglementaires pourraient être complétées par une incitation fiscale correspondant au coût des émissions de biogaz. Pour cela la TGAP pourrait être fixée à un niveau supérieur à son niveau actuel et être dégressive en fonction des quantités de méthane récupérées dans le biogaz. Il s'agit donc là d'une incitation à la *récupération*, pouvant être complétée par une incitation à l'utilisation.

3.5- Pour inciter les gestionnaires de décharge à récupérer le biogaz, décider que la TGAP sur les décharges est dégressive en fonction des quantités de méthane récupérées.

- Les combustibles de substitution

L'utilisation thermique des papiers-cartons et celle des plastiques non recyclables dans des conditions économiques a une incidence favorable sur l'effet de serre. Or des recherches sont en cours pour caractériser comme combustibles certains DIB conditionnés spécialement. En cas de succès, ce sera une façon efficace d'utiliser le pouvoir thermique de ces DIB, papier carton et plastique. Les recherches en cours méritent donc un soutien public, financier et administratif ; en particulier, sous réserve d'une contrôle de la DRIRE, les installations expérimentales devraient pouvoir déroger aux règles de combustion des déchets.

3.6- Apporter un soutien financier et administratif aux recherches en cours pour la caractérisation de combustibles de substitution à partir de DIB.

- Pour financer les aides à l'utilisation de la chaleur : la TGAP et Eco-emballage

Si Eco-emballage consacrait la moitié de son budget à rendre possible l'usage de la chaleur, il pourrait financer une quinzaine de grosses opérations par an.

3.7- financer les subventions destinées à l'utilisation de la chaleur issue des déchets sur le produit de la TGAP et sur les recettes d'Eco-emballage dans la mesure où la production d'énergie provient d'emballages.

4- Equilibrer les conditions de la concurrence entre les énergies produites par les déchets et les autres formes d'énergie

- La TVA des réseaux de chaleur

Alors que les abonnements au gaz ou à l'électricité bénéficient du taux réduit de TVA, il n'en est pas de même des réseaux de chaleur, ce qui crée une distorsion qui gêne en particulier l'utilisation de la chaleur provenant des déchets. Cette anomalie serait due à une erreur matérielle qu'il s'agit de corriger.

4-1 - Faire bénéficier les réseaux de chaleur de la TVA au taux réduit

- Le régime juridique des conduites de biogaz

4.2- Donner un cadre juridique aux réseaux de biogaz : celui des produits chimiques

Si l'utilisation de biogaz est aidée comme il est proposé ici, il pourra se créer des réseaux locaux de biogaz de quelques kilomètres. Il faut donc préciser de quel régime juridique relèveront ces réseaux.

Ils pourraient être des réseaux de gaz combustibles. Pourtant, comme le biogaz a des caractéristiques particulières, en particulier son caractère corrosif et potentiellement toxique du fait de la présence d'éléments traces, il est préférable que la loi précise explicitement que ce gaz combustible relève de la législation applicable aux produits chimiques. Cela ouvre la possibilité de créer des servitudes de passage au profit des réseaux décrétés d'"intérêt général". Les règlements de sécurité seront fixés par les arrêtés d'autorisation.

- **Une obligation de rachat de gaz aux prix de marché**

Il n'est pas proposé de créer un fonds qui permette à des distributeurs de gaz d'acheter du biogaz épuré plus cher que les prix de marché ; mais il convient d'éviter que les distributeurs de gaz, pour des raisons de commodité ou pour des raisons commerciales, refusent l'injection d'un gaz qui répond à la réglementation. C'est pourquoi il est proposé d'instaurer une obligation d'achat aux prix de marché.

4.3- Faire obligation aux distributeurs d'accepter le biogaz épuré répondant à la réglementation et proposé à un prix correspondant au marché.

- **La connaissance des qualités agronomiques des composts de méthanisation**

S'il appartient à l'Etat, au nom de la santé publique, de fixer des maximums aux teneurs en substances toxiques, il lui appartient également de faire en sorte que les acteurs économiques soient correctement informés des qualités des produits qu'ils vendent et qu'ils achètent, et qu'ils disposent des moyens pour les exprimer sans ambiguïté : c'est le rôle de la normalisation et, parfois de la réglementation. Beaucoup reste à faire pour connaître les besoins des sols en matériau organique. Beaucoup reste à faire plus précisément au sujet des composts de méthanisation et certaines des études engagées portent sur le compost de compostage et non sur celui de méthanisation. Or une bonne commercialisation des composts est une condition nécessaire au développement de la production de biogaz.

4.4- Etendre aux composts de méthanisation les études engagées pour connaître les qualités agronomiques des composts.

5- Contribuer à la baisse du coût des traitements de déchets qui produisent de l'énergie

Les modes de financement, la répartition des responsabilités de décision et l'information généralement diffusée sont tels aujourd'hui que le mécanisme qui normalement conduit à la plus grande efficacité ne jouent pas toujours correctement.

D'autre part, les règles fixées par l'Etat pour servir de cadre à l'activité des communes sont parfois un obstacle à une meilleure efficacité du traitement des déchets.

- **Tirer parti de l'effet d'échelle des équipements**

Ramené à la tonne traitée, le coût d'investissement et de fonctionnement des installations d'incinération ou de méthanisation diminue beaucoup avec la taille de l'installation - une différence de 100 F/T est couramment observable. Par ailleurs, la qualité de la méthanisation peut être améliorée en ajoutant aux déchets des ménages des déchets d'autres origines - boues de stations d'épuration, déchets de l'industrie agricole ou agroalimentaire. Il est donc avantageux de compléter la charge des stations d'incinération avec des DIB et celle des méthaniseurs avec des déchets agricoles ou agroalimentaires.

Or, une telle "co-incinération" ou "co-méthanisation" soulève diverses questions - la commune a-t-elle capacité juridique à prêter un service commercial, comment éviter de financer un service commercial à l'aide de fonds publics, quel type de contrat passer avec les entreprises qui apportent les déchets, quel est le régime de la TVA ?

5.1- Apporter une réponse aux questions juridiques, fiscales et financières que pose l'alimentation des unités de traitement des déchets ménagers en déchets agricoles, industriels ou commerciaux

- **Financer des recherches techniques pour diminuer les coûts**

La méthanisation permet de concilier au mieux la valorisation matière et la valorisation énergétique. Or le coût de la collecte sélective des fractions fermentescibles grève le coût global de ce mode de traitement. Pour répondre à cette difficulté, des recherches devraient être menées sur deux voies : réduire le coût de la collecte sélective de la part fermentescible (FFOM et papier-carton) ou extraire sur le site de la méthanisation la part fermentescible des ordures collectées en mélange.

5.2- Diffuser les bonnes pratiques de collecte de la fraction fermentescible

5.3- Financer des recherches pour diminuer le coût de la collecte et du tri de la part fermentescible des déchets

- **Susciter une collecte efficace au porte à porte des déchets toxiques en quantité dispersée**

La qualité des composts et celles du biogaz est très affectée par la présence de déchets toxiques, les DTQD. Pour l'améliorer, donc pour faciliter une forme de valorisation énergétique des déchets, il importe de rendre plus efficace la collecte des DTQD.

5.4- intensifier l'action de sensibilisation visant à améliorer la collecte de DTQD

- **Pour mieux utiliser la chaleur des déchets, tirer au mieux parti de la nouvelle loi sur l'intercommunalité et de l'élaboration des schémas locaux de service publics**

Cette étude a montré abondamment que le meilleur usage de l'énergie contenue dans les déchets est son utilisation directe sous la forme de chaleur. Plusieurs propositions ont été faites pour faciliter cet usage. En définitive, les dispositions les plus décisives relèvent *de l'urbanisme* et non de la politique de déchets : l'aménagement urbain, la localisation des équipements publics, l'aménagement de zones d'activité et les conditions qui sont mises à la location ou à la vente des terrains sont autant de décisions qui rendront possible ou non l'utilisation du biogaz de méthanisation ou de la chaleur d'une unité d'incinération.

Par ailleurs, les coûts globaux de la gestion des déchets souffrent souvent d'une insuffisante cohérence entre la collecte et le traitement ou, dit autrement, peuvent être diminués lorsque l'un et l'autre sont sous la même responsabilité, ce qui n'était en général pas possible avant la loi sur l'intercommunalité de juillet 1999.

Car cette loi offre la possibilité de mettre sous la responsabilité d'une communauté de ville, d'agglomération ou de communes non seulement les diverses opérations relatives aux déchets (collecte et traitement) mais aussi l'urbanisme et les principales décisions d'investissement.

Par ailleurs, l'élaboration des schémas locaux de service publics devrait être l'occasion d'une réflexion conjointe sur la gestion des déchets, l'aménagement du territoire et la production d'énergie.

5.5- Inciter les communes à tirer parti des nouvelles structures intercommunales et de l'élaboration des schémas locaux de service public pour utiliser au mieux la chaleur produite par le traitement des déchets.

De façon plus générale, en sortant de l'objet de cette étude, il paraît utile que les aides accordées par l'ADEME et surtout par Eco-emballage ne soient pas seulement un moyen de financer des dépenses rapidement croissantes mais servent au contraire d'incitation à les diminuer.

Or les écarts de coût pour la collecte, pour le tri, pour l'incinération sont tels qu'ils montrent *l'ampleur des progrès réalisables* : est-il "normal" que les coûts varient quasiment du simple au double ? Cet écart peut-il se justifier seulement par les différences de circonstances locales ?

Par ailleurs, les élus et la population reçoivent une information très déséquilibrée sur le coût du traitement des déchets : sensibles aux dépenses financées par le budget communal, ils sont conduits à ignorer les dépenses couvertes par d'autres financements, notamment les dépenses liées aux collectes sélectives et au tri. Or seule une bonne information sur les coûts et les avantages environnementaux pourra conduire élus et contribuables-consommateurs à choisir les meilleures voies de traitement des déchets.

A l'image de ce qui a été récemment décidé pour l'eau, il est donc proposé de rendre obligatoire l'information de conseils municipaux sur les dépenses, les recettes et les bilans écologiques relatifs au traitement des déchets et d'inscrire recettes et dépenses dans un budget annexe – qui pourrait être celui de l'assainissement. Il est également proposé de diffuser plus encore qu'aujourd'hui les bonnes pratiques et de lier les aides à des « contrats de progrès » tendant à diminuer les coûts.

5.6- Rendre obligatoire l'information des conseils municipaux sur le coût et le bilan écologique du traitement des déchets ; inscrire dépenses et recettes dans un budget annexe du budget principal.

5.7- Diffuser les bonnes pratiques de collecte et de traitement

5.8- Lier les aides aux communes à des progrès qui les rapprochent des meilleures pratiques.

Pour élaborer une politique d'information des citoyens, l'Observatoire des coûts que l'ADEME a mission de créer devrait être conduit par un « comité de pilotage » formé de représentants des collectivités, des professionnels et des associations de consommateurs.

5.9- Pour élaborer une politique d'information du contribuable-citoyen sur les coûts et les avantages économiques et environnementaux des différentes voies de traitement des déchets, créer un comité de pilotage de l'observatoire des déchets, auquel participeront des représentants des collectivités, des professionnels et des associations de consommateurs

Un indicateur synthétique de valorisation des déchets

Un des objectifs de la politique des déchets est d'accroître leur « valorisation ». Si le marché savait rendre compte de *tous les effets* de la production, le meilleur indice de valorisation serait la valeur marchande des produits issus du traitement des déchets. Or tel n'est pas le cas. C'est pourquoi un indice quantitatif peut être utile pour fixer des objectifs chiffrés. Or le « taux de valorisation » utilisé aujourd'hui présente de graves imperfections : il manque de cohérence et ne tient pas compte correctement de la récupération de l'énergie. Il pourrait donc être avantageusement remplacé par un autre qui rendrait compte de toute l'énergie produite et effectivement utilisée et de toute matière utilisée (y compris le mâchefer ou le compost).

On pourrait sans doute partir de considérations physiques et tenir compte du caractère plus ou moins renouvelable des ressources, de l'impact sur l'effet de serre, direct ou indirect, de chaque mode de traitement, de l'utilité des matières telles que le compost etc. Ces approches demanderaient un long travail d'expert pour convenir de bilans représentatifs.

Il est aussi possible d'être très pragmatique et de partir de l'observation.

Il vaut mieux que l'indice soit « additif », c'est à dire que l'indice du traitement d'un ensemble de déchets qui fait l'objet de deux traitements différents soit égal à la somme pondérée des indices de chacun des modes de traitement. Il a donc la forme $I = a.E + b.P$ où E est une quantité d'énergie et P un poids ; pour que cet indice représente la « valorisation » réelle des déchets, ces quantités sont des quantités non pas produites mais utilisées.

On dira qu'est égal à 100 l'indice de valorisation synthétique

- d'un tri sans refus
- d'une unité d'incinération qui produit, par tonne incinérée, 1800 KWh de chaleur utilisée et 300 kg de mâchefer utilisés
- ou d'une unité de méthanisation qui produit 1000 KWh (ou 100 m³ de méthane) de chaleur utilisée et 600 kg de compost utilisés

On a donc un système de trois équations (le tri, l'incinération, le compostage) à deux inconnues ; un tel système n'a en général pas de solution. Pourtant il se trouve qu'il existe une réponse :

$I = 0,04 E + 0,1 P$ E en KWh thermique par tonne et P en kilos par tonne; la valeur optimale de I est 100.

On pourra tenir compte de la nature de l'énergie remplacée en plaçant devant la quantité d'énergie produite un coefficient d'efficacité, e, fonction de son intérêt économique et de ses avantages externes. L'énergie la plus efficace est la chaleur utilisée directement lorsqu'elle remplace du charbon ou des produits pétroliers. Quant à l'électricité, sa production est en quelque sorte un pis-aller ; le coefficient pourrait être de 0,5 pour tenir compte du fait qu'une partie de l'électricité, produite avec un rendement médiocre, sera, *in fine*, utilisée comme chaleur.

D'où un indice synthétique de valorisation : $I = 0,04 eE + 0,1 P$,

E est l'énergie produite ou contenue dans le biogaz produit *et utilisée*, en KWh thermique

e est un coefficient d'efficacité de l'utilisation de l'énergie

P est le poids de matière produite *et utilisée*, en kilos

La valeur optimale de I est proche de 100.

L'indice synthétique de valorisation d'une unité d'incinération dont toute la chaleur est utilisée directement et dont tout le mâchefer est utilisé sera de 100 ; si le mâchefer n'est pas utilisé et que la chaleur est transformée en électricité, son indice sera de 36. Une unité de compostage a un indice de 60 ; une unité de méthanisation dont le compost n'est pas utilisé mais dont la chaleur est utilisée directement aura un indice de 40 ; si le compost est utilisé, son indice passe à 100. Des ordures brutes mises en décharge qui dégagent 100 m³ de biogaz à 50% de méthane ont un indice de valorisation de 20. Un "réacteur biologique" où la méthanisation est poussée au maximum et qui produirait trois fois plus de méthane aurait un indice de 60 ; si l'on a extrait auparavant des parties recyclables à hauteur de 20% en poids, son indice passe à 80 etc. Ces quelques exemples permettent d'apprécier la pertinence de l'indice.

Ainsi, *sans chercher de signification intrinsèque aux coefficients de cet indice*, on constate que celui-ci, sans autre signification qu'une abaque ou qu'un point de repère, permettrait de différencier le compostage et la méthanisation, d'encourager davantage la stabilisation des mâchefers, et surtout d'encourager les élus à faire en sorte que les unités de traitement trouvent un usage à l'énergie qu'elles produisent.

L'objectif national de valorisation pourrait être d'atteindre un indice synthétique de valorisation de 70 sur 100.

Parallèlement pourrait être étudié un indice fondé sur la valeur des produits, y compris les effets externes.

Annexe I

au rapport sur la récupération de l'énergie des déchets

Les données numériques

Les données utilisées dans ce rapport sont indiquées dans cette annexe. Elles sont réalistes mais partiellement conventionnelles tellement, en réalité, les valeurs diffèrent d'une situation à l'autre.

- Tonnages et contenu des déchets
- La production d'énergie : les unités, la production d'énergie par incinération, par méthanisation ; les coûts et les recettes de l'incinération, de la méthanisation
- L'effet de serre : contenu des ordures ménagères en carbone fossile et en carbone organique, émissions de carbone selon le combustible, valeur de la tonne de carbone émise dans l'atmosphère sous la forme de gaz carbonique
- La collecte : performances et coûts
- Le tri : performances et coûts

Les sources sont, pour la plupart, les données de l'ADEME en particulier son guide pour la révision des plans départementaux en deux tomes (désignés par GRPD 1 et 2). On se réfère aussi à l'ouvrage « l'incinération des déchets ménagers » de J.Y Le Goux et C. Le Douce (Economica) et à des documents d'Amorce.

Tonnages et contenu des déchets

Déchets des ménages 26 MF : hors encombrants : 20 MT ; encombrants : 6 MT

Déchets des entreprises collectés par les communes : 5 MT

Autres déchets municipaux : 16 MT dont 10 MT de boues de stations d'épuration à 10% de M.S.

Déchets des entreprises y.c. IAA et hors gravats : 100 MT dont 5 collectés par les communes

Agriculture : 340 MT

Dans les ordures ménagères et assimilées, soit 26 MT (en poids humide) on trouve

En milliers de tonnes	%	Tonnages
Fermentescibles	28,6	7436
papiers cartons	25,4	6604
Plastiques	11,1	2886
autres combustibles fermentescibles	3,1	806
autres combustibles non fermentescibles	7,3	1898
Verre	13,1	3406
Métaux	4,1	1066
autres incombustibles	7,3	1898
Total	100	26000

La production d'énergie

Les unités

Table de conversion KWh, calories, joules, tep et PCI des combustibles

1 thermie	vaut	un million de calories ou	4,18 MJ
1 KWh thermique	vaut	3,6 MJ	
1 Tep	équivalent à	41,7 GJ ou	11,6 MWh
1 T. de charbon	équivalent à	0,67 Tep ou	7,8 MWh
1000 m3 de gaz	équivalent à		10 MWh thermique

La production d'énergie par incinération

Pouvoirs calorifiques

	Humide		Sec	
	KJ/kg	Kcal/Kg	KJ/kg	Kcal/Kg
Carton	9516	2300	15695	3800
Papier	9991	2400	14496	3500
Déchets putrescibles	4246	1000	15773	3800
Plastiques	22883	5500	30939	7400

1 tonne a un PCI compris entre 1800 et 2200 Kcal/t soit entre 2100 et 2500 KWh/T. On retient 2300 KWh/T. Le PCI a tendance à augmenter : en région parisienne, de 2% par an.. Le PCI dépend beaucoup de la présence ou non de tout le verre (qui pèse 13% des ordures) et du pourcentage de plastique.

Le rendement de récupération d'énergie par la chaudière est de 50 à 80 % (« l'incinération des déchets ménagers », page 96) ; on retiendra 75%.

Une tonne de déchets fournit donc $2300 \times 0,75 = 1700$ KWh *utilisables*, pouvant donner au maximum 425 KWh électrique ; si l'option est de faire le maximum de chaleur, on pourra produire de l'électricité, sans perdre de capacité « chaleur », avec une turbine à contre-pression, produisant ainsi environ 70 KWh électrique.

Le taux de disponibilité des fours est de 80 % à 85 % - source : entretiens avec des industriels - ; soit 7000 ou 7500 heures de fonctionnement par an, bien que des chiffres supérieurs soient parfois avancés.

Une usine qui incinère effectivement 100 000 T/an produit une énergie utilisable de 170 GWh thermique par an et développera une puissance de $1700 \times 100\ 000 / 7000$ KW soit 25 MW thermique.

La production d'électricité et de chaleur

- Si elle valorise cette chaleur en « tout électrique », elle produira 42,5 GWh électrique par an en 7000 heures, donc avec une puissance de 6,2 MW électrique. Comme l'autoconsommation en électricité est de 20% de la production, la quantité vendue sera de 320 KWh par tonne de déchets ou 32 GWh par an.

- Si elle favorise l'option chaleur, elle pourra produire une quantité d'électricité égale à 7 GWh par an en 7000 heures soit une puissance de 1 MW et une quantité de chaleur utilisable de 170 GWh thermique.

Les quantités d'énergie vendues sont donc soit 350 Kwh électrique sans production de chaleur dans l'option tout électrique, soit 1700 KWh thermique par tonne dans l'option chaleur (et pas d'électricité vendue, la production étant limitée à ce qui est autoconsommé),

Dans les unités d'incinération modernes les plus performantes (rendement four-chaudière de 80%, rendement de la production d'électricité de 30%) et sur des déchets au fort pouvoir calorifique (2800 avec addition de DIB) on peut arriver à une production de 700 KWh électrique : $2800 \times 0,8 \times 0,30 = 670$ KWh électrique.

La combustion donne aussi des mâchefers – 25 à 30% en poids.

La production d'énergie par méthanisation

La méthanisation de une tonne de déchets fermentescibles à 40 % de matière sèche donne 100 m3 de biocarburant contenant 2/3 de méthane et 1/3 de gaz carbonique ; soit en tout $12 \times 100 \times 1000 / 22,4$ ou 53000 grammes de carbone soit 53 kg de carbone dont 18 kg sous forme de gaz carbonique et 35 kg sous forme de méthane. Le poids du biogaz est de 130 kg ; il reste donc environ 270 kg de matière sèche ou 600 kg de « digestat » à 55 % d'humidité.

La méthanisation de une tonne produit donc un gaz dont le pouvoir calorifique est de 65 kJ soit 700 KWh thermique. La production d'électricité pouvant être produite par le biogaz est de 230 KWh électrique.

Les coûts et les recettes

De l'incinération

Investissement : entre 18 et 22 million par tonne de capacité horaire c'est à dire pour une capacité annuelle 7500 tonnes ce qui correspond, avec un taux d'intérêt de 6,5% et un amortissement sur 20 ans à **220 à 260 F/T incinérée.**

Fonctionnement : dépenses : de 150 à 250 F/T - ADEME 1996 ; depuis ces coûts ont augmenté. Mieux vaut dire de 200 à 300 F/T.

Recettes : 27 cme/KWh électrique pour une production vendue de 340 à 600 KWh soit de 90 à 170 F par tonne

Au 1^{er} janvier 1999, le tarifs de reprise par EDF pour une production de 1 MW en base était de 26,53 cme/KWh avec une disponibilité de 80% sur l'hiver ou de 27,7 cme/KWh avec une disponibilité de 95% sur l'hiver.

Les dépenses évitées en produisant de l'électricité pour autoconsommation sont environ de 40 cme par KWh : 45 cme/KWh pour 1000 KW pendant 3000 h ou 35,26 cme/KWh pour 10 000 KW pendant 8 000 heures.

Un cas type : 100 000 T/an de production effective

Investissement : 280 MF, soit 25 MF par an en annuité d'emprunt à 6,5% ; soit encore 250 F/T incinérée.

Exploitation : 200 F/T et personnel et consommables ; 300F/T de sous-produits soit 100F/T incinérée. La vente d'énergie rapporte 100 F/T

Dépenses totales : 550 F ; recettes 100 F/T ; dépenses nettes : 450 F/T

En réalité les dépenses nettes sont de 350 à 700 F/T avec des valeurs qui sortent de cette fourchette pourtant large.

De la méthanisation

Recettes : vente d'électricité : 230 KWh électrique par tonne à 27 cme/KWh soit 60 cme ; le prix de 27 cme n'est pas acquis. Vente de chaleur : de 5 cme à 10 cme /KWh thermique selon les circonstances locales.

La "vente » de digestat est comptée pour zéro.

Dépenses

Source : GRPD : investissement : 40 à 50 MF pour 20 000 T/an, soit 200 à 250 F/T ; fonctionnement : 400 à 1000 F/T

Installation de Fribourg : Investissement : 220 F/T ; fonctionnement après recettes : 208 F

Installation à venir à Varennes Jarcy : investissement : 160 F/T ; fonctionnement : 180 F/T, après recettes de 40 cme/T

p.m. pour le compostage

source : GRPD2 :

Investissement : 6 à 16 MF par tonne de capacité horaire, soit 70 à 200 F/T

Fonctionnement : 300 à 650 F/T

Informations données au colloque de Lille : coût complet : 200 à 350 F/T.

Après mise en décharge, production de biogaz

150 m³ par tonne à 50% de méthane

Effet de serre

Contenu des ordures ménagères en carbone fossile et en carbone organique

Les données et références de l'Ademe, sur 26 MT d'ordures ménagères et assimilées, permettent de calculer les quantités de carbone contenues.

Hypothèses faites dans ce rapport : le carbone des "complexes" est fossile, celui des textiles est pour 30% organique et pour 70% fossile, de même celui des textiles sanitaires.

Résultats : Carbone organique : 126 kg par tonne

Carbone fossile : 86 kg par tonne

Détail :

TOTAL déchets assimilés : Poids de carbone dans une tonne humide organique et fossile	% poids humide	teneur en eau	% de C dans MS	poids total	C organique Kg/T humide	C fossile Kg/T humide
déchets putrescibles	28,6	63,3	41,3	43,3	43,3	
Papiers	16,1	26,7	43,8	51,7	51,7	
Cartons	9,3	34,1	42,1	25,8	25,8	
Complexes	1,4	24,8	49	5,2		5,2
Textiles	2,6	23,5	51,4	10,2	3,1	7,2
textiles sanitaires	3,1	59,9	50,4	6,3	1,9	4,4
Plastiques	11,1	23,7	65,7	55,6		55,6
combustibles non classés	3,3	20,1	46,7	12,3		12,3
Verres	13,1	0,6	0,4	0,5		0,5
Métaux	4,1	8,7	0	0,0		0,0
Incombustibles non classés	6,8	9,9	1,9	1,2		1,2
Déchets ménagers spéciaux	0,5	0	0	0,0		
TOTAL	100			212,1	125,8 C organ	86,3 C fossile

Si le verre a été extrait des déchets, la quantité de carbone organique passe à 145 kilos par tonne de déchets.

100 m3 de gaz issu de la fermentation des ordures contient environ 53 kg de carbone - chiffre qui ne dépend pas de la teneur respective de gaz carbonique ou de méthane, mais qui dépend de la teneur en air (oxygène et azote). Le biogaz issu de méthaniseur contient 2/3 de méthane, celui qui est issu des décharges contient 50 % de méthane. Le volume *maximum* de gaz est de 230 m3 par tonne - ou 265 m3 par tonne sans le verre.

Emissions de carbone selon le combustible

1 tep de pétrole émet	0,84	t de C
1 tep de charb émet	1,11	t de C
1 tep de gaz émet	0,65	t de C
1000m3 de gaz émet	0,73	t de C
1 MWh pétrole émet	0,086	t de C
1MWh charbon émet	0,129	t de C
1 MWh de gaz émet	0,056	t de C

Coût de la tonne de carbone dans l'atmosphère

sous la forme de CO2 : 500 F/T ou 1000 F/T

sous la forme de méthane : 7,6 fois plus soit 3800 F/T ou 7600 F/T

Note : le pouvoir d'effet de serre du méthane est de 21 fois celui du même poids de gaz carbonique ; comme, à quantité égale de carbone, le gaz carbonique pèse beaucoup plus lourd que le méthane (44 g pour une mole de gaz carbonique contre 16 g pour une mole de méthane), une même masse de carbone sous la forme de méthane a un pouvoir d'effet de serre égal à environ 7,6 fois celui du carbone sous la forme de méthane (car $21 \cdot 16 / 44 = 7,6$).

La collecte, performances et coûts

Principale référence : le fascicule 2 du guide de révision des plans départementaux, GRPD2, publié par l'ADEME

Performances du porte à porte et de l'apport volontaire : valeurs annoncées par Eco-emballage et indiquées dans GRPD2 p. 18

Performances et Kg/hab/an	Porte à porte	Apport volontaire
Emballages ménagers : papier carton	10,1	4
Journaux-magazines	17	9
PVC, PET, PEHT	3,5	1,5
Verre	31,3	17,1

Autre hypothèse étudiée dans le rapport : comparées à l'apport volontaire, les quantités de papier collectées en porte à porte augmentent de 50 % ; celles de plastique des deux tiers.

Coûts

Apport volontaire :

- *verre* : 250 F/T : GRPD2 p 35 donne 200 F ; on l'augmente des « frais cachés » que sont les dépenses de nettoyage autour des points d'apport, les destructions de conteneurs etc.
- *papier-carton* : 300 F/T, par analogie avec le coût de la collecte de verre
- *plastique* : 3000 F/T – information donnée par une entreprise

Collecte au porte à porte

Ordures mélangées : 450 F/T en individuel et 350 F/T en collectif (même valeurs que pour les ordures résiduelles - cf. ci-dessous) : valeur retenue dans le rapport : 400 F/T, dont, pour *les emballages en plastique* : 400 F/T si le facteur qui limite la charge des bennes est le volume ; 3000 F/T si le facteur qui limite la charge des bennes est le poids - estimation du rapporteur

Collecte séparée

- *Collecte hebdomadaire trois flux* : papier-carton / plastique / métaux : 1350 F/T en individuel et 900 F/T en collectif - GRPD2 p. 35

contribution du papier-carton et du plastique dans le coût de la collecte séparée :

- *papier-carton* : 800 F/T - estimations du rapporteur
- *plastique* : 6000 F/T – estimation du rapporteur à partir d'indications données par une entreprise et des valeurs publiées par l'ADEME (cf. chapitre 3 § 2.1 du rapport)
- *Ordures résiduelles* : 450 F/T en individuel et 350 F/T en collectif GRPD2 p 35. valeur retenue dans le rapport : 400 F/T
- *Parties fermentescibles FFOM, papier* : 300 à 700 F/T pour un rendement de 100 kg par habitant et par an - informations données au colloque de Lille de mai 2000, après une enquête sur 25 sites.

Le tri

Source : GRPD2 p. 44

600 F/T entrante pour un tri très performant sur deux fractions corps creux (verre inclus)/corps plats

1300 F/t entrante pour un tri sur une fraction 4 matériaux en mélange hors verre dans une petite installation.

Valeurs retenues dans le rapport : ri du plastique et du papier : 1000 F/T après apport volontaire ; 1100 F après porte à porte