

La position du problème

La question ne se posait pas il y a 40 ans, alors qu'à cette époque il était naturel de recycler ferrailles et vieux papiers.

Aujourd'hui, rappelons d'abord les grands «acteurs», si l'on peut dire, en présence dans notre pays.

Voici les ordres de grandeur du marché intérieur français pour quelques matériaux importants :

Ciment	23 Mt
Acier brut (dont 20 % d'acier « électrique » à partir de ferrailles)	17 Mt
Papier-carton moitié papiers, moitié cartons	7 Mt
Verre dont 3,3 de verre « creux »	4 Mt
Polymères dont 3,5 de thermoplastiques, 0,5 d'élastomères et pas mal de fibres synthétiques, mais bien difficiles à évaluer	5 Mt
Aluminium	800 000 t
Cuivre	400 000 t

Qu'en est-il de ces grandes catégories ?

Notons d'abord, pour ne plus y revenir, que le ciment conduit au béton qui ne se recycle pas, non plus qu'aucun autre matériau de construction, sauf les poutrelles métalliques. Les démolitions et autres déblais du BGC (bâtiment et génie civil) excèdent de loin les 100 Mt annuelles ; ces résidus posent, pour le moins, un problème de place.

Les métaux se recyclent bien ; c'est que la fusion arrange bien des choses par simple pyrolyse, que le fer à béton est un grand marché et que le four électrique est un merveilleux transformateur de ferrailles. Les prix au kg de l'aluminium et surtout du cuivre sont suffisamment élevés pour justifier une collecte soignée des déchets de décolletage ou des pièces usagées.

Pour le papier, ce n'est que l'existence de l'énorme débouché du carton ondulé et surtout compact qui explique des taux de recyclage de l'ordre de 20 à 50 % suivant les pays ; l'organisation de la presse facilite la collecte massive des invendus et les déchets de façonnage sont également faciles à concentrer. Le recyclage dans les qualités impression-écriture est, quoi qu'on en dise, un leurre ; le désencrage est hors de prix, sauf évidemment si la mode vient au papier gris moucheté...

Pour le verre, la situation est déjà moins confortable, bien que la bouteille de verre « vert » soit un débouché tout trouvé. Il ne semble pas que la collecte du verre soit une opération très rentable, sauf pour la recherche sur le cancer qui en tire quelques subsides, mais pas pour les collectivités locales qui financent le ramassage et l'acheminement.

Les caractères spécifiques des polymères

Le problème du recyclage des matières plastiques se pose, en général, en termes complètement différents de ceux des autres grands matériaux dont nous venons de parler :

- Les « plastiques » se subdivisent en de nombreuses classes différentes aux caractéristiques souvent incompatibles :

- le PVC est délicat à recycler, bon marché, brûle en donnant HCl, mais il a, au moins en France, une application homogène où il est peu pollué : la bouteille d'eau (150 000 t/an) ;

- le polyéthylène (PE) se recycle bien, est assez bon marché, brûle facilement, mais il est très dilué et souillé dans ses emplois ; il en est à peu près de même pour le polystyrène (PS) ;

- les thermodurcissables et les élastomères vulcanisés ne sont guère recyclables - tout au plus peut-on les brûler.

- Les souillures par les contenus, les étiquettes, les bouchons, les charges, les inserts, etc. sont, on va le voir, des obstacles sérieux au recyclage parce que difficiles et coûteux à éliminer.

- Il n'existe pas de débouché « de masse », homogène, déjà établi et sûr techniquement pour des produits recyclés.

- Les plastiques transformés se trouvent sous forme de pièces massives, mais aussi, pour une part considérable, sous forme de films minces, de mousses et de corps creux. La très faible densité apparente de ces derniers en rend la collecte malaisée et coûteuse.

Des solutions particulières

Compte tenu de ce qui vient d'être dit, il est clair qu'une importante filière de recyclage de ces produits ne pouvait s'établir spontanément comme c'est le cas pour les métaux ou les vieux papiers.

Nous laisserons de côté, ici, la question du recyclage des déchets de fabrication ou, plus exactement, des chutes de façonnage. Il est parfois présenté, abusivement, comme un « effort » ou une marque de bonne volonté de l'industrie pour contribuer à la solution du

problème des déchets ; il ne s'agit, bien évidemment, que de l'application d'une règle de saine gestion économique d'un produit qui n'a pratiquement pas subi de pollution.

Nous n'examinerons donc ici que les tentatives concernant des objets ayant « déjà servi ».

Un très grand nombre d'opérations ont été lancées dans ce domaine, ces dernières années, dans de nombreux pays. On ne saurait les examiner toutes, d'autant que, pour la plupart d'entre elles, les chiffres manquent cruellement pour faire une estimation raisonnable de la validité économique.

PEhd et PET aux USA

Deux produits alimentaires offrent, là-bas des conditions particulièrement favorables à une opération de recyclage. Il s'agit du lait et des boissons gazeuses non alcoolisées :

- le lait est vendu en bouteilles de PE haute densité,
- le Coca Cola et les autres sont en bouteilles de téréphtalate de polyéthylène glycol (PET).

Ces deux polymères ont en commun d'être d'un prix assez élevé et de subir, sans gros problèmes, une remise en œuvre. La pollution est faible et, en tout cas, de nature connue. Autre point à souligner : ces bouteilles sont d'une contenance unitaire élevée, de 1 à 4 l, essentiellement de deux litres.

Hors boissons gazeuses, l'emballage des produits ménagers, alimentaires ou non, consomme aux USA environ 1 Mt/an de PEhd ; la part la plus importante est celle du lait : près de 400 000 t, viennent ensuite les jus de fruits, les huiles, les eaux plates, etc.

Sur ce million de tonnes de PEhd, on en recyclait environ 25 000 t en 1987, 33 000 t en 88. Les objectifs de 250 000 t en 92 et 300 000 t en 95 paraissent peut-être optimistes - il n'en demeure pas moins qu'une habitude est prise par les consommateurs, non seulement pour le lait mais également, on va le voir, pour les boissons gazeuses.

Introduit à la fin des années 1970, le polytéréphtalate d'éthylène glycol (PET) en bref le « polyester » (sous-entendu thermoplastique) a conquis rapidement le vaste marché américain des boissons gazeuses puisque le tonnage de PET, pour cette application, atteignait 400 000 t en 88. Le recyclage, nul en 1980, atteignait 70 000 t en 1988 et on espère que le taux de récupération continuera à croître pour se situer à 50 % au milieu des années 90.

Que fait-on de ces produits recyclés ?

- Avec le polyéthylène :
 - des bidons pour 40 %,
 - des tuyaux pour 50 %.
- Avec le PET :
 - des bidons également (*fig. 1*), et, surtout, des fibres pour emplois divers : non tissés, rembourrages.

Les prévisions optimistes en matière de recyclage des plastiques aux USA doivent beaucoup au succès de l'aluminium dans ce domaine. Le taux de recyclage obtenu pour les boîtes se situe entre 50 et 60 %, mais il faut savoir qu'elles sont reprises par l'industrie à plus de 7 F/kg.

- Le verre, qui ne vaut qu'entre 100 et 300 F/tonne, est recyclé à moins de 10 %. Quant aux boîtes en fer blanc payées 50 F/t, on

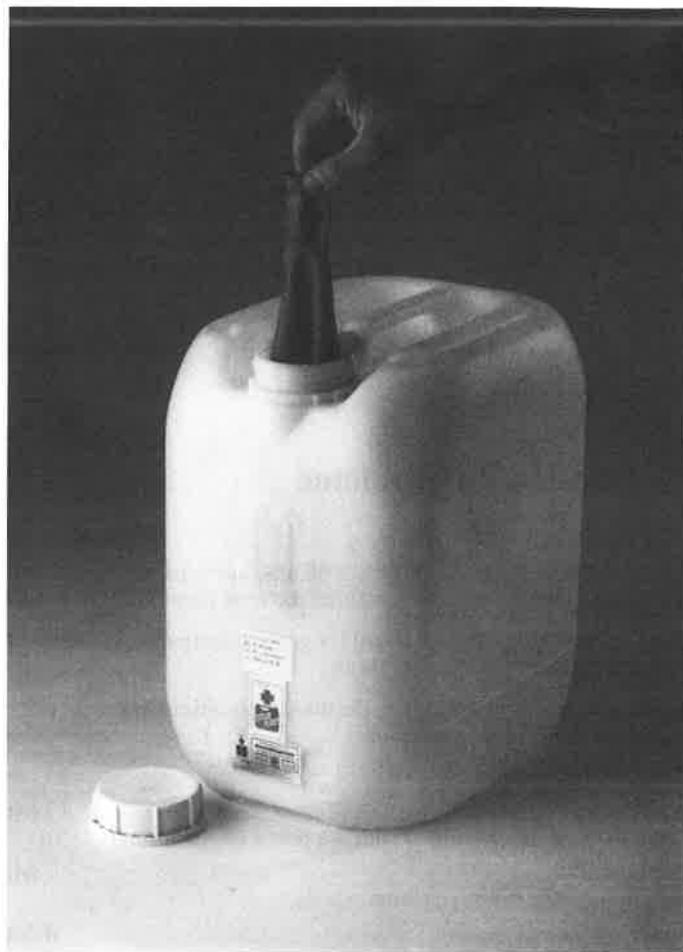


FIGURE 1. - 9 millions d'emballages industriels en plastique (de 5 à 1000 l, essentiellement PE) sont produits chaque année en RFA. Comme cela existe déjà pour les fûts métalliques classiques de 200 l, une industrie de reconditionnement de ces emballages en PE, en vue de leur réemploi, est en train de se mettre en place. La solution de la poche intérieure en latex, illustrée pour un bidon de 30 l, permet de résoudre efficacement le problème des emballages de taille moyenne.

n'en récupère que 5 % selon le consultant Charles H. Kline.

En fait, suivant le Center for Plastics Recycling Research, la manière la plus réaliste de récupérer efficacement les plastiques consiste à les trier des ordures ménagères. La consigne n'en fait revenir que 15 à 20 % et les centres de collecte volontaire 10 %.

Dix états américains seulement ont imposé l'emballage consigné, en général à 25 centimes, ce qui n'est après tout qu'une incitation très modérée.

L'opération Pélican en France

Mise en route il y a deux ans, conçue et organisée conjointement par le GECOM (Groupe d'Etude pour le Conditionnement Moderne) et la FFSPN (France Nature Environnement), l'opération Pélican vise à promouvoir la collecte sélective des bouteilles de PVC. Ces dernières représentent en France un gisement de 160 000 tonnes par an environ, soit 1 % des déchets ménagers. Il s'agit là d'une situation unique en Europe, qui rappelle, par la taille et les caractéristiques techniques, la question des bouteilles en PEhd ou PET aux USA, que nous venons d'évoquer. Il y a cependant plusieurs différences importantes :

- les bouteilles sont plus petites (mais ce n'est pas déterminant),
- elles sont propres (aux sels minéraux de l'eau près),
- elles sont munies d'étiquettes papier et de capsules en PEbd ou aluminium,
- le PVC, bon marché, est délicat à recycler,
- surtout, peut-être, il n'y a pas d'obligation légale en France pour une consignation incitative au retour de ce genre d'emballage (Pélican est fondée sur le seul volontariat).

Opération pilote, l'opération Pélican est menée en collaboration avec une douzaine d'agglomérations (soit une soixantaine de villes) du bassin rhodanien ; l'objectif est d'atteindre la récupération de 50 millions de bouteilles, soit un poids total de 2 500 tonnes.

Les renseignements que l'on peut avoir, quant à l'état d'avancement de cette expérience, semblent montrer qu'on est encore loin de cet objectif.

L'industrie automobile

Par sa consommation de matières plastiques, le secteur des transports n'occupe qu'une place modeste (8 %), loin derrière l'emballage (31 %) ou le bâtiment (15 %). Cependant, les fibres textiles, les peintures et mastics et surtout, évidemment, les élastomères font de l'automobile une branche d'application fort importante pour la chimie des polymères. Un véhicule neuf représente plus de 10 à 20 kg de peintures et mastics de protection et d'étanchéité et plus de 50 kg de pneumatiques, joints et pièces diverses en « caoutchouc ». Si l'on ajoute à cela les pare-chocs, feux de signalisation, les mousses de rembourrage et surtout les tissus et moquettes, l'ensemble « pèse » entre 15 et 20 % d'une automobile particulière. Au cours de son existence, on change à plusieurs reprises les pneus et les batteries d'une voiture. On peut donc estimer au quart de son poids initial la quantité de polymères réellement « consommés » par une voiture particulière.

Deux millions de véhicules divers vont « à la casse ». Chaque année, il y a donc là, en ordre de grandeur, un « gisement » de l'ordre du demi-million de tonnes de polymères, candidats éventuels au recyclage.

Peintures et textiles sont, à l'évidence, inutilisables. Le broyage des pneumatiques en « poudrette » n'a connu qu'un développement très limité. En revanche, dans certains pays, les cimentiers utilisent couramment des pneumatiques pour leur contenu calorifique. Le ciment demande à peu près 1 000 th à la tonne pour son élaboration ; il a besoin de calories bon marché, même si elles sont « sales » (le ciment est un bon piège à soufre). La consommation de cette industrie (environ 2 Mt tep) devrait offrir là un potentiel intéressant.

La récupération automobile est cependant une profession suffisamment bien organisée pour que l'on puisse songer à en obtenir, en quantités suffisantes, des lots d'objets en plastique aux caractéristiques assez précises pour qu'un recyclage puisse être étudié. Nous examinons ici deux tentatives faites en ce sens en Grande-Bretagne et en RFA.

Les cas des batteries d'accumulateurs

Un accumulateur comprend du plomb (métal et oxyde), de l'acide sulfurique, des séparateurs (en papier bakérisé), des connexions métalliques et une carcasse. Ces dernières, réalisées autrefois en

divers matériaux anti-acides bon marché, sont toutes aujourd'hui en polypropylène.

Un article récent (*Recovering PP from Waste Batteries, Chemistry and Industry*, 7 août 1989), relate en détail l'étude faite en Grande-Bretagne par Cookson Plastics pour le recyclage de ce polymère, l'objectif étant de produire des granulés aptes à l'injection. Le traitement des carcasses est le suivant : après broyage, le PP est séparé de ses divers contaminants : plomb, acide, métaux, PVC, cellulose, etc. par deux stades successifs de traitement humide avec et sans flottation.

Après un séchage soigné, le PP brut reçoit divers additifs :

- 10 % d'un copolymère éthylène-propylène pour remonter la résistance au choc Izod,
- 0,3 à 0,5 % de divers antioxydants (phénoliques, sulfurés), et, éventuellement des anti-acides, des colorants, etc.

Le mélange est ensuite passé en boudineuse où une dernière filtration soignée (tamis 110 mesh) est effectuée, suivie de la granulation.

Le polymère obtenu (en général coloré en noir) peut être réutilisé pour le moulage par injection..., par exemple pour les batteries d'accumulateurs.

Il est dommage que cette intéressante étude n'ait pas été accompagnée d'une brève analyse économique permettant d'estimer l'ordre de grandeur du coût de ce procédé. On se trouve pourtant ici dans un cas relativement favorable, le plomb payant déjà l'opération de tri. Les carcasses peuvent sans doute être acquises au seul prix, ou presque, de leur transport. Inversement, le gisement, s'il est « pur », est de bien faible taille : mille ou deux mille tonnes/an.

Il semble difficile que l'on puisse amortir et faire fonctionner une telle installation pour un chiffre d'affaires qui n'atteindra pas les 5 MF/an.

Le cas des réservoirs de carburants automobiles

Les réservoirs des automobiles sont un autre exemple intéressant des difficultés d'une opération qui pourrait cependant, à première vue, se présenter avec des caractéristiques très favorables ; en effet :

- les réservoirs sont tous faits à partir de PEhd,
- 60 % de la production européenne de voitures sont déjà équipés de réservoirs en plastique,
- ce sont des articles de poids unitaire élevé,
- la récupération automobile est une activité bien structurée.

Comme beaucoup d'autres grands chimistes, la BASF a entrepris de piloter un certain nombre d'expériences de recyclage, portant naturellement sur des objets obtenus à partir des polymères qu'elle fabrique.

La BASF a donc collecté une centaine de réservoirs de VW Passat, vieux de 16 ans, et les a soumis aux traitements suivants :

- élimination des parties qui ne sont pas en PE,
- nettoyage de salissures externes au jet de vapeur ou par grenaille (*fig. 2*),
- découpage en deux parties pour aération,
- broyage et séchage des déchets 5 jours à 100 °C pour faire passer la teneur en hydrocarbures absorbés de 3,2 % à moins de 0,5 %, teneur limite pour éviter le bullage à l'extrusion,

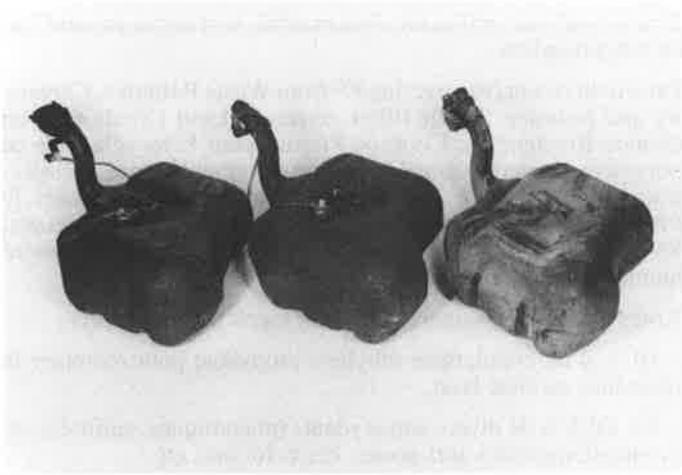


FIGURE 2. - Réservoirs d'automobile en PEhd, nettoyés au jet de vapeur (à gauche), au jet de sable (au centre), non traités (à droite).

- réintroduction d'une stabilisation convenable, celle d'origine ayant été extraite par le carburant.

Le dégazage à la boudineuse, imaginable, n'a pu être réalisé de manière satisfaisante. La BASF poursuit néanmoins l'étude du problème...

Ici encore, malheureusement, le grand chimiste allemand s'est refusé à donner un chiffre, même estimé, de l'économie d'une telle opération.

Les mousses de polystyrène

Avec les sacs cabas en PE, les emballages en mousse de PS sont sans doute à la source d'une des atteintes les plus voyantes et les plus désagréables (mais pas des plus dangereuses) à notre environnement.

Depuis longtemps, on a proposé, en RFA, de produire des bétons allégés (fig. 3) par adjonction de billes de PS expansé. La BASF a montré que le broyage de déchets de PS expansé peut satisfaire cette application. Il est certain qu'ici une vaisselle jetable (gobelets en particulier) quelque peu polluée devrait être un bon candidat dans la mesure où un simple broyage est une opération peu onéreuse.

L'emballage d'objets volumineux : gros électroménager, matériel Hi-Fi, matériel de bureau, fait appel aussi à des pièces moulées en mousse de PS de taille importante et qui, de surcroît, restent parfaitement propres après utilisation.

Le vrai problème qui se pose ici, hélas, est la difficulté, probablement insurmontable, de la mise au point d'une collecte qui soit à la fois efficace et bon marché.

Le recyclage « chimique » est-il possible ?

Une dépolymérisation est imaginable, et possible :

- par hydrolyse pour les polyesters,
- par pyrolyse pour les polyadditions.

Eastman Kodak traite ses chutes de film (qui sont en polyester, PET) par méthanolyse, sous pression, à chaud et en présence d'un

catalyseur convenable. DMT et éthylène glycol sont séparés et purifiés. Disposant de chutes de films propres en quantités considérables (plus de 10 000 t/an), Eastman Chemicals peut justifier l'intérêt de cette opération, mais il est clair qu'il s'agit là de déchets de fabrication et d'une «boucle» courte bien contrôlée.

Freeman Chemical, de son côté, traite une dizaine de milliers de tonnes/an de bouteilles PET par une technique un peu différente : en chauffant un mélange de PET et de diéthylène glycol en présence d'un catalyseur au manganèse, on dépolymérise le PET avec production d'un mélange de polyols de bas poids moléculaires. Ceux-ci peuvent être utilisés dans la formulation de mousses polyuréthane rigides pour l'isolation dans le bâtiment.

Par ailleurs, mais il s'agit ici encore d'un recyclage «court», il est possible de traiter par simple pyrolyse au bain de plomb fondu les déchets de découpage des plaques de polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Le monomère, qui est ici de valeur élevée, justifie ce recyclage à partir d'un homopolymère parfaitement propre.

La meilleure solution

Les quelques tentatives qui viennent d'être décrites mettent bien en lumière le fait que, tant par leur diversité et leur fragilité moléculaire, que par leur faible coût, leur état de dispersion enfin, les polymères sont de piètres candidats à un recyclage, sous-entendu dans les mêmes emplois ou, au moins, pour des applications similaires.

En revanche, les chimistes le disent avec prudence, parce qu'il ne



FIGURE 3. - Eléments de mur en béton-PS expansé. Leur découpe sur chantier est aisée. Les vides sont ferrillés et remplis de béton pour assurer la solidité des éléments porteurs.

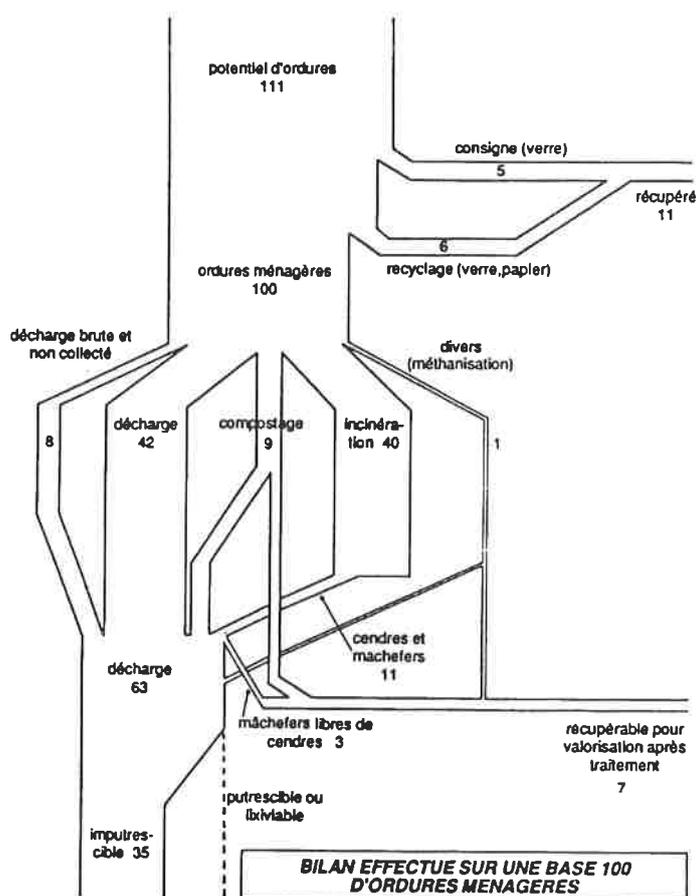


FIGURE 4. - Equilibre actuel, en France, des divers modes de traitement des ordures ménagères.

fait pas heurter les écologistes, mais le pensent fermement : c'est l'incinération qui est de loin, et à tous points de vue, la meilleure des solutions ; ou tout au moins la moins mauvaise, puisqu'il n'y a pas de panacée en ce domaine.

Le bilan de la figure 4, établi par la direction de la Prévention des pollutions du secrétariat à l'Environnement montre que la France, et elle s'en porte bien, incinère 40 % de ses ordures ménagères, soit environ 7 Mt/an, dans 300 installations.

Comme ce sont surtout les résidus urbains qui sont traités de cette façon, on est à peu près certain que d'ores et déjà 50 % au moins de nos emballages plastiques sont utilisés comme combustibles. Si on ajoute à cela pointes Bic, jouets et objets divers qui finissent toujours à la poubelle, on atteint vraisemblablement 20 à 25 % de notre consommation de plastiques traités de cette façon.

Que signifie la présence de polymères dans les ordures ménagères du point de vue de leur incinération ?

On dit que ceux-ci sont favorables de par leur pouvoir calorifique élevé. Il vaut la peine de regarder quantitativement la valeur de cet argument.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des ordures ménagères augmente constamment ; ceci est la résultante de deux tendances inverses : augmentation de leurs teneurs en polymères divers (papiers, textiles, plastiques) d'une part, diminution des déchets végétaux d'autre part ; aujourd'hui, ce PCI se situe dans la fourchette 1800-2000 th/t (à peu près le 1/5 de celui du fuel). Pour obtenir une combustion complète, on exige pour le gaz de combustion un temps de résidence de 2 secondes à une température supérieure à 850 °C au-dessus de la grille, en présence d'un large excès d'oxygène. Il est nécessaire, pour obtenir ces condi-

tions sans faire appel à un « soutien fuel », de disposer d'ordures dont le PCI se situe dans la fourchette 1 400-1 500 th/t.

Si maintenant on fait l'hypothèse (à peu près réalisée en région parisienne) d'une teneur de 9 % de plastiques composés pour 2/3 de PE et PS à 10 000 th/t et de 1/3 de PVC à 5000 th/t, un calcul élémentaire montre que de telles ordures, débarassées de leurs plastiques, auraient précisément un PCI de l'ordre de 1 400 th/t.

Il est donc parfaitement licite d'affirmer que, en un sens, ce n'est que grâce à la présence des plastiques que les grandes usines d'incinération parisiennes (Issy-les-Moulineaux, Vitry, Saint-Ouen) peuvent être productrices nettes d'énergie.

Le cas du PVC, souvent objecté, demande que l'on s'y arrête un instant. Sa combustion, c'est clair, génère HCl. Une partie, mais une partie seulement de celui-ci (peut-être la moitié) est piégée sous forme de chlorures dans les mâchefers et les poussières. Le reste était jusqu'ici rejeté à l'atmosphère. En ordre de grandeur, cela représente 10 000 t/an pour la région parisienne. La législation européenne exigera qu'en 1996 ces émissions soient pratiquement supprimées.

Cela est tout à fait possible, un lavage des fumées après le dépoussiérage électrostatique captant 99 % du HCl présent (l'efficacité vis-à-vis de SO₂ est beaucoup moins bonne : 40 %). Seule, actuellement, l'usine récente de Saint-Ouen (fig. 5) effectue ce lavage. Des dispositifs analogues sont en cours d'installation à Issy et à Vitry.

La situation est moins favorable pour les installations d'incinération de petite taille en milieu rural. Le lavage humide n'est pas réaliste mais la neutralisation par pulvérisation de carbonate de soude proposée par Solvay, d'efficacité suffisante, devra être envisagée - heureusement, au moins de ce point de vue, 80 % des déchets ménagers sont aujourd'hui « urbains » !

Naturellement, les ordures « ménagères » ne collectent pas tout. Nous avons vu que la casse automobile est un autre vaste gisement de plastiques, et qu'il est en croissance. Les emballages industriels, le gros électroménager, d'une manière générale les « objets encombrants » dont on entend parler de plus en plus souvent et dont la collecte s'organise en milieu urbain posent autant de problèmes pour lesquels, jusqu'ici, il n'est guère d'autre solution que la mise en décharge convenablement contrôlée.

Si l'on veut bien considérer que le ramassage des ordures ménagères est convenablement assuré aujourd'hui jusque dans nos plus petites communes et ce proprement grâce, précisément, aux sacs en PE ; que le tri manuel nous ramènerait au temps des chiffonniers ; que nous avons vu les difficultés techniques nombreuses du reconditionnement des déchets plastiques, les avantages évidents

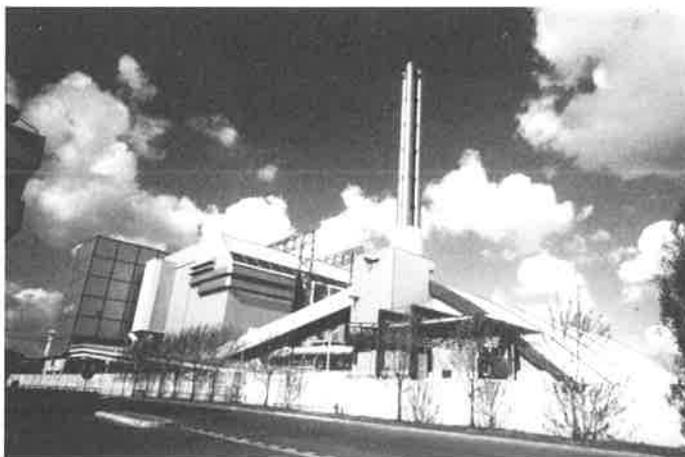


FIGURE 5. - La nouvelle usine de Saint-Ouen incinère 1,6 Mton d'ordures ménagères.

de l'incinération doivent être clairement compris et doivent permettre d'éviter de se lancer dans des entreprises hasardeuses de collecte et de recyclage qui ne feront en définitive que faire perdre du temps et de l'argent sans bénéfice réel ni pour notre santé ni pour notre environnement.

Jusqu'ici, notre administration s'est abstenue de prendre des décisions aberrantes du style du moratoire suédois sur la construction d'usines d'incinération (rapporté maintenant). La gestion

convenable des déchets industriels et ménagers, encombrants ou dangereux, est un problème important et complexe auquel le service des Technologies propres et des Déchets du secrétariat à l'Environnement apporte une attention qui apparaît jusqu'ici tout à fait éclairée et raisonnable. L'examen de ses préoccupations montre bien que les polymères, en dépit de leur masse et de leur omniprésence, ne sont pas notre souci majeur. Quoiqu'en pensent certains, ce n'est pas là un des moindres avantages que nous tirons tous les jours des progrès de cette chimie.



SCHWEIZERISCHE
CHEMISCHE GESELLSCHAFT
Verlag Helvetica Chimica Acta
Postfach, CH-4002 Basel

HELVETICA CHIMICA ACTA

Subscription

Vol. 74, 1991

sFr. 515.- + postage

32.- Europe

sFr. 515.- + postage

50.- Oversea

Still available

Reprinted editions

Vols 1-27 (1918-1944)

Vol. 28 Out of print

Original editions

Vols 29-73 (1946-1990)

Please request our
price list