

# RECYCLAGE DU CALCIN (VERRE CASSÉ) RECHERCHE DE DÉBOUCHÉS ALTERNATIFS

Gérard Bertolini

Économiste, Directeur de recherche au CNRS, Université de Lyon I

La récupération du verre (calcin) d'emballage des ménages s'accroît dans les pays industriels et se traduit notamment par des recyclages en boucle : les bouteilles deviennent à nouveau des bouteilles.

Cependant, certains problèmes restent à résoudre :

- limites d'un recyclage en boucle en l'absence de tri par couleurs ;
- devenir des fines de verre qu'il n'apparaît pas souhaitable de réenfournir ;
- valorisation dans des contextes insulaires, ainsi que dans des pays peu industrialisés, en l'absence de verrerie industrielle implantée localement.

Cet article vise à explorer des pistes alternatives de valorisation, suivant un recyclage en cascade (à défaut d'un recyclage en boucle). On distinguera en outre les types de valorisations suivant qu'elles nécessitent ou non une refonte (une nouvelle fusion) du verre.

**The recovery of households packaging glass (cullet) is expanding in the industrial countries, notably with outlets in the frame of a closed-loop recycling scheme : the bottles are transformed into new bottles.**

**However some questions remain concerning the outlets:**

- limits of a closed-loop system when the cullet is not sorted by colours;
- valorisation of tiny pieces of broken glass when it is not desirable to introduce them into the melting furnace;
- valorisation of the cullet in the islands, and in non-industrial countries, where an industrial recycling plant does not exist.

**The objective of this paper is to explore some alternative possibilities of cascade recycling (when closed-loop recycling is not feasible). Moreover a distinction will be made according to the fact that a (re-) melting process is needed or not.**

## POSITIONNEMENT DU PROBLÈME

Dans les pays industrialisés, le calcin ou groisil (c'est-à-dire le verre cassé) recyclé est constitué principalement de

verre creux d'emballages ménagers à usage unique : bouteilles, et dans une moindre mesure flacons et pots, collectés par apports volontaires en conteneurs, ou en porte-à-porte dans le cadre de collectes sélectives multi-matériaux.

S'y ajoutent les chutes et la casse au niveau des verreries (produits non conformes), ainsi que des embouteilleurs, et le cas échéant des chutes neuves de verres à vitres.

Après préparation (notamment, élimination des impuretés), le verre est refondu suivant un recyclage en boucle : en d'autres termes, les bouteilles (après usage) deviennent à nouveau des bouteilles.

L'accroissement du taux de recyclage conduit cependant à un problème de couleurs ; les calcins de couleurs mêlées : – permettent - pratiquement sans réserves - de produire du verre vert,

– permettent de produire du verre ambre, avec des limites quant au taux d'incorporation,

– ne permettent pas de produire du verre blanc.

On peut en effet ajouter des oxydes métalliques pour modifier la teinte, et aller du clair vers le foncé, mais on ne sait pas retirer les oxydes pour éclaircir la teinte.

On notera également que la répartition par couleurs est sensiblement différente suivant les pays : forte proportion de verre vert, liée à la consommation de vins et champagnes, en France, alors que le verre ambre prédomine dans les pays gros consommateurs de bière, et la proportion de verre blanc ou mi-blanc est importante au Royaume-Uni.

Dès lors, d'autres pays ont d'ores et déjà été confrontés, de

Tableau I

Composition du gisement en France		Limites d'utilisation (taux d'utilisation, en %)	
Couleurs	En %	En l'absence de tri par couleurs	Avec tri par couleurs
Blanc et mi-blanc	25 %	0 %	90 %
Ambre et feuille morte	25 %	40 %	90 %
Vert et cognac	50 %	95 %	95 %
Total	100 %	57,5 %	92,5 %

Source : d'après Centre de recherche Danone.

façon aiguë, à la nécessité d'un tri par couleurs. Pour le futur, l'accroissement du taux de recyclage en France devra également s'accompagner d'un tri par couleurs.

Sur les marchés internationaux, la valeur du calcin blanc est très supérieure à celle des calcins mélangés; dans certains pays, ces derniers sont même devenus sans valeur.

Pour la France, en l'absence de tri par couleurs, le taux d'utilisation maximal du calcin ressort à 57,5 %. De plus, toutes les usines ne disposent pas de lignes de fabrication de verres verts; dès lors, l'accroissement du taux d'utilisation se traduit (en deçà) par des transports éloignés, donc coûteux.

Une autre question concerne le devenir des fines produites lors des phases amont de collecte et de préparation du calcin : manutentions successives, et concassage pour affiner le tri du produit de la collecte. Ces fines représentent des pièges à impuretés et à humidité; dans le calcin admis par les verriers, la part des fines doit être inférieure à 5 %. Dès lors, si leur proportion est supérieure, d'autres valorisations méritent d'être recherchées.

La recherche de débouchés alternatifs pour le calcin concerne plus encore les contextes insulaires, pour des îles éloignées du continent, ainsi que les pays non industrialisés ou peu industrialisés, ne disposant pas de verrerie correspondante.

Les faibles tonnages (d'autant plus que, dans les pays non développés, le réemploi est très pratiqué, le bris n'est qu'accidentel) ne permettent pas d'envisager d'implanter localement une verrerie industrielle moderne. En effet, une usine-type de production de verres creux d'emballage (bouteilles de qualité standard, de grande consommation) présente à peu près les caractéristiques suivantes :

- 2 fours en continu, d'une capacité de 200 à 300 tonnes/jour chacun, chaque four alimentant 4 ou 5 lignes de production;

- production annuelle de 120 000 tonnes de bouteilles, soit environ 300 millions d'unités;

- investissement, pour une usine neuve complète, de l'ordre de 600 millions de francs;

- la conduite des opérations et la maintenance nécessitent un personnel hautement qualifié.

Le format est susceptible d'être réduit, mais une production automatisée et un four en continu rendent nécessaire une capacité d'au moins 30 tonnes/jour.

En l'absence de verrerie locale, que peut-on faire du calcin? L'éloignement rend coûteux le transport vers le continent, même si le calcin représente un fret retour et peut alors servir de lest dans les cales des navires. De plus, des débouchés locaux exercent un effet (recherché) de création d'activité et d'emploi (locaux).

Dans ces conditions, quels peuvent être les débouchés alternatifs, dans des contextes insulaires ou des pays non industrialisés? D'autre part, dans les pays industriels, quels peuvent-être les débouchés pour des calcins en mélange ne trouvant pas preneur, ainsi que pour des fines?

On considérera successivement des applications :

- nécessitant une fusion (au moins partielle, ou une expansion) du verre,

- puis n'impliquant pas une fusion (mais un concassage ou un broyage, plus ou moins fin).

### **REFONTE ET FORMAGE (NOTAMMENT PAR SOUFFLAGE) DANS LE CADRE DE PETITES VERRERIES, ARTISANALES OU SEMI-ARTISANALES**

#### **Le type de four**

Le four, alimenté au charbon, au fuel, au gaz ou à l'électricité, doit permettre d'atteindre une température de 1400 °C, pour assurer une fusion et un affinage des matières premières. Une température de 1000 à 1200 °C est ensuite requise en sortie du four, pour le moulage des produits.

S'y ajoute, suivant le cas, un recuit des objets, ou une trempe, etc.

Alors qu'une verrerie industrielle moderne utilise des fours en continu, une production artisanale ou semi-artisanale s'accompagne de l'utilisation de fours en discontinu.

Plusieurs types de fours en discontinu sont utilisables :

- le four à pots (*pot furnace*) : des pots ou creusets sont disposés dans le four. Leur capacité a eu tendance à s'accroître : 250 kg, puis 350 à 400 kg, 600 à 1000 kg, et jusqu'à 1800 kg. Ainsi en France, au début du siècle, on plaçait dans le four 4 à 10 pots pouvant contenir chacun 600 à 800 kg de verre. La durée de vie de ce type de four est généralement de 3 à 5 ans, et les réfractaires doivent être changés tous les 6 mois environ;

- le *day tank* : la charge est alors fondue durant la nuit, pour être travaillée le jour. La capacité est en général de 2 à 3 tonnes/jour, mais elle peut être inférieure. Les réfractaires doivent être changés tous les 6 à 12 mois;

- des fours à bassin de plus grande dimension sont ensuite apparus. Ainsi, en France, au début du siècle, des fours à réverbère, chauffés par un gazogène, pouvaient contenir jusqu'à 100 tonnes, voire 250 à 500 tonnes de verre fondu. Les fours à bassin ont de plus en plus été utilisés en continu : introduction constante de matières à une extrémité et puisage constant du verre fondu à l'autre extrémité.

Les fours en discontinu n'optimisent pas la consommation énergétique. De plus, parmi les modes d'alimentation énergétique, l'électricité - en chauffant la charge par effet Joule - serait le mode le plus performant; mais, dans les pays en développement, des problèmes peuvent résulter des puissances disponibles et de fréquentes coupures de courant.

L'ouvrage de Garry Whitby<sup>[1]</sup> fournit le schéma d'un four tout électrique KTG (avec électrodes en molybdène) d'une capacité de 5 tonnes/jour.

#### **Le mode de formage (notamment par soufflage)**

Les verreries artisanales se traduisent par la production de verre à la main, contrairement au verre mécanique.

L'artisanat traditionnel opère par soufflage à la bouche : la masse de verre à l'état pâteux, appelée paraison, est prise au bout d'une canne creuse et est soufflée à la bouche pour former un corps creux. Éventuellement, on procède à des découpes, en utilisant par exemple un fil électrique chauffé (moyennant un transformateur de courant) ou un diamant. Les objets susceptibles d'être produits sont très variés, à usages utilitaires ou décoratifs : gobeletterie, bonbonnes, verres protecteurs de lampes, assiettes, etc. Les articles comportent souvent des défauts, tels que des bulles et des stries, et on ne peut pas produire par cette voie des emballages standard (ou autres produits standard). De plus, les coûts de production sont élevés, ce qui conduit à viser soit une production locale ne subissant pas la concurrence d'articles importés (en raison de coûts de transport ou de droits de douane très élevés), soit des articles à forte valeur ajoutée.

Jon Vogler<sup>[2]</sup> cite l'exemple d'une verrerie de Bangkok produisant 4 tonnes/jour de produits et employant 50 personnes. Les produits comportent des bulles, mais leur qualité est suffisante pour trouver preneurs. Au Mexique, l'entreprise familiale Guajuye s'approvisionne en calcin (bouteilles) blanc et couleur, à hauteur de 1000 tonnes/an; le verre est refondu (2 fours) et soufflé à la bouche, pour produire des articles de ménage, soit 3 500 pièces/jour, et l'essentiel de la production est exporté.

La verrerie d'art se traduit par des quantités beaucoup plus limitées, ainsi qu'une composante beaux-arts ou design, et une valeur ajoutée qui peut être très élevée. On peut par exemple citer ProGlass (R. Houry et J.P. Umbdenstock) : à leurs productions, en France et en Belgique, s'ajoutent leur participation à la création de la verrerie Phoenix sur l'île Maurice et la poursuite d'autres projets en contextes insulaires, y compris à des fins d'initiation aux techniques du verre et au recyclage.

Au soufflage à la bouche ont succédé des procédés mécaniques ou conjuguant soufflage et moulage, avec des équipements semi-automatiques puis automatiques : machines Tourres, Boucher (verrier de Cognac), à air comprimé, machines semi-automatiques Roirant, puis Lynch et Hartford I.S., plus perfectionnées.

Une quantité déterminée de verre tombe dans un moule monté sur un système à barillet, ou bien il s'agit d'un système à aspiration. Les machines de type Lynch comportent deux séries de moules travaillant successivement : dans les moules de la première série, dits ébaucheurs, la paraison (tombée de l'alimentateur) est soumise à un soufflage préliminaire qui lui donne grossièrement la forme générale de l'objet à fabriquer; dans les moules de la seconde série, dits finisseurs, l'ébauche façonnée est soumise à un nouveau soufflage qui lui confère sa forme définitive.

Les produits ainsi formés sont repris soit par des manœuvres, soit par des transporteurs automatiques, qui les conduisent à l'arche de recuisson, pour annuler les tensions internes : c'est un long tunnel horizontal dans lequel les produits cheminent lentement (sur un tapis sans fin) et se refroidissent

graduellement, pour sortir à une température voisine de la température ambiante (passage de 600 °C à la température ambiante en une à deux heures).

Le Groupe Intermediate Technology, en liaison avec un constructeur britannique de machines verrières (King, Taudevin and Gregson) a considéré la possibilité de réintroduire dans des pays non développés (Malawi, Bangladesh, etc.) les machines Roirant, dont la mise au point remonte au début du siècle et dont l'usage se généralisa au cours des années 1930.

Les machines du type Hartford permettent d'atteindre des cadences nettement plus élevées, par exemple de produire, avec une douzaine d'ouvriers, 20000 bouteilles ou 50000 petits flacons par jour.

Hormis le cas de verreries d'art et d'artisanat, on retiendra que des petites verreries (5 à 15 tonnes/jour) peuvent être viables, notamment dans des pays peu développés, sous réserve de ne pas viser (de façon mimétique) la production d'emballages et autres produits standard fabriqués à cadences très élevées dans les pays industriels, mais des objets (emballages ou autres) de petites séries.

### AUTRES PRODUITS, MOULÉS

– Parmi les produits moulés figurent les billes ou perles de verre, pour les jouets, les rideaux, ou la signalisation routière (ballotines), etc., mais les débouchés sont quantitativement limités et les verres réfléchissants nécessitent un contrôle rigoureux des couleurs, qui conduit à utiliser des matières premières vierges. Il en est de même pour des applications particulières en opto-électronique telles que des coupleurs optiques (technique CD).

Pour le marquage des chaussées, pour des panneaux de signalisation, des plaques minéralogiques, etc., on utilise des microbilles pleines ou creuses. Leur diamètre est du domaine du micromètre, et il convient d'assurer une fusion partielle de chaque particule de verre pour qu'elle se sphérise. Les investissements ne sont pas très importants, mais la conduite du procédé est délicate; elle nécessite un savoir-faire peu répandu.

Une autre application des billes de verre est représentée par le décapage (sablage), par projection sous pression.

– Pour le calcin, une application plus intéressante est représentée par des produits moulés, pleins ou à matelas d'air, destinés au bâtiment : briques pleines ou creuses, pavés de verre, dalles, tuiles ou carreaux à effet de luminosité, blocs de verre à effet prismatique (forme en zigzag, à l'intérieur, réfractant la lumière; ils étaient fabriqués par exemple aux États-Unis, dans les années 1930, par la Luxfer Prisma Company), mosaïques en pâte de verre, etc.

Le calcin est fondu, moulé et pressé. Dans le cas de briques creuses avec effet isolant, une goutte de verre est pressée dans un moule, à environ 1050 °C, permettant d'obtenir une demi-brique creuse. Deux demi-briques creuses sont ensuite assemblées et soudées entre elles, à plus de 1000 °C. De plus, pour éliminer les tensions internes, la brique fait l'ob-

jet d'un recuit à environ 560 °C. De telles briques étaient par exemple fabriquées au début du siècle par la verrerie de Dorignies, dans le Nord, et il existe aujourd'hui en France une dizaine de fabricants de ce type d'articles moulés.

– On peut également rappeler la fabrication de la pierre de verre, pierre céramique ou pierre Garchey, pour des dalles, pavés et autres produits très résistants, y compris des isolateurs électriques.

On opère, outre une fusion du calcin, une dévitrification, qui rend le verre cristallin; il perd sa transparence et prend l'aspect de la porcelaine. La dévitrification peut être obtenue en faisant passer le verre de l'état liquide à l'état solide en le refroidissant très lentement, ou bien en chauffant longuement le verre à une température voisine du point de fusion. Cette technique avait fait l'objet de travaux de Réaumur, et d'autres auteurs, mais elle n'atteindra une échelle industrielle qu'avec Garchey (brevets de 1896 et années ultérieures). Au début du vingtième siècle, quatre usines avaient été construites en France (dans le Rhône, le Gard, l'Oise et à Carmaux), et d'autres à l'étranger.

De façon plus précise, la suite des opérations est décrite par exemple par J. Henrivaux<sup>[3]</sup>: on lave les tessons, on les réduit en menus fragments dans un broyeur; puis, afin d'obtenir des grains réguliers, on les fait passer dans un classeur giratoire (notamment le modèle Coxe, compact: les classeurs superposés, et animés d'un mouvement rotatif, sont assemblés dans une caisse).

Après le classement des poudres de verre, on les dispose dans un moule en fonte et on les fait séjourner pendant une heure environ dans un four d'échauffement; l'action de ce premier four est d'échauffer progressivement la matière, de façon que toutes les parties en soient, autant que possible, également dévitrifiées; en même temps, elles se ramollissent et forment bientôt une matière pâteuse très consistante.

On introduit les moules dans un four porté à 1300 °C, dans lequel on ne les laisse séjourner que quelques minutes.

C'est alors qu'on passe le moule sous la presse hydraulique, pour obtenir une agglomération par pression. Enfin, on fait à nouveau séjourner les moules dans un four de refroidissement. Après quoi, on n'a plus qu'à retirer la pièce de son enveloppe de fonte.

Cette technologie peut-elle aujourd'hui trouver de nouvelles applications?

## FUSION ET APPLICATION SUR UN SUPPORT

Fondant pour émaux et couleurs vitrifiables (pour les poteries, les tuiles vernissées, etc.): la préparation des fondants pour émaux passe par une fusion du calcin (exempt d'impuretés) dans un four (à creuset, à sole, ou tournant), assortie d'une homogénéisation; puis on fait couler le verre liquide, sous forme d'un mince filet, dans de l'eau ou sur des rouleaux métalliques réfrigérés. On obtient un matériau friable, une poudre ou fritte, qu'il est facile de broyer en fines par-

ticules (et les impuretés résiduelles peuvent également être éliminées à ce niveau).

Le produit peut être sous forme sèche. Une alternative consiste à le présenter sous forme humide, en mélangeant le verre fritté avec de l'argile et de l'eau, et d'autres ajouts, suivant des formulations variées, en fonction des exigences relatives aux étapes ultérieures; de même quant aux ajouts métalliques, pour la coloration. Le passage au four du produit enduit entraîne une nouvelle fusion. Il s'agit d'une valorisation intéressante (sous réserve de débouchés locaux) et relativement simple.

S'y ajoutent des applications particulières, par exemple l'utilisation d'un film de verre sur le banc d'étirage de l'acier; le film de verre joue un rôle de lubrifiant.

## FUSION ET FILAGE

Les fibres de verre trouvent des applications dans le verre textile, la laine de verre, le voile de verre, le tissu de verre, ou en tant que fibres de renforcement incorporées dans d'autres matériaux.

Par le passé, la fabrication du verre textile se traduisait par la fusion (à 1550 °C) de billes de verre, mais à cette technique a succédé la fusion directe: le matériau fondu alimente des filières, pour être filé. Maintenu à 1250 °C, il s'écoule par gravité à travers des plaques percées de trous. Au sortir des filières, les fibres sont étirées mécaniquement à grande vitesse, pour obtenir des filaments de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres, suivant les applications.

Dans la filature de la silionne, il s'agit de fibres continues. S'y ajoutent un ensimage, et un bobinage. Divers articles, par exemple des radômes, sont ensuite fabriqués par enroulement filamentaire sur une forme.

Dans la filature de la verrane, l'étirage est réalisé par jet d'air sous pression et conduit à des fibres discontinues. Pour des applications textiles, les fibres de verre sont ensuite tissées. On notera toutefois que les applications purement textiles ne représentent plus qu'une part minoritaire des marchés, au profit des applications dites plastiques.

Les fibres de verre sont utilisées pour renforcer des ciments, ainsi que d'autres matériaux. Cependant, le recyclage du calcin ménager pour les fibres de renforcement n'est généralement pas possible (si on vise des performances élevées) en raison de la forte teneur de ces verres en éléments alcalins.

Par contre, la verrane (notamment pour produire de la laine de verre) peut être obtenue à partir de compositions proches de celles des bouteilles.

Ces fabrications requièrent toutefois des investissements et un savoir-faire importants.

## VERRE EXPANSÉ

Verres à structure cellulaire ou micro-cellulaire, bétons légers ou poreux, mousses de verre pour l'isolation acoustique ou thermique.

Tableau 2

Domaine et type d'application	Caractéristiques requises, technologie, procédé	Observations diverses
<i>Applications en technique routière</i>		
Couche de fondation ou de base en technique routière, assise de chaussée	Verre concassé ou broyé, granulométries variées, et mélange avec d'autres agrégats	Prix de revient généralement beaucoup plus élevé que celui des agrégats traditionnels; forme pauvre de valorisation, alternative à une mise en décharge; débouché tributaire de marchés locaux et de la commande publique; énormes quantités requises pour une application généralisée, dans ce domaine.
Couche de roulement	En mélange avec de l'asphalte, on incorpore jusqu'à 75 % de verre broyé, de granulométrie appropriée. Une réduction du verre en poudre, au lieu d'un simple broyage, permet d'améliorer les liaisons avec l'asphalte. On peut également opérer un traitement de surface du verre, ou bien utiliser des fibres de verre (suivant une technologie plus sophistiquée), dans la proportion de 0,4 % en poids	Coûts supplémentaires (malgré des économies d'énergie de fabrication), mais caractéristiques routières améliorées : propriétés antidérapantes, résistance à l'usure et à l'ornièrage (notamment sous des climats chauds); tributaire de la commande publique; grandes quantités requises; existence de chantiers expérimentaux et de démonstration (aux États-Unis, c'est le Glasphalt).
Croisements dangereux, arrêts de bus	v. ci-dessus	Ces applications, plus spécifiques, peuvent permettre de justifier les coûts supplémentaires, et les besoins quantitatifs sont beaucoup plus limités que dans les cas précédents.
Réparation de chaussées, jointement de fissures	Calcin très fin, mélangé (par exemple dans la proportion de 40 %) à des liants hydrauliques	
<i>Applications dans le bâtiment, ou en génie civil</i>		
Charge dans la fabrication de bétons et parpaings	Verre concassé ou broyé	Faible intérêt; coût généralement plus élevé que celui des agrégats traditionnels.
Charge dans la fabrication de briques ou de tuiles	verre finement broyé (granulométrie inférieure à 0,5 mm); incorporation dans une proportion pouvant aller jusqu'à 70 % en poids	Fusion améliorée; économies d'énergie au stade de la cuisson; résistance mécanique et durabilité (résistance aux intempéries) accrues; mais coûts supplémentaires.
Charge dans la fabrication de supports de carrelages	Verre finement broyé	Application intéressante, sous réserve de l'existence d'une fabrication locale de carrelages d'un certain type.
Jointement de fissures	Verre finement broyé, mélangé à un liant	Intéressant, mais débouchés relativement limités.
Parement de papiers et autres supports bitumés	Verre finement broyé, tamisé, appliqué avant séchage complet du bitume	Application intéressante, vis-à-vis de caractéristiques techniques, ou à fonction décorative.
Shingles (pour couvertures)	En mélange avec de l'asphalte	Fabrications plus ou moins sophistiquées (le cas échéant avec voile de verre).
Applications anti-usure ou anti-dérapantes pour des sols, des tapis de sols, des dalles, des marches d'escaliers, etc.	Broyage fin, granulométrie contrôlée et nécessité d'une excellente adhérence	Applications valorisantes; nécessité d'une fabrication industrielle soignée, rigoureuse.
Tuyaux en béton (tuyaux d'assainissement, etc.)	Mélange de 90 % de verre broyé et de 10 % de styrène ou de méthacrylate de méthyl (monomère)	Le Glass Polymer Composite (GPC) est employé depuis plus de vingt ans aux États-Unis; caractéristiques mécaniques améliorées et bonne résistance chimique (concurrent du grès sanitaire).
Incorporation dans divers produits en béton, tels que corbeilles de rues, supports de contenants d'apports volontaires (du verre, etc.), sols		Programme développé par exemple dans les îles Shetlands.
<i>Autres applications</i>		
Abrasifs, pâtes abrasives, pâtes de polissage, papiers à dégrossir, papier de verre, toile émeri	Broyage fin et tamisage, pour une granulométrie précise, et fixation (par un adhésif approprié) sur un support papier ou textile	Fabrications très rigoureuses requises.

Suivant les cas (les caractéristiques ou performances requises), les procédés sont plus ou moins complexes : une technologie rustique consiste ainsi à utiliser du calcin finement broyé et de la bouse de vache comme agent d'expansion.

Le béton léger est fabriqué par cuisson à 1000 °C, dans des moules, d'un mélange de poudre de verre, de carbone et de carbonate de soude qui, en s'oxydant et en se décomposant, produisent une mousse de verre compacte et résistante. L'agrément du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment pour ce type de produit date de plus de vingt ans.

Expanver, à Aniche (dans le Nord) transforme le verre concassé en boulettes qui sont successivement séchées, frittées à 700 °C, puis expansées (en utilisant un nitrate ou un carbonate, qui provoque l'expansion). Les granules sont utilisés comme charge dans les bétons poreux.

Les investissements ne sont pas très importants, mais la technologie est assez sophistiquée et les prix de revient sont relativement élevés, ce qui nécessite de viser des applications assez spécifiques.

Des matériaux d'isolation hautes performances à base de mousses de verre peuvent également être obtenus par réac-

tion avec du nitrure d'aluminium.

### APPLICATIONS N'IMPLIQUANT PAS UNE FUSION DU VERRE

Un concassage ou broyage du verre de récupération est toutefois nécessaire; suivant les applications, la granulométrie requise est plus ou moins fine et plus ou moins stricte. Le cas échéant, on peut utiliser des fines de verre produites de façon inintentionnelle, mais avec des réserves relatives aux impuretés contenues.

### EN CONCLUSION

Ce balayage (non exhaustif) de diverses pistes de valorisations alternatives, assorti d'une mise en évidence de contraintes associées, est de nature à permettre d'orienter les choix, d'écartier certaines d'entre elles (tri négatif) et d'en pré-sélectionner d'autres, qui devront alors faire l'objet d'un examen plus approfondi.

Il convient en outre de ne pas perdre de vue que la pertinence des choix est fonction d'une part des caractéristiques des gisements concernés, d'autre part des contextes locaux de valorisation.

### Gérard Bertolini

Économiste, directeur de Recherche au CNRS, Université de Lyon I - 43, boulevard du 11 novembre 1918 - Bâtiment 101 - 69622 Villeurbanne cedex

### Bibliographie

1. *Glassware manufacture for developing countries*, Intermediate Technology Publ., 1983
2. *Work from waste*, Intermediate Technology Publ., Londres, 1981
3. *La verrerie du vingtième siècle*, éd. E. Bernard et Cie, Paris, 1903

### Colloque international

# STAB & ENV 99

## STABILISATION DES DÉCHETS ET IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Du 13 au 16 avril 1999

Vers la définition d'objectifs de stabilisation des déchets industriels par la prise en compte de l'impact potentiel sur l'homme et l'environnement. Plus de 80 communications orales de haut niveau, de tous horizons scientifiques et techniques :

#### 7 sessions d'ateliers thématiques sur des problématiques industrielles cruciales :

- gestion des résidus d'incinération des OM,
- valorisation des résidus de process thermiques,
- étude des matrices cimentières,
- réglementation/normalisation/outils d'évaluation,
- retour d'expériences industrielles de stabilisation dans le monde.

#### 2 sessions parallèles concernant des programmes de la Commission européenne

- réseau européen d'harmonisation des procédures de la lixiviation
- réseau neuronal d'analyse des systèmes cimentaires impurs.

- De l'ordre d'une centaine de posters regroupés par thématiques scientifiques
- Un éclairage sur les politiques environnementales internationales (USA, Asie, Europe)
- Une très forte implication de nombreux partenaires industriels ainsi que de l'Ademe, le ministère chargé de l'environnement, le ministère du Logement, le Club Crin environnement ISCOWA, la Commission européenne, l'USEPA
- Des visites industrielles inédites...

Polden - CEI - BP 2132 - 69603 Villeurbanne cedex  
- Tél. : 04 78 89 51 65 - Fax : 04 72 43 98 66  
E-mail : polden@insa-lyon.fr