Conseil National du Recyclage

LA COLLECTE, LE TRI ET LE RECYCLAGE DU VERRE DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

Novembre 2007

Ce dossier thématique a été réalisé à l'initiative du
Cercle National du Recyclage
23, rue Gosselet – 59000 LILLE
Tél. : 03.20.85.85.22
Fax : 03.20.86.10.73
E-mail : cnr@nordnet.fr

Conception, recherche et rédaction :
Jonathan DECOTTIGNIES
avec l'appui de Bertrand BOHAIN, Paul DEFFONTAINE, Delphine GOURLET,
Rémi LANTREIBECQ, Sylviane OBERLE et Marie RODRIGUEZ.

Le contenu de ce dossier reste de la seule responsabilité du **Cercle National du Recyclage**.
En cas d'erreurs ou d'inexactitudes, plutôt que de nous en tenir excessivement rigueur,
merci de nous aider à les corriger en nous communiquant vos observations et commentaires.

© copyright **Cercle National du Recyclage** 2008 – tous droits réservés

LA COLLECTE, LE TRI ET LE RECYCLAGE DU VERRE DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

I. AVANT PROPOS 8

II. QU'EST CE QUE LE VERRE ? 9

1. POUR LA PETITE HISTOIRE 9

2. LES PROPRIETES DU VERRE 10

2.1. Les propriétés chimiques 10

2.2. Les propriétés physiques 10

2.2.1 Les propriétés mécaniques 10

2.2.2 Les propriétés thermiques 10

2.2.3 Les propriétés optiques 11

III. LES ELABORATIONS DES VERRES 13

1. LES MATIERES DE BASE 13

1.1. Les matières premières naturelles 13

1.1.1 Les oxydes formateurs 13

1.1.2 Les oxydes modificateurs 14

1.1.3 Les oxydes secondaires 14

1.2. Le verre récupéré : le calcin 15

2. LA PREPARATION DU LIT DE FUSION 16

2.1. Pour le verre d'emballages 16

2.1.1 Le verre coloré 16

2.1.2 Le verre incolore 17

2.2. Pour le verre à vitre 17

2.3. Pour les verres techniques 17

2.3.1 Les ampoules électriques et les tubes fluorescents 17

2.3.2 Les écrans à tube cathodique et plats 18

3. L'ELABORATION DU VERRE 19

3.1. La fusion 19

3.1.1 Le procédé discontinu 20

3.1.2 Le procédé continu 20

3.2. L'affinage et l'homogénéisation 21

3.3. La braise 22

4. LA MISE EN FORME 22

4.1. La mise en forme du verre plat 22

4.1.1 Le laminage 22

4.1.2 L'étirage 23

4.1.3 Le procédé Float 24

4.2. La mise en forme du verre creux 25

4.2.1 Le pressage 25

4.2.2 Le soufflage 26

4.2.3 Les techniques combinées 26

5. LA RECUISSON 28

6. LES CONTROLES DE QUALITE DES PRODUITS FINIS 28

6.1. Pour le verre d'emballage 28

6.2. Pour le verre plat 29

6.3. Pour les autres verres 29

6.3.1 Les ampoules électriques et les tubes fluorescents 29

6.3.2 Les écrans 29

7. LES PROBLEMES RENCONTRES LORS DE LA FABRICATION ET LEURS SOLUTIONS 30

7.1. La nature du calcin 30

7.2. Les infusibles 30

7.3. Les éléments organiques 31

7.4. Les métaux et alliages métalliques 32

7.5. Les solutions à retenir 32

IV. DONNEES CHIFFREES SUR LA PRODUCTION DES VERRES 33

1. LES PRODUCTEURS ET LES LIEUX DE PRODUCTION 33

2. DONNEES CHIIFREES SUR LA PRODUCTION 34

V. LE VERRE DANS LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES 36

1. LE CONTEXTE LEGISLATIF 36

2. LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES 37

3. LE VERRE DANS LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES 38

VI. LES COLLECTES ET LES DESTINATIONS DES VERRES RECUPERES 39

1. LES MODES DE COLLECTE 39

1.1. La collecte du verre d'emballages ménagers 39

1.1.1 La collecte en apport volontaire 39

1.1.2 La collecte sélective en porte-à-porte 40

1.1.3 La collecte par consignation 41

1.1.4 Quel mode de collecte choisir ? 45

1.2. La collecte des écrans 46

1.3. La collecte des tubes fluorescents 47

1.4. La collecte des autres verres ménagers et assimilés 48

2. L'ESTIMATION DES GISEMENTS COLLECTES 49

3. LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT PRIMAIRES DU VERRE COLLECTE 49

3.1. Le centre de tri 49

3.2. Le centre de regroupement 50

3.2.1 Pour les verres d'emballages ménagers 50

3.2.2 Pour les écrans 51

VII. LE RECYCLAGE DES VERRES 52

1. CAS DU VERRE D'EMBALLAGES MENAGERS 52

1.1. Le centre de traitement : un passage obligatoire 52

1.1.1 La qualité du verre entrant 52

1.1.2 Le traitement du verre 56

1.1.3 La qualité du calcin en sortie de centre de traitement 57

1.2. Le recyclage : le retour chez le verrier 58

2. CAS DES AMPOULES ELECTRIQUES ET DES TUBES FLUORESCENTS 58

3. CAS DES ECRANS 60

VIII. LE CONTEXTE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA COLLECTE ET DU RECYCLAGE DU VERRE 61

1. COLLECTE ET RECYCLAGE DU VERRE 61

1.1. Evolution du taux de collecte 61

1.2. Evolution des quantités recyclées 62

2. ECHANGES COMMERCIAUX DU VERRE 63

2.1. Le calcin 63

2.2. Le verre neuf 65

2.2.1 Par groupe de produits 65

2.2.2 Par pays 65

3. PRIX DE REVIENT DU LIT DE FUSION ET DU CALCIN DU VERRE D'EMBALLAGE 66

3.1. En France 66

3.1.1 Le lit de fusion 66

3.1.2 Le calcin 67

3.2. En Europe 69

4. CONDITIONS DE REPRISE DU VERRE D'EMBALLAGES MENAGERS 70

4.1. Les contrats avec les sociétés agréées 70

4.2. Le soutien à la tonne triée 72

4.3. La reprise du verre 73
4.3.1 La garantie de reprise 73
4.3.2 La reprise garantie 74
4.3.3 La reprise directe 75

IX. L'AUGMENTATION DE LA VALORISATION 76

1. L'AMELIORATION DE LA COLLECTE DES VERRES 76

2. LES PERSPECTIVES TECHNIQUES 78

2.1. La séparation par couleur du verre des déchets d'emballages ménagers 78
2.1.1 Estimation du gisement de verre incolore 78
2.1.2 Modes de tri 78
2.1.3 Estimation du surcoût de la séparation par couleur 80
2.1.4 Non mélange à la source ou démélange par tri optique ? 81

2.2. Le tri des refus de centres de traitement 82

2.3. L'augmentation du taux de calcin dans la production du verre 82
2.3.1 Le verre d'emballages ménagers 82
2.3.2 Les autres verres 83

2.4. L'orientation du calcin vers d'autres marchés : quelques exemples 84
2.4.1 Utilisation en matériaux de construction 84
2.4.2 Utilisation en isolation 84
2.4.3 Utilisation dans les céramiques 86
2.4.4 Utilisation dans les peintures 86
2.4.5 Utilisation en filtration 86
2.4.6 Autres perspectives 87

X. L'AVIS DU CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE. 88

ANNEXE 1 : GLOSSAIRE 90

ANNEXE 2 : BIBLIOGRAPHIE 91

ANNEXE 3 : SITES INTERNET 93

ANNEXE 4 : ACTEURS 94

I. AVANT PROPOS

Le verre est un matériau unique en son genre tant par sa structure que par ses propriétés. Il est présent à tous les stades de vie de l'homme et cela depuis de siècles.

Son usage sous des formes diverses et variées en fait l'un des matériaux le plus utilisé par l'homme. Le verre trouve sa place à la maison (vaisselle, emballages, décoration, télévision, etc.), dans les transports (pare-brises, rétroviseurs, etc.), au bureau (écran, photocopieuse, etc.) ainsi que dans nombreux autres lieux.

Les objets en verre hors d'usage sont abandonnés et deviennent des déchets, tels qu'ils sont définis par la loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.

Le verre, par son recyclage, constitue une source de matière première secondaire pour de nombreuses applications.

Ce dossier, réalisé par le **Cercle National du Recyclage**, à destination des élus et des techniciens responsables de la gestion des déchets, présente le cycle de vie du verre, issu des déchets ménagers et assimilés, depuis la fabrication des objets jusqu'à leur recyclage ou leur valorisation. Ce document tente de répondre à différentes interrogations techniques et économiques et de donner une vision détaillée de l'état de la récupération et du recyclage du verre en France.

Une présentation du verre et de ses propriétés permettra une meilleure compréhension de son utilisation comme matériau dans l'industrie et son utilisation dans des produits de consommation ménagère avant de devenir déchet. Entre l'état de matière et celui de déchet, le verre est passé par de nombreuses étapes. D'abord élaboré, puis mis en forme, il est consommé, abandonné, collecté, traité pour finalement être recyclé ou valorisé. Enfin, le verre reste un enjeu technique, économique, politique et environnemental tant pour les industriels que pour les collectivités locales.

II. QU'EST CE QUE LE VERRE ?

1. POUR LA PETITE HISTOIRE

Le verre est l'un des plus anciens matériaux utilisé par l'Homme. Dès l'âge de pierre, un verre naturel d'origine volcanique, l'obsidienne, servait d'instrument tranchant.

Les plus anciens objets en verre produits par l'Homme ont été retrouvés en Egypte et datent de 3 000 ans avant Jésus-Christ. Leur fabrication reprend un procédé découvert par des marins en Mésopotamie environ 4 500 ans avant Jésus-Christ. Pour installer leur feu de camp sur une plage de sable, ils ont utilisé des blocs de soude naturelle qu'ils transportaient et ont remarqué la formation de perles de « verre » dans le foyer.

Tout d'abord utilisé en morceaux taillés comme objets d'ornementation, le verre est destiné à devenir un contenant alimentaire vers 1 500 ans avant Jésus-Christ. La technique de fabrication consistait à mouler les bols, carafes et autres coupes, autour d'une structure de sable ou d'argile. Cette technique est importée en Europe vers 900 avant Jésus-Christ par les empires romain et grec.

L'invention de la canne de soufflage, probablement par les Phéniciens vers 200 avant Jésus-Christ, a bouleversé les techniques de façonnage. Cette découverte a favorisé l'art verrier qui s'est répandu de l'Orient vers l'Occident grâce à l'empire romain.

L'influence historique de l'église a également stimulé l'art du verre coloré pour la fabrication de vitraux. Dès le XI^{ème} siècle, Venise est la capitale européenne de l'art verrier avec « le cristal de Venise ».

En France, le contrôle de l'industrie du verre par les autorités commence au XVI^{ème} siècle. A partir de 1665, COLBERT concentre l'industrie verrière en créant l'industrie du verre plat devant fournir les miroirs pour le château de Versailles. Il fonde la « Manufacture Royale des Glaces de France » pour lutter contre le monopole de Venise.

A la fin du XVIII^{ème} siècle, le développement de l'industrie chimique a révolutionné l'industrie verrière. La soude fabriquée à partir de sel marin remplace la soude naturelle et la chaux contenue dans les cendres naturelles est substituée par celle fabriquée à partir de calcaire.

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, la révolution industrielle a permis l'introduction des processus mécanisés de formage du verre.

C'est au XX^{ème} siècle que cette industrie devient une industrie de grande production avec la mise en place des fours à feu continu et grâce aux progrès réalisés dans l'automatisation de la production.

Les propriétés du verre et leur amélioration constante en font un matériau presque omniprésent. Incolore ou teinté, à l'état massif ou de fil, en plein jour ou à l'abri des regards, il est l'un des matériaux le plus utilisé par notre société de consommation.

2. LES PROPRIETES DU VERRE

2.1. Les propriétés chimiques

Le verre est un matériau minéral auquel plusieurs définitions peuvent être attribuées. Elles sont différentes suivant que l'on considère le verre comme :

- **un solide obtenu par figement d'un liquide qui n'a pas cristallisé (définition opérationnelle) ;**
- **un solide non cristallin ou vitreux (définition structurale).**

Ces définitions ne peuvent être dissociées et leur complémentarité permet d'obtenir une définition complète du verre qui est un liquide figé caractérisé par son état vitreux.

En plus des propriétés précédentes, la composition chimique du verre, c'est à dire l'ensemble des éléments chimiques qui le constitue, en fait un matériau considéré comme inaltérable (la dégradation s'effectue sur plusieurs milliers d'années).

2.2. Les propriétés physiques

Les propriétés physiques du verre définissent ses caractéristiques propres en tant que matériau. Ces propriétés sont :

- **mécaniques ;**
- **thermiques ;**
- **optiques.**

2.2.1 Les propriétés mécaniques

Le verre est un matériau fragile sur le plan mécanique. Il peut être renforcé par des fibres ou de la matière organique pour le rendre très résistant. Afin de décrire les qualités et les défauts du verre en situations de mises sous contrainte, les paramètres suivants sont analysés :

- **le module élastique** : déformation du verre avant sa rupture ;
- **la contrainte de rupture :** force à appliquer sur le verre afin de le casser ;
- **la corrosion sous contrainte** : vitesse de propagation d'une fissure causée par l'altération due à l'eau ;
- **la fatigue du verre** : usure du verre fragilisé par modification et augmentation des défauts de surface lors d'un traitement (ex : le verre à vitres piqué au bout de nombreuses années sous l'effet des conditions climatiques) ;
- **la dureté** : aptitude d'un verre à rayer ou à être rayé par un autre matériau. Sur l'échelle des minéralogistes (échelle de Mohs), le verre a une dureté de 6 alors que le talc a une dureté de 1 et le diamant une dureté de 10. Ainsi le verre est rayé par un diamant.
-

2.2.2 Les propriétés thermiques

Le verre est un matériau dont les propriétés évoluent en fonction des variations de température. Ces propriétés sont :

- **la chaleur spécifique** : représente la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température d'un degré pour un gramme de matériau (par exemple pour le verre à vitres il faut 0,8 joules pour augmenter la température de 1 degré pour 1 gramme de matière) ;

- **la conductibilité thermique** : détermine la vitesse de changement de température que peut subir le verre ;
- **le coefficient de dilatation** : permet d'exprimer la variation du volume du verre selon la variation de température.

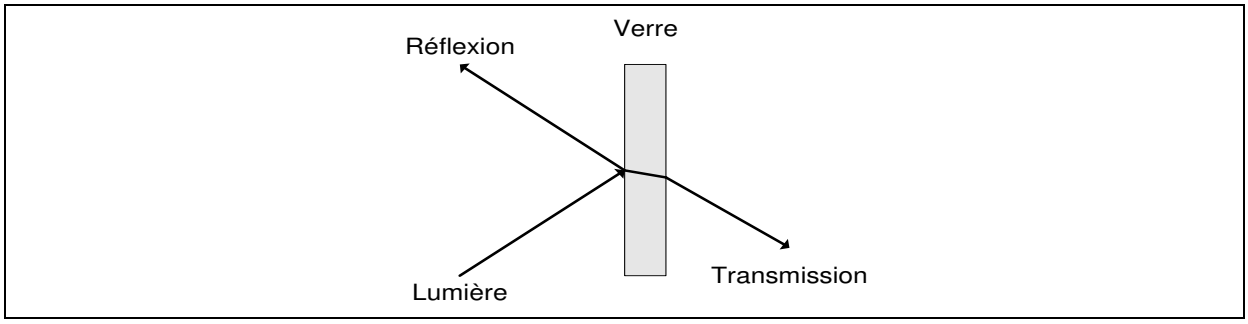
D'après les propriétés thermiques précédentes, le verre possède une bonne résistance aux chocs thermiques (plus grande différence de température à laquelle le matériau peut être soumis sans casser). Il peut également être défini comme un isolant thermique, du fait de sa faible diffusion de chaleur.

2.2.3 Les propriétés optiques

La connaissance et la maîtrise des propriétés optiques du verre sont nécessaires pour la fabrication de nombreux objets : lunettes, vitres, loupes, miroirs, etc. Les principales propriétés sont les suivantes :

- **la réflexion *:*** changement de direction des ondes lumineuses qui rencontrent un corps interposé ;
- **la transmission** : passage et déviation d'un rayon lumineux au travers d'un matériau ;

TRAJET DE LA LUMIERE AU TRAVERS DU VERRE



- **l'absorption** : capacité d'un matériau à absorber un faisceau lumineux et à diminuer son intensité (exemple des lunettes de soleil qui absorbent une partie de la lumière) ;
- **la diffusion** : dissémination des rayons lumineux produits par transmission au travers d'un milieu (exemple de la diffusion d'un rayon lumineux dans l'eau) ;
- **la dispersion** : décomposition de la lumière en plusieurs faisceaux lumineux (exemple de l'arc-en ciel qui est un phénomène de dispersion de la lumière sur un mur d'eau).

De plus, l'ajout de certains métaux dans la fabrication du verre lui confère une coloration[1]. Celle-ci est dépendante de la nature du verre. La coloration du verre permet de modifier les caractéristiques optiques du verre, en filtrant, par exemple, les rayons de la lumière pour protéger un contenu.

[1] Voir III.1.1.2 page 14

Le verre est un matériau dont les qualités sont nombreuses. Il est considéré comme inaltérable en raison de ses propriétés chimiques. Ses propriétés physiques en font un matériau à la fois fragile et résistant. En effet, ses propriétés mécaniques le rendent fragile mais ses propriétés thermiques en font un matériau très résistant à la chaleur, ainsi qu'un bon isolant thermique. Enfin, ses propriétés optiques peuvent être utilisées dans de nombreux domaines pour des appareillages de recherche (chimie, physique, biologie, astronomie, etc.), ou pour la fabrication de produits commerciaux (vitrage, en raison de sa transparence, bouteilles colorées, etc.).

Toutes ces propriétés expliquent que le verre reste un matériau inégalable qui est utilisé dans de nombreux domaines industriels et présent sous toutes ses formes dans notre société.

III. LES ELABORATIONS DES VERRES

L'élaboration des produits en verre, à partir des matières de base, passe par de nombreuses étapes :

- **la préparation du lit de fusion ;**
- **l'élaboration du verre ;**
- **la mise en forme ;**
- **la recuisson ;**
- **les contrôles de qualité des produits finis.**

Chaque type de verre (creux, plat et technique) a un mode d'élaboration différent.

1. LES MATIERES DE BASE

Le verre peut être produit à partir des matières premières naturelles et/ou de verre récupéré (le calcin).

1.1. Les matières premières naturelles

Les matières premières naturelles mélangées pour former le lit de fusion se présentent sous la forme d'oxydes de sulfures ou de carbonates à l'état naturel. Nous pouvons les différencier en trois groupes, selon leur rôle dans la préparation du verre :

- **les oxydes formateurs ;**
- **les oxydes modificateurs ;**
- **les oxydes secondaires.**

1.1.1 Les oxydes formateurs

La propriété principale de ces matières premières est de former la base du verre.

L'oxyde formateur par excellence dans l'industrie verrière est l'oxyde de silicium (SiO_2) plus communément appelé la silice. Il se trouve à l'état naturel sous forme de sable. Cependant, tous les gisements de sable ne sont pas exploitables en verrerie. Il faut un sable contenant plus de 99 % en masse de SiO_2 avec un taux d'impuretés gênantes inférieur à 0,2 % en masse (oxyde de fer[2], etc.). Les sables de très grande pureté, ne contenant que 0,01 à 0,02 % en masse d'impuretés, sont réservés pour les verres d'optique, la cristallerie, et les verres incolores.

L'alumine (Al_2O_3) est associée à la silice pour servir également d'oxyde formateur. Ce minerai existe couramment dans les roches éruptives[3] sous la forme de bauxite ou de feldspaths.

[2] Voir III.1.1.3 page 14
[3] Roches formées par le refroidissement de la lave volcanique.

1.1.2 Les oxydes modificateurs

La caractéristique majeure de ces composés est de modifier les propriétés de la pâte de verre afin d'en faciliter la fabrication, et aussi de rendre le verre inaltérable.

L'oxyde de sodium (Na_2O) et **l'oxyde de potassium** (K_2O) sont « les fondants » nécessaires pour abaisser de plusieurs centaines de degrés la température d'élaboration et de vitrification[4] de la silice. Ces oxydes sont introduits sous forme de carbonates (Na_2CO_3 et K_2CO_3) et de sulfates (Na_2SO_4 et K_2SO_4). Les principales sources de pollution atmosphérique des verreries sont l'émission de gaz carbonique (CO_2) et de dioxyde de soufre (SO_2) émis lors de la décomposition des carbonates et des sulfates.

La chaux (CaO) est un composant important qui assure l'inaltérabilité des verres. Elle est introduite par le carbonate de calcium ($CaCO_3$) de la craie selon la réaction suivante :

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{chauffage}} CaO + CO_{2\ (gaz)}$$

L'oxyde de baryum (BaO) est introduit dans la composition des verres d'écrans avec **l'oxyde de strontium** (SrO_2) pour former un bouclier contre les radiations.

1.1.3 Les oxydes secondaires

Quelques oxydes, dont le total n'excède pas 1 % en masse, sont ajoutés pour modifier la teinte ou les conditions d'élaboration du verre. Il s'agit de :

- **l'oxyde d'arsenic (As_2O_3) et l'oxyde d'antimoine (Sb_2O_3)** : utilisés pour faciliter l'affinage[5] ;
- **l'oxyde de manganèse (MnO_2)** : utilisé pour atténuer les résidus de coloration dus aux traces d'oxydes de fer ;
- **les oxydes métalliques** : utilisés pour teinter le verre[6].

Le tableau suivant détaille les couleurs obtenues selon le métal ajouté au verre.

COULEUR DE VERRE OBTENUE SELON L'OXYDE METALLIQUE INTRODUIT

Oxyde métallique introduit		Couleur(s) obtenue(s)
Oxyde de fer	**Fe_2O_3**	jaune brun
	FeO	bleu vert
Oxyde de cuivre	**CuO**	bleu
Oxyde de cobalt	**CoO**	bleu ou rose
Oxyde de manganèse	**Mn_2O_3**	violet
	MnO	jaune pâle
Oxyde de vanadium	**VO_2**	bleu
	V_2O_3	vert
Oxyde de nickel	**NiO**	bleu ou jaune brun
Oxyde de chrome	**Cr_2O_3**	vert clair
Oxyde de titane	**Ti_2O_3**	violet brun

[4] Température à laquelle la silice devient vitreuse.
[5] Voir III.3.2 page 21
[6] Voir II.2.2.3 page 11

1.2. Le verre récupéré : le calcin

Le calcin est du verre récupéré à partir de déchets (ménagers et assimilés, etc.) ou directement à partir de chutes de fabrication. Il est d'abord trié et nettoyé pour éliminer toutes les impuretés. Ensuite, avant d'être introduit avec les matières premières afin de former le lit de fusion, il est broyé très finement.

CALCIN

Source : Verre Avenir

L'utilisation du calcin présente de nombreux avantages pour l'environnement, ainsi que pour le verrier. En effet :

- elle ne nécessite pas l'extraction de matières premières naturelles et évite la consommation de 60 Kg de fuel par tonne de calcin utilisé pour l'extraction des matières premières naturelles ;
- elle évite le transport de matières premières naturelles sur de longues distances pour transporter le calcin sur de plus courtes distances. Elle limite donc la pollution atmosphérique due au déplacement ;
- elle limite le rejet dans l'atmosphère de polluants (dioxyde de carbone et dioxyde de soufre) causé par la fabrication du verre à partir de matières premières naturelles, les matières se trouvant déjà sous la forme d'oxyde (moins 200 kg de CO_2 rejeté par tonne de calcin utilisé)
- elle diminue la température de fusion[7] (le calcin doit être chauffé à une température plus basse que les matières premières naturelles pour être fondu). Elle permet donc l'économie de 40 kg de fuel par tonne de calcin utilisé.

Cependant, l'industrie ne peut pas fabriquer de verre uniquement à partir de calcin. Il est nécessaire d'introduire des matières premières naturelles afin de corriger les propriétés du lit de fusion (couleur, propriétés optiques, mécaniques, etc.) et ainsi obtenir une homogénéité dans la qualité du produit fabriqué.

[7] Température nécessaire pour faire fondre le calcin et les matières premières naturelles.

De plus, la nature du calcin est très importante car elle détermine son intégration dans la composition de certains verres :

- le verre d'emballage coloré contient du calcin issu de verre d'emballages coloré, incolore ou mixte[8] ;
- le verre d'emballage incolore ne peut contenir que du calcin incolore ayant pour origine les emballages ;
- le verre à vitres ne peut contenir que du calcin incolore essentiellement composé de chutes de découpe de verre à vitres ;
- le verre pour ampoules électriques et tubes fluorescents, ainsi que celui pour les écrans, ne pourront contenir que du calcin de même nature.

2. LA PREPARATION DU LIT DE FUSION

Les proportions d'introduction du calcin et des matières premières naturelles sont différentes pour chaque type de verre.

2.1. Pour le verre d'emballages

2.1.1 Le verre coloré

Le verre d'emballage coloré est le verre qui admet actuellement la plus grande part de calcin dans sa fabrication. Le système de fabrication du verre en France permet d'introduire jusqu'à 90 % de calcin dans le lit de fusion.

La quantité de calcin incorporée dépend de la teinte désirée pour le verre :

- le verre « vert » (bouteilles de vins, de bières, etc.) peut accepter jusqu'à 90 % de calcin mixte[1] ou de couleur verte ;
- le verre « feuille morte » (bouteilles d'apéritifs anisés, etc.) peut accepter jusqu'à 50 % de calcin coloré mixte et jusqu'à 25 % de calcin incolore contenant moins de 5 % de verre coloré ;
- le verre « brun jaune » (bouteilles d'apéritifs, de bières, etc.) peut accepter 20 % de calcin coloré mixte et 30 % de calcin incolore contenant moins de 2 % de verre coloré ;

Il est donc indispensable de compléter les 10 %, ou plus, du lit de fusion par des matières naturelles introduites dans les proportions suivantes :

PROPORTION DES MATIERES PREMIERES NATURELLES DU VERRE D'EMBALLAGE COLORE

SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	CaO	Fe_2O_3
73 %	1 %	15 %	10 %	0,05 %

La composition des matières premières atteint 99,05 % de la masse totale à introduire. Elle devra être complétée par des constituants secondaires afin de rectifier la teinte du verre et d'améliorer les conditions d'élaboration.

[8] Calcin coloré et incolore en mélange.

2.1.2 Le verre incolore

Le verre d'emballage incolore peut contenir 10 % de calcin incolore contenant moins de 0,5 % de verre coloré. Le restant du lit de fusion est composé de matières premières naturelles, introduites dans les proportions suivantes :

PROPORTION DES MATIERES PREMIERES NATURELLES DU VERRE D'EMBALLAGE INCOLORE

SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	CaO
74 %	1 %	15 %	10 %

Les matières premières utilisées doivent être d'une plus grande pureté que celles utilisées pour la fabrication de verre coloré.

2.2. Pour le verre à vitre

Le verre à vitre peut contenir entre 20 et 35 % de calcin incolore. Le restant du lit de fusion est composé de matières premières naturelles, introduites dans les proportions suivantes :

PROPORTION DES MATIERES PREMIERES NATURELLES DU VERRE A VITRE

SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3
72,5 %	1,5 %	13 %	0,3 %	9,3 %	3 %	0,1 %

La composition des matières premières atteint 99,7 % de la masse totale des matières premières naturelles introduites. Elle sera complétée par des oxydes secondaires[9] pour permettre le travail de la pâte de verre.

2.3. Pour les verres techniques

2.3.1 Les ampoules électriques et les tubes fluorescents

L'introduction de calcin issu d'ampoules électriques ou de tubes fluorescents, est de l'ordre de 10 à 15 %. Les matières premières naturelles, ajoutées dans le lit de fusion sont :

PROPORTIONS DES MATIERES PREMIERES NATURELLES DES VERRES D'AMPOULES ELECTRIQUES ET DE TUBES FLUORESCENTS

SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO
73 %	1 %	16 %	0,6 %	5,2 %	3,6 %

La composition des matières naturelles atteint 99,4 % de la masse totale des matières premières naturelles introduites, le reste est composé d'oxydes secondaires destinés à faciliter l'élaboration du verre.

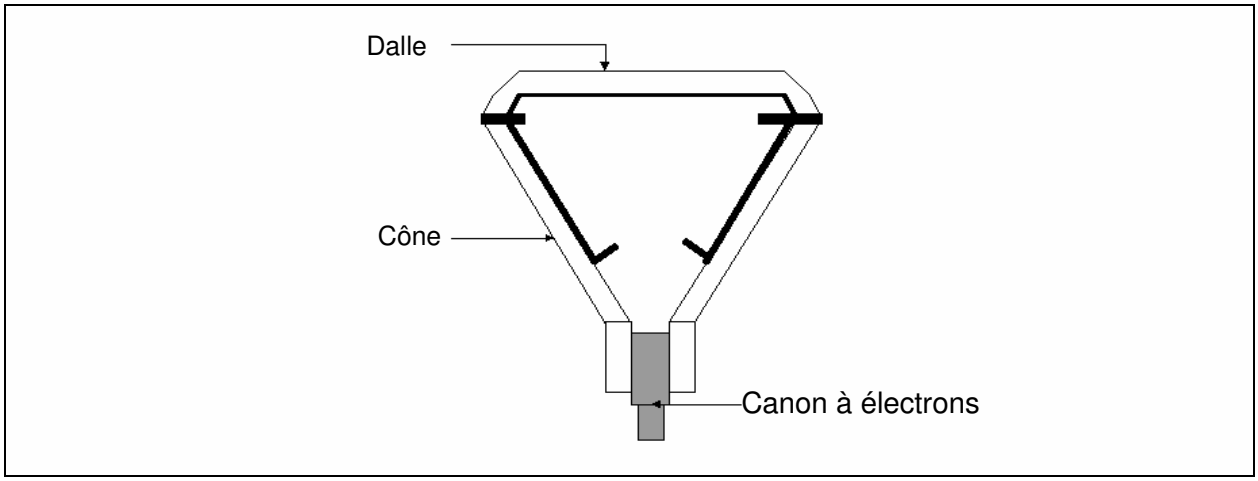
[9] Voir III.1.1.3 page 14

2.3.2 Les écrans à tube cathodique et plats

La préparation de la pâte de verre pour la fabrication d'écrans à tube cathodique est légèrement différente de ce qui a précédemment été présenté. En effet, deux types de verre peuvent être distingués :

- **le verre de la dalle (verre au baryum et au strontium) ;**
- **le verre du cône (verre au plomb).**

SCHEMA D'UN ECRAN



Le verre de la dalle

Le verre issu de la dalle de l'écran contient des oxydes de baryum (BaO) et de strontium (SrO) afin d'absorber les rayons X émis par le canon à électrons (tube cathodique), pouvant ainsi servir de bouclier contre les radiations. Il contient également de l'oxyde de césium (CeO_2) pour empêcher le brunissement du cône dû aux rayons X.

La capacité d'introduction de calcin dans ce verre est de l'ordre de 15 à 25 %. Le reste du lit de fusion est formé de matières premières naturelles dont la composition est la suivante :

MATIERES PREMIERES NATURELLES DU VERRE DE LA DALLE D'ECRAN

SiO_2	Sb_2O_3	ZrO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	SrO	BaO	CeO_2
62,00%	0,35%	1,50%	2,20%	8,00%	7,50%	0,50%	0,20%	8,50%	10,00%	0,25%

Le verre du cône

Contrairement au verre de la dalle qui est un verre au baryum/strontium, le cône est un verre au plomb (PbO). Le plomb stabilise le verre et sert de bouclier contre les radiations de rayons X. Cependant, il est toxique par inhalation et par ingestion. Il est préféré au baryum et au strontium, utilisés comme une alternative au plomb, car il a une plus grande capacité de protection contre les radiations.

Le calcin issu des cônes d'écrans est introduit à hauteur de 15 à 25 %. Le reste du lit de fusion est complété par des matières premières naturelles dans les proportions suivantes :

MATIERES PREMIERES NATURELLES DU VERRE DU CONE D'ECRAN

SiO_2	Sb_2O_3	Al_2O_3	PbO	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	SrO	BaO
52,00 %	0,25 %	4,00 %	22,00 %	6,80 %	7,80 %	3,80 %	1,80 %	0,50 %	1,00 %

Les écrans plats, quant à eux, sont composés de deux plaques de verre renfermant les éléments de technologie LCD ou plasma. La composition de ces plaques est similaire à celle du verre plat vue précédemment. Contrairement aux écrans à tube cathodique, le verre des écrans plats ne contient ni plomb, ni baryum, ni strontium car les technologies employées n'émettent pas de radiation pour le rendu image.

3. L'ELABORATION DU VERRE

L'élaboration du verre représente l'ensemble des opérations au cours desquelles le lit de fusion (matières premières naturelles et calcin broyé) est transformé en verre fondu, apte à être mis en forme. Ces étapes d'élaborations sont :

- **la fusion ;**
- **l'affinage et l'homogénéisation ;**
- **la braise.**

3.1. La fusion

Suivant la nature et la composition du verre, la température est progressivement élevée à 1 300 – 1 400°C. Au cours de cette montée en température, le mélange enfourné subit diverses transformations complexes : déshydratation (évaporation de l'eau résiduelle), dissociation des carbonates et des sulfates avec dégagement de CO_2 et SO_2, fusion de certains composants et dissolution des composants les plus résistants.

VERRE EN FUSION DANS UN FOUR

Source : Saint-Gobain, 2003

La fusion s'effectue dans des fours en matériaux réfractaires qui résistent à des températures supérieures à 1 800°C. Deux procédés sont actuellement utilisés :

- **le procédé discontinu ;**
- **le procédé continu.**

3.1.1 Le procédé discontinu

Le procédé discontinu sert à produire des verres en petites quantités. Deux types de fours peuvent être différenciés :

- **le four à pot** permet l'élaboration de verre en faible quantité dans des pots en réfractaire, placés dans des fours chauffés au gaz ou au mazout ;
- l**e four à creuset de platine** est utilisé pour les verres spéciaux.

3.1.2 Le procédé continu

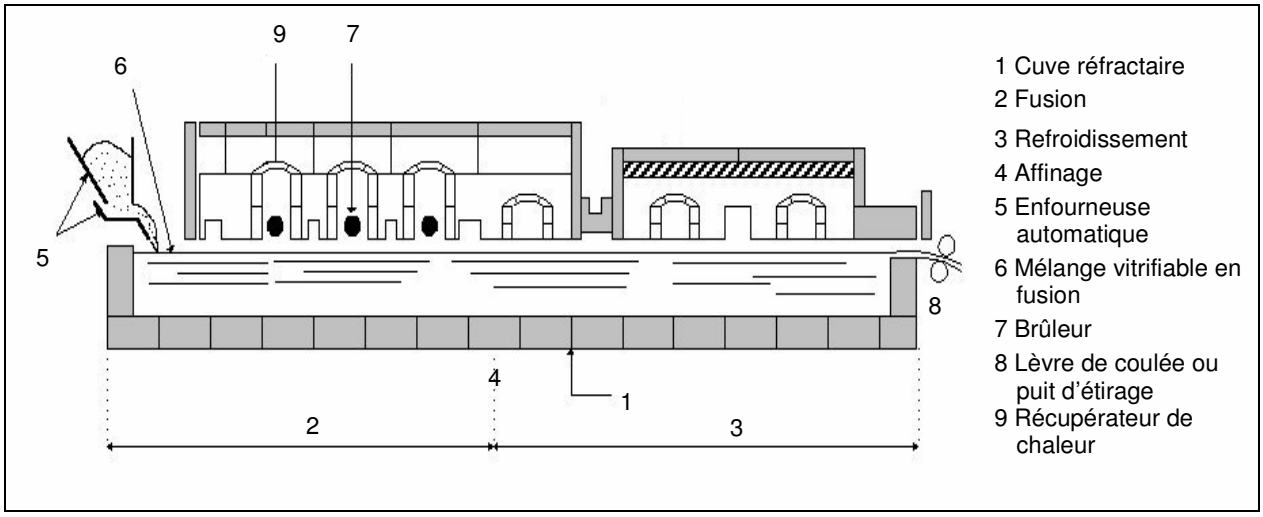
La production massive du verre industriel a lieu exclusivement dans les fours continus, dits fours à bassin, alimentés en permanence en matière. De ce fait, la quantité de verre en fusion est quasi constante dans le four. La durée de vie de ces équipements est estimée à 10 ans.

Il existe deux types de fours à bassin :

- **le four pour verre plat ;**
- **le four pour verre creux.**

Four pour verre plat

COUPE LATERALE D'UN FOUR POUR VERRE PLAT



La partie essentielle d'un four est la cuve (1) qui est construite en blocs réfractaires et dont l'étanchéité est assurée par le verre lui-même. Le chauffage s'effectue grâce au gaz ou au fioul lourd. Le four est équipé d'un dispositif de récupération de chaleur (9). La chaleur émise, lors de la fonte du lit de fusion, est récupérée dans des chambres à empilage de briques qui sont réchauffées. La chaleur est redistribuée sur les brûleurs (7).

Le four comporte deux séries de brûleurs et de récupérateurs, disposés de chaque coté, qui fonctionnent alternativement. Les flammes viennent directement en contact avec la surface du

bassin. Les brûleurs sont réglables individuellement afin de contrôler d'amont en aval le régime thermique du four.

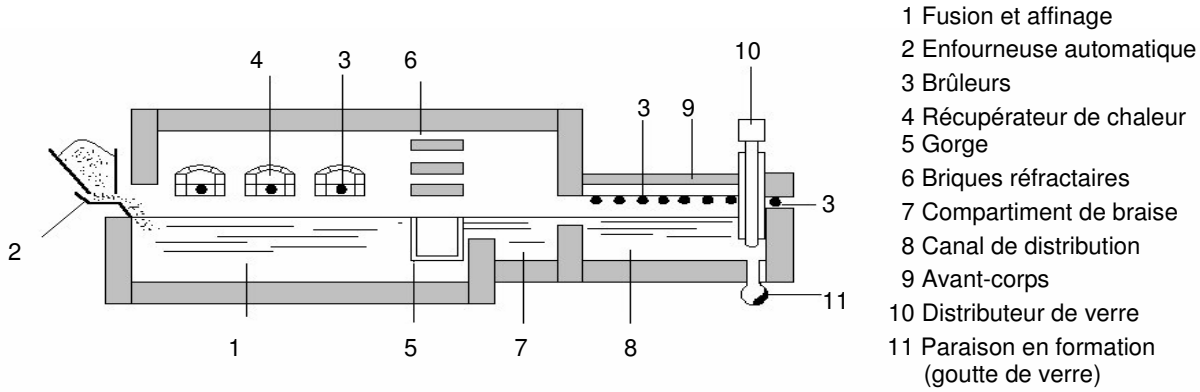
Les matières premières sont enfournées mécaniquement en continu (5). Le verre élaboré est fourni aux machines de mise en forme en aval par une lèvre de coulée (8) ou des puits d'étirage (ceci dépend du système de mise en forme utilisé par l'industriel).

Les étapes d'élaborations ont lieu en continu dans les différentes portions du four.

La fusion en bassin permet de diminuer considérablement le prix de revient en minimisant les dépenses en combustibles. En effet, le bassin est maintenu en température pour éviter les dépenses énergétiques dues à la remise en marche du four. Les bassins de verre plat peuvent contenir jusqu'à 1 000 tonnes de verre pour une surface de 300 m².

Four pour verre creux

COUPE LATERALE D'UN FOUR POUR VERRE CREUX



Les fours pour produits dits en « verre creux » ont le même principe de fonctionnement que le four précédent, à l'exception du compartiment de braise (7) qui est séparé du reste de la cuve par une « gorge » servant de siphon. Le verre est refroidi dans ce compartiment de travail pour être amené vers les machines de formage par une série de canaux de distribution en éventail (8), plus communément appelé « feeders ». Ce dispositif permet de contrôler la viscosité[10] du verre et de multiplier la distribution des paraisons[11] à différents postes de travail.

3.2. L'affinage et l'homogénéisation

Après la fusion, la pâte de verre n'est pas homogène. Elle contient de nombreuses bulles de gaz issues de la dissociation des composants[12], de l'atmosphère du four, de la réaction avec les réfractaires, etc., et qui se trouvent piégées dans ce milieu à forte viscosité.

Pour éliminer ces inclusions, la pâte de verre est affinée. Cette opération consiste avant tout à élever la température du verre fondu, entre 1 450 et 1 550°C, pour diminuer sa viscosité, ce qui rend la pâte de verre plus fluide.

[10] Etat d'un fluide dont l'écoulement est freiné par le frottement entre les molécules qui le composent.
[11] Goutte de verre en fusion.
[12] Voir III.1.1.2 page 14

La vitesse de remontée des bulles à la surface est ainsi augmentée et favorise l'homogénéisation de la pâte de verre. Des agents (Na_2SO_4 ou As_2O_3) sont enfin ajoutés pour affiner le verre. Cet affinage chimique, très complexe, consiste à libérer, en fin de processus de fusion, des quantités importantes de gaz qui prennent naissance sur les fines bulles déjà formées et, en augmentant leur volume, les entraînent plus rapidement vers la surface.

3.3. La braise

Le verre, en fin d'affinage, a une viscosité trop faible pour pouvoir être mis en forme. Sa viscosité est donc augmentée en abaissant la température entre 1 000 et 1 200°C. Cette dernière phase de l'élaboration est appelée la braise. Cette expression date de l'époque où les fours étaient chauffés au bois et les braises étaient maintenues sur le foyer.

4. LA MISE EN FORME

La mise en forme du verre est désormais entièrement mécanisée. Des procédés différents sont utilisés selon le type de verre (plat ou creux) mis en forme.

4.1. La mise en forme du verre plat

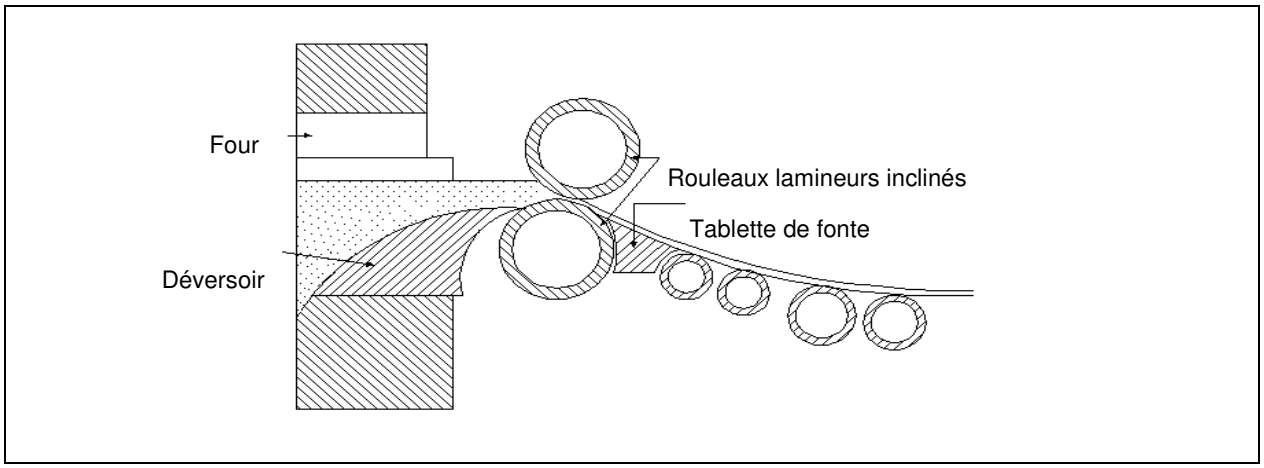
Plusieurs procédés sont employés :

- **le laminage ;**
- **l'étirage ;**
- **le procédé « float » ou la flottation.**

4.1.1 Le laminage

Le laminage consiste à laisser couler la pâte de verre pour la mettre en forme.

SCHEMA DU PROCEDE DE LAMINAGE DU VERRE



Le verre s'écoule du four sur un déversoir, passe entre des rouleaux métalliques refroidis, écartés selon l'épaisseur de verre désirée, qui le figent en un ruban continu. Puis il est débité en plaques dont la longueur dépend du produit voulu. Il est dirigé vers un tunnel de recuisson pour relâcher les tensions internes qui empêcheraient le découpage.

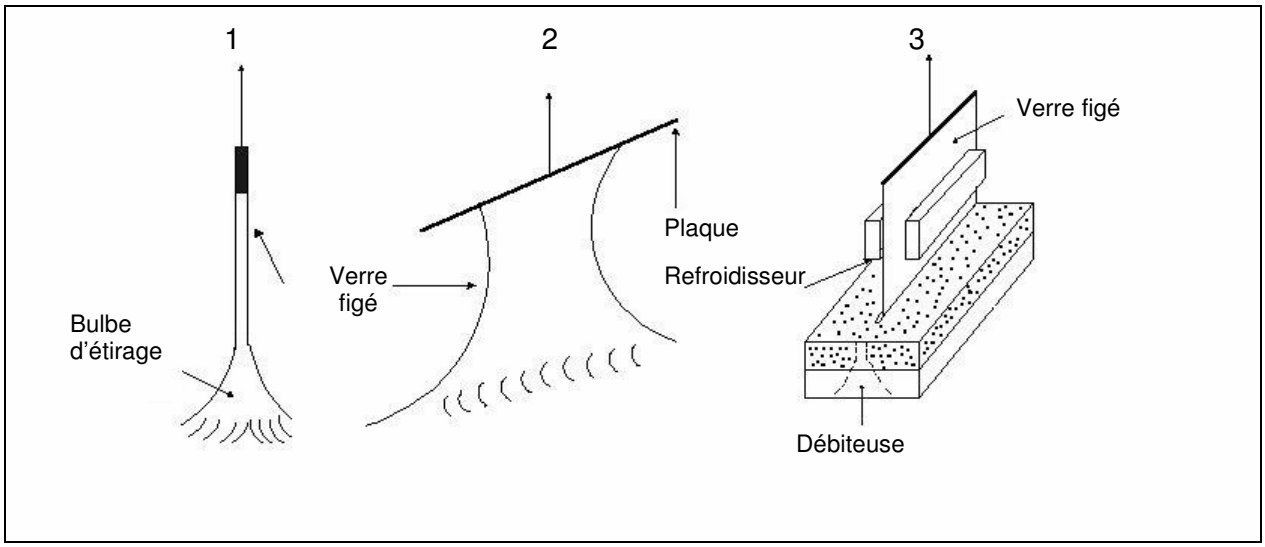
La feuille brute n'est ni parfaitement plane, ni transparente. Elle doit obligatoirement subir après refroidissement des opérations de doucissage et de polissage.

Le laminage du verre a un coût de revient relativement élevé dû aux opérations de doucissage et de polissage. C'est pourquoi, il est fortement concurrencé par les procédés d'étirage.

4.1.2 L'étirage

L'étirage consiste à tirer la pâte de verre.

SCHEMA DU PROCEDE D'ETIRAGE

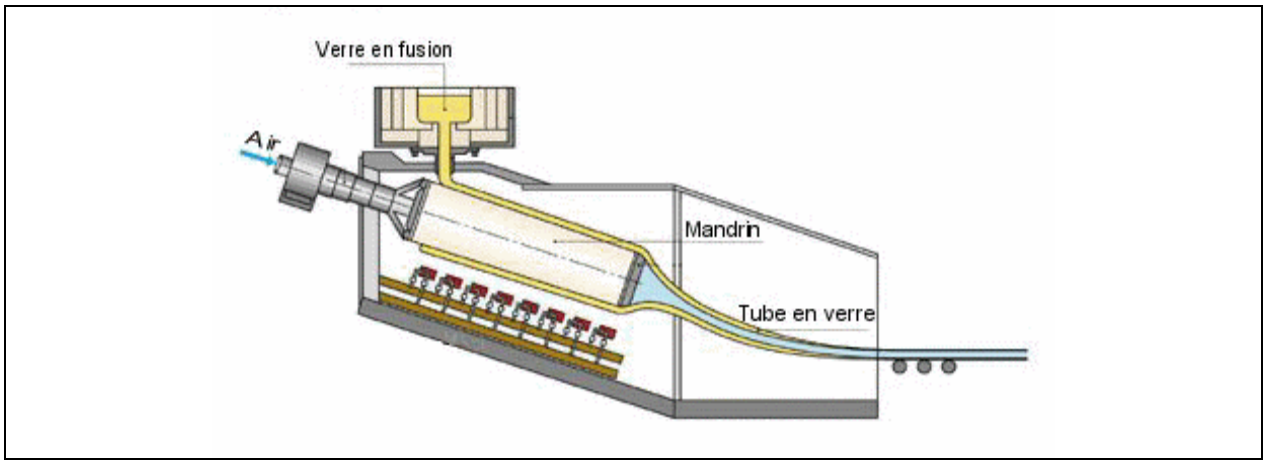


Lorsqu'une plaque solide est plongée verticalement dans le verre fondu et qu'elle est tirée lentement, elle entraîne une certaine portion de la pâte visqueuse qui monte en s'épaississant par refroidissant jusqu'au moment où il se produit une rupture. L'augmentation progressive de la viscosité dans le bulbe permet l'étirage, mais les tensions subies par le verre tendent à rétrécir la largeur et amènent la rupture de la feuille (1 et 2)

Cependant, en figeant les bords de la feuille naissante par refroidissement, pour constituer un cadre plus rigide stabilisant la largeur de la feuille, un étirage sans rupture est possible (3).

Une variante de ce procédé, le procédé Danner, est utilisée pour la fabrication des tubes luminescents.

SCHEMA DU PROCÉDÉ DANNER



Source : Saint-Gobain - 2004

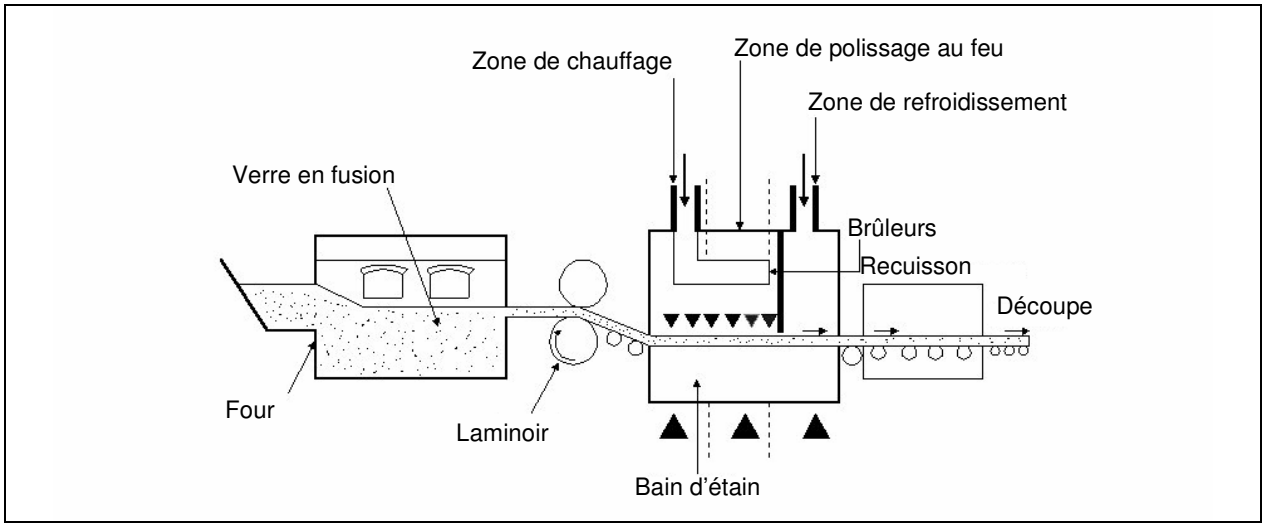
Dans ce procédé, le verre vient enrober un mandrin légèrement incliné vers le bas et animé d'un mouvement de rotation. Une légère pression d'air à l'extrémité du mandrin empêche l'écrasement du tube. Une fois formé, le tube est entraîné par des rouleaux avant d'être découpé puis stocké.

La rentabilité de l'étirage du verre plat en milieu industriel a lui aussi très vite trouvé ses limites. Il a été remplacé par le procédé Float qui est beaucoup plus adapté à la production du verre plat en très grande quantité et à moindre coût.

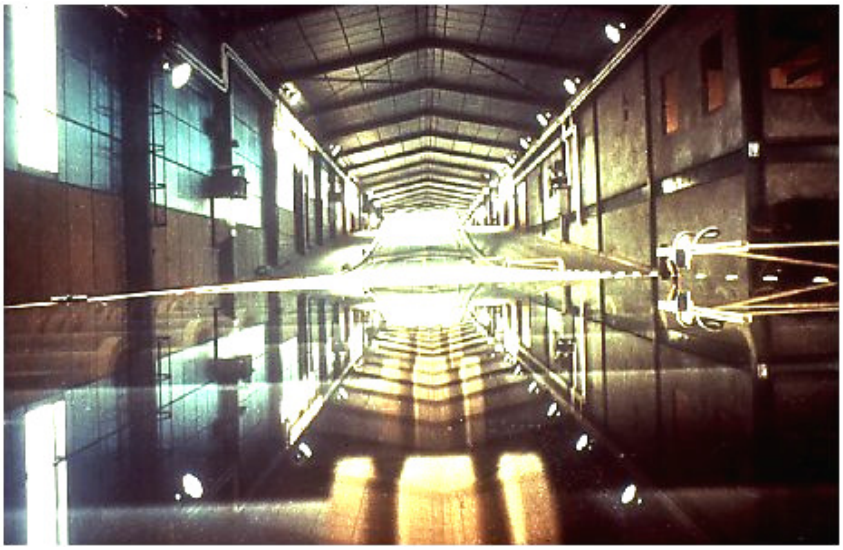
4.1.3 Le procédé Float

Ce procédé, inventé en 1959 par la firme anglaise Pilkington, a provoqué une véritable révolution dans l'industrie du verre plat.

SCHEMA DU PROCEDE FLOAT



BAIN D'ETAIN DU PROCEDE FLOAT



Source : Saint-Gobain, 2003

Le verre en fusion est directement coulé sur un bain d'étain au moyen d'un déversoir. Grâce aux forces et aux tensions qui s'appliquent entre le bain d'étain et le verre coulé, une feuille de verre d'épaisseur uniforme est obtenue. Cette feuille quitte alors le bain d'étain pour passer dans un tunnel de recuisson avant d'être découpée en plaques.

L'avantage principal de ce procédé est d'obtenir une qualité optique élevée et une très bonne planéité sans que ce verre ne subisse un polissage. De plus, la vitesse de sortie du verre est 5 à 10 fois plus élevée que celle des autres procédés.

Cependant, l'installation nécessite un contrôle de l'atmosphère (neutre ou faiblement réductrice) au-dessus du bain d'étain pour éviter son oxydation.

Actuellement en France, ce procédé est majoritairement utilisé pour la fabrication des verres à vitres.

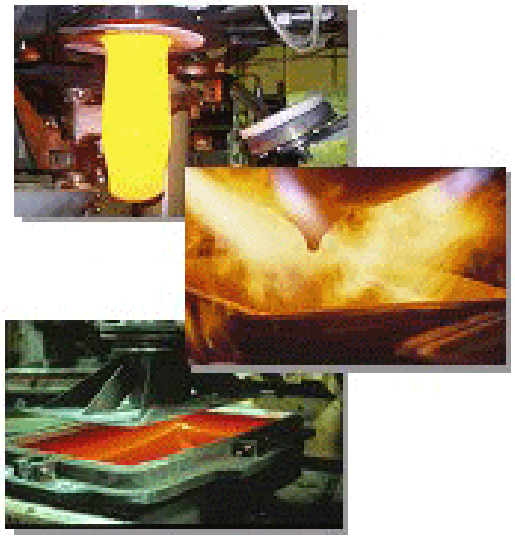
4.2. La mise en forme du verre creux

Pour le verre creux, des techniques de mise en forme différentes de celles du verre plat sont utilisées. Les deux techniques de mise en forme des verres creux sont le pressage et le soufflage. Elles peuvent également être combinées.

4.2.1 Le pressage

Le pressage est une technique qui consiste à presser une goutte de verre en fusion pour lui donner forme. Elle est utilisée individuellement pour la fabrication des cônes et des dalles d'écrans.

PRESSAGE D'UN ECRAN



Source : SCHOTT, 2004

4.2.2 Le soufflage

Cette technique consiste à insuffler de l'air dans une goutte de verre en fusion pour lui donner forme. Elle est utilisée pour la fabrication des ampoules électriques. Un ruban de verre chaud est modelé par une série de creux, puis une bouche de soufflage est insérée dans ce creux, un moule se referme alors sur l'objet en cours de soufflage pour lui donner sa forme définitive.

4.2.3 Les techniques combinées

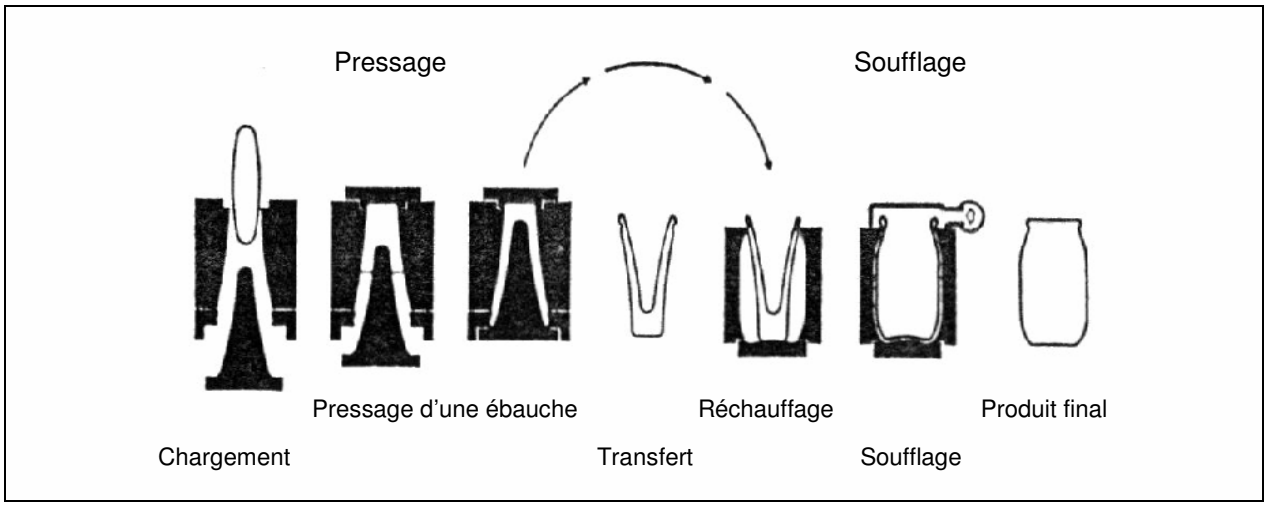
Les techniques du pressage et du soufflage sont combinées pour la fabrication des verres creux et notamment des emballages. Ces techniques combinées sont :

- **le pressage-soufflage** ;
- **le soufflage-soufflage**.

Le pressage-soufflage

Par cette technique, le verre est tout d'abord pressé pour ensuite être soufflé afin d'être mis en forme.

SCHEMA DU PROCEDE DE PRESSAGE-SOUFFLAGE



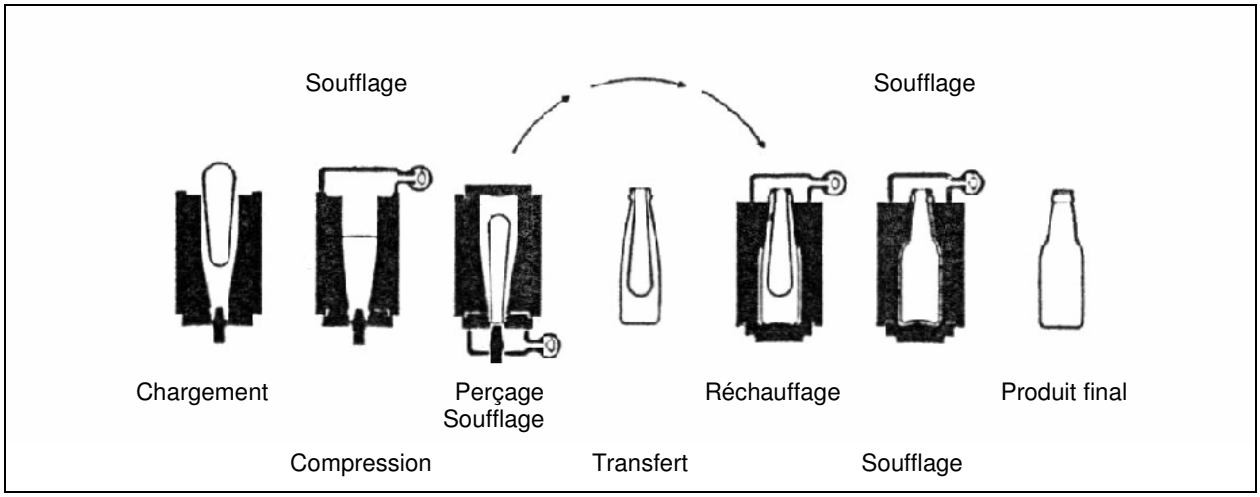
Source : « Les verres et l'état vitreux » - J. ZARZYCKI - 1982

Dans ce procédé de fabrication, une quantité définie de verre en fusion (la paraison) tombe du feeder dans un moule préparatoire. Puis cette goutte de verre est pressée pour former une ébauche du produit. La préforme obtenue est démoulée et transférée vers le moule final, puis elle est réchauffée pour être terminée par soufflage. Cette technique, appelée pressage-soufflage, permet de former des pots et bocaux.

Le soufflage-soufflage

Par cette technique, le verre est soufflé deux fois pour être mis en forme

SCHEMA DU PROCEDE DE SOUFFLAGE-SOUFFLAGE



Source : « Les verres et l'état vitreux » - J. ZARZYCKI - 1982

Dans ce mode de mise en forme, une goutte de verre en fusion, en quantité définie, est chargée dans un moule préparatoire. Dans ce moule, la goutte est d'abord compressée, pour être ensuite percée et soufflée afin d'obtenir une préforme. Cette préforme est transférée dans un moule final où elle est réchauffée. Le soufflage définitif permet de donner forme au produit fini. Le procédé de soufflage-soufflage est principalement utilisé pour la fabrication des verres d'emballage comme les bouteilles.

5. LA RECUISSON

Le verre mis en forme (qu'il s'agisse de verre plat ou de verre creux), doit subir une recuisson. En sortie de chaîne de production, la température du verre avoisine les 650°C. Les parois extérieures se refroidissent plus vite que l'intérieur du verre en raison de sa mauvaise conductivité thermique. Des contraintes apparaissent au sein du matériau. Afin de les annuler, le verre est soumis à un traitement thermique compris entre 500 et 550°C. Cette opération se déroule dans un four appelé arche de recuisson. Dans un premier temps, la température augmente rapidement. Dans un second temps elle diminue lentement afin d'éviter la formation de nouvelles contraintes.

Sans cette étape, la plupart des objets fabriqués se fissureraient ou se briseraient.

6. LES CONTROLES DE QUALITE DES PRODUITS FINIS

Comme dans toute industrie, le contrôle de la qualité du produit en sortie est primordial pour détecter les variations de production et satisfaire les attentes des clients. En fonction du produit, différents tests sont pratiqués pour respecter la conformité au cahier des charges[13] de l'entreprise cliente.

6.1. Pour le verre d'emballage

Un premier test, effectué sur la matière fondue, consiste à passer un échantillon de verre dans un appareil mesurant la couleur ou la transparence de la matière (spectrocolorimètre). Si le résultat n'est pas conforme, le cahier de teintes indique l'ensemble des modifications à apporter au lit de fusion pour le mettre en conformité.

Puis plusieurs tests sont effectués sur la matière mise en forme afin de garantir la qualité du produit fini. Il s'agit des tests suivants :

- **le test de compression** : garantit la solidité de l'emballage ;
- **le contrôle de la planéité de la bague** : évite tout problème lors du capsulage ou du bouchonnage ;
- **le contrôle d'aspect** : détecte la présence de glaçures[14], de bulles, de grains infondus, etc. pouvant entraîner une fragilité à long terme de l'emballage ;
- **le contrôle dimensionnel** : mesure la longueur totale, le diamètre intérieur et extérieur, etc., par vision automatique, sur l'ensemble de la production ;
- **le contrôle du corps et du fond de la bouteille** : repère les défauts et fissures de l'emballage.

[13] Cahier regroupant les exigences de qualité du produit : couleurs, formes, dimensions, etc.
[14] Se présentent sous la forme de coulées de verre sur l'emballage qui peuvent être causées par des infusibles.

CONTROLE DE BOUTEILLES

Source : Verre Avenir

6.2. Pour le verre plat

Un premier test est effectué sur la matière en fusion afin de contrôler la transparence, de la même manière que pour les verres creux. Puis, des contrôles dimensionnels et d'aspect sont effectués sur le produit fini, afin de garantir sa qualité et la constance de ces caractéristiques.

6.3. Pour les autres verres

6.3.1 Les ampoules électriques et les tubes fluorescents

Lors de la production des verres d'ampoules électriques et de tubes fluorescents, les tests suivants sont effectués :

- **le test de transparence** pour observer la conformité de teinte (spectrocolorimètre) ;
- **le test de compression** pour garantir la solidité du verre ;
- **le contrôle dimensionnel** pour vérifier les dimensions et garantir l'adaptation du culot ;
- **le contrôle du corps** pour repérer les éventuels défauts.

6.3.2 Les écrans

Les tests appliqués au verre d'écran sont des plus complets. En effet, la qualité de ce verre, qui sert de barrage aux rayons X, est primordiale et les tests suivants sont pratiqués :

- **le test de transparence** au spectrocolorimètre ;
- **le contrôle dimensionnel de la dalle et du cône ;**
- **le contrôle de la composition du verre et de son homogénéité ;**
- **le test de compression ;**
- **le contrôle de l'aptitude du verre à arrêter les rayons X ;**
- **les autres tests demandés spécifiquement par le client.**

7. LES PROBLEMES RENCONTRES LORS DE LA FABRICATION ET LEURS SOLUTIONS

Certains problèmes peuvent être rencontrés lors de la fabrication du verre. Ils peuvent provenir notamment du calcin utilisé dans la fabrication.

7.1. La nature du calcin

La nature du calcin utilisé dans la fabrication d'un verre est très importante. En effet, il faut qu'il ait une composition quasi similaire au verre produit afin de ne pas trop altérer les propriétés physiques ou chimiques[15] attendues. C'est pourquoi, certains types de calcin doivent être exclus lors de la fabrication en raison de leur réactivité ou de leur composition. Ces calcins sont ceux issus :

- **des verres armés et feuilletés** (ex : pare-brise) qui introduisent des matières organiques[16] ;
- **du cristal** qui apporte du plomb[17] ;
- **de la vitrocérame,** verre très résistant à la chaleur qui apporte des infusibles[18] ;
- **de la verrerie médicale** qui est soumise à des conditions spécifiques quant à son élimination et son recyclage (décret 97-1048 relatif à l'élimination des déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés)

Pour éviter que ces verres ne se retrouvent dans le calcin réutilisable, il faut tout d'abord ***effectuer une communication appropriée auprès des usagers. Il faut, en particulier, indiquer quels sont les verres qui ne doivent pas être jetés avec les verres ménagers. Ce type de communication nécessite une collaboration étroite entre les industriels et les collectivités locales. En effet, ces dernières ne disposent pas toujours des connaissances techniques permettant d'expliquer aux habitants les causes de ces interdictions.***

De plus, les centres de traitements[19] doivent se munir de toutes les technologies nécessaires afin d'extraire les « verres étrangers » du flux à traiter.

Enfin, si des problèmes de qualité du verre sont constatés de manières répétitives, et notamment des erreurs de tri (présence de vitrocérame par exemple), le centre de traitement doit en rechercher la cause et engager une démarche préventive, afin de garantir ses propres normes de qualité. La mise en œuvre d'une pénalisation financière de la collectivité locale ne permet généralement pas de régler le problème.

7.2. Les infusibles

Les infusibles peuvent se présenter sous forme de bouchon, vaisselle, élément de décoration en porcelaine, faïence, grès, vitrocérame, céramique ou sous la forme de carrelage cailloux, graviers, ciments, etc.

[15] Voir II.2 page 10
[16] Voir III.7.3 page 31
[17] Voir III.7.4 page 32
[18] Voir III.7.2 page 30
[19] Voir VII.1.1 page 52

EXEMPLE D'INFUSIBLE : BOUCHON MECANIQUE DE BOUTEILLE

Source : Saint-Gobain, 2003

Le principal inconvénient de ces matériaux est d'avoir une température de fusion plus élevée que celle du verre, d'où l'appellation d'infusible. La présence de ces matériaux dans le calcin génère des tensions dans le verre produit et le fragilise. Les infusibles augmentent le taux de casse dans l'industrie de fabrication et de sous-traitance (ex.: lors de l'embouteillage) et introduisent un risque chez les consommateurs.

La première chose à faire serait d'éviter la mise sur le marché de produits verriers combinés à des infusibles, comme certaines bouteilles de limonade, de bière, etc. Or, de plus en plus de produits de consommation comprenant des bouchons en céramique sont proposés par l'industrie afin de répondre à un effet de mode des produits dits « à l'ancienne ». Cependant, certains efforts ont été faits par des entreprises qui, pour continuer à utiliser ce type de bouchon, auraient préféré le remplacer par du verre blanc ou du plastique afin d'éviter les désagréments engendrés par la céramique.

Les collectivités locales devraient également mettre en place une communication de prévention auprès de leurs usagers, pour indiquer exactement les types de déchets qui ne doivent pas être mélangés avec le verre d'emballages ménagers. De plus, elles peuvent toujours introduire des consignes supplémentaires (par exemple de mettre les bouteilles de verre avec une capsule en céramique dans les ordures ménagères résiduelles).

Enfin, pour garantir une régularité dans la qualité du verre fourni aux verriers, les centres de traitement[20] doivent s'équiper des machines de détections optiques sur les chaînes de traitement afin d'éliminer les éventuels résidus d'infusibles dans le flux.

7.3. Les éléments organiques

Les éléments organiques, comme le bois, le caoutchouc, les matières plastiques, les putrescibles (aliments, déchets verts), le papier, etc., se comportent comme des éléments réducteurs lors de la fusion du verre. Ils favorisent l'absorption de l'oxygène, nécessaire pour les étapes d'affinage et d'homogénéisation[21], et forment du gaz carbonique. La présence de ce

[20] Voir VII.1.1 page 52
[21] Voir III.3.2 page 21

dernier peut entraîner des modifications du bain de verre avec pour conséquences une variation de la teinte et la présence de mousse sur le bain de fusion.

C'est pourquoi les centres de traitement[22] trient et nettoient le calcin, par des procédés mécaniques, pour permettre ensuite son utilisation dans les fours verriers.

7.4. Les métaux et alliages métalliques

Trois catégories de métaux peuvent marquer leur présence lors de la fusion du verre et entraîner une modification du bain de fusion :

- **le fer, le cuivre, le nickel, etc.** peuvent produire des traînées colorées[23] ou modifier la teinte du bain de fusion ;
- **l'aluminium** fragilise le verre lors de sa mise en forme ;
- **le plomb** est un vrai poison pour les fours verriers classiques. Il s'infiltre dans les joints du four, les casse et peut provoquer des coulées de verre accidentelles.

Pour empêcher toutes ces réactions, il est donc indispensable que les centres de traitement[24] mettent en place les moyens mécaniques (courants de Foucault, overband) nécessaires, ce qui est généralement le cas, à l'élimination de ces métaux.

7.5. Les solutions à retenir

Afin d'éviter la présence de ces éléments totalement indésirables dans le flux de verre, un travail à chaque niveau s'impose :

- ***les producteurs de biens emballés doivent limiter la commercialisation de produits en verre combinés à des matériaux considérés comme indésirables (bouchons en céramiques) ;***
- ***les collectivités locales doivent, en partenariat avec les industriels, communiquer de manière pertinente auprès des usagers afin de les sensibiliser à cette problématique ;***
- ***Les industriels doivent mettre en place dans les centres de traitement l'ensemble des technologies nécessaires pour éliminer la totalité des indésirables afin de répondre aux impératifs de qualité imposés par les verriers.***

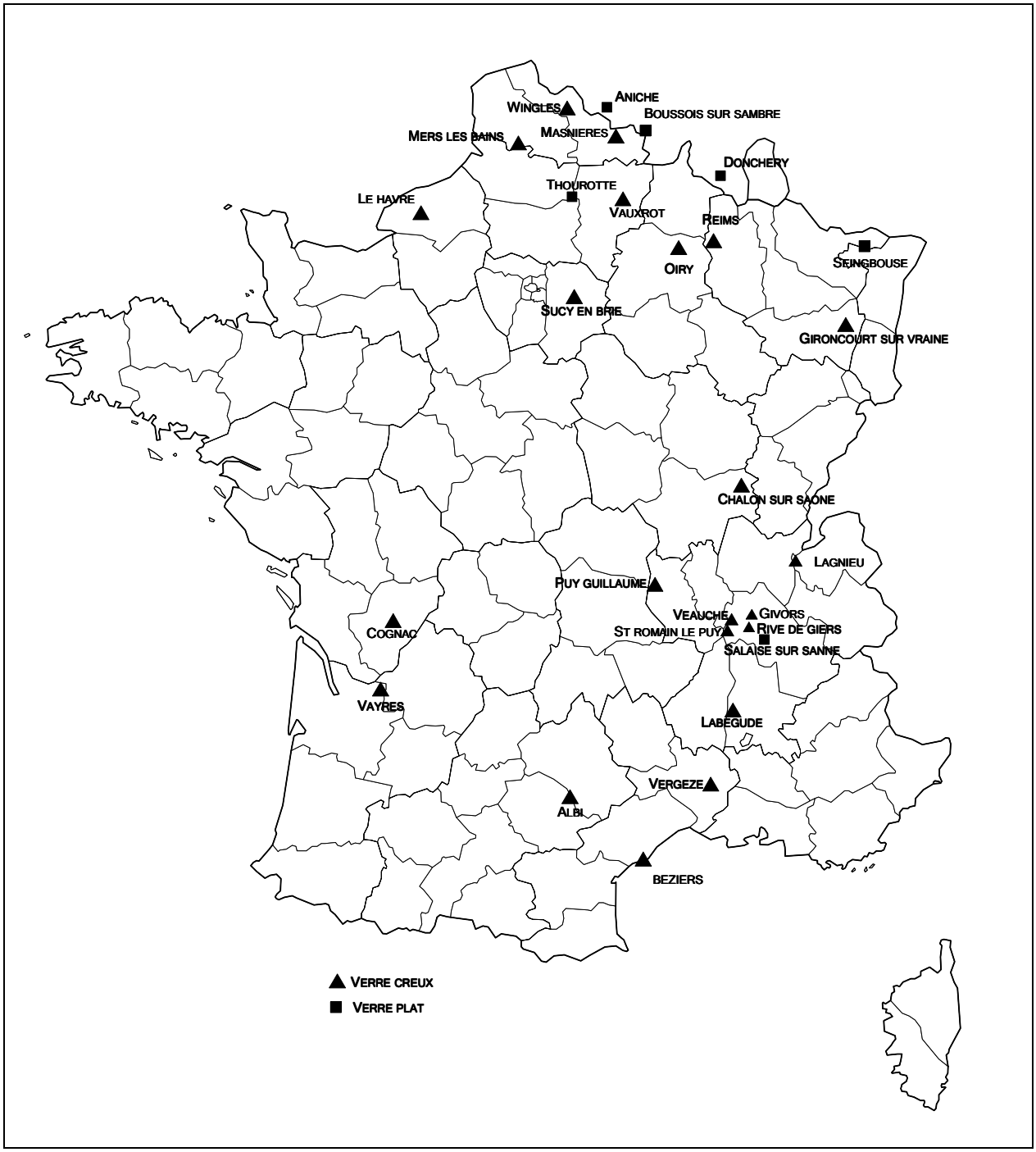
[22] Voir VII.1.1 page 52
[23] Voir II.2.2.3. page 11
[24] Voir VII.1.1 page 52

IV. DONNEES CHIFFREES SUR LA PRODUCTION DES VERRES

1. LES PRODUCTEURS ET LES LIEUX DE PRODUCTION

Le marché mondial, ainsi que les marchés européens et français sont dominés par deux entreprises : Saint-Gobain et Owens illinois. Ces sociétés contrôlent la quasi-totalité des marchés, qu'il s'agisse des verres creux, plats ou techniques.

CARTOGRAPHIE DES LIEUX DE PRODUCTION DE VERRE EN FRANCE



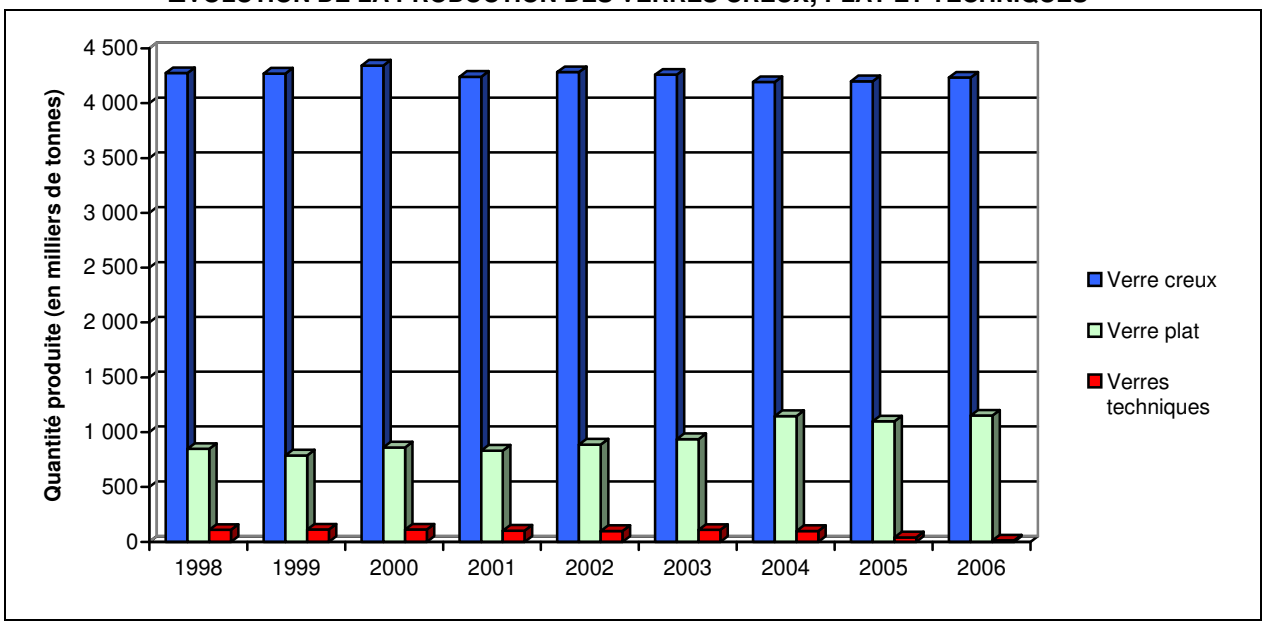
Les usines de fabrication de verre sont densément implantées sur le territoire français. La majorité d'entre elles sont des installations de fabrication de verre creux.

Les producteurs de verre creux sont stratégiquement implantés près des lieux de production des produits conditionnés en verre (vins pour le bordelais et le lyonnais, bières pour le nord, vins effervescents pour la Champagne, etc.)

2. DONNEES CHIIFREES SUR LA PRODUCTION

L'industrie verrière française produit chaque année des millions de tonnes de produits finis qui se répartissent entre les verres creux, plats et techniques.

EVOLUTION DE LA PRODUCTION DES VERRES CREUX, PLAT ET TECHNIQUES



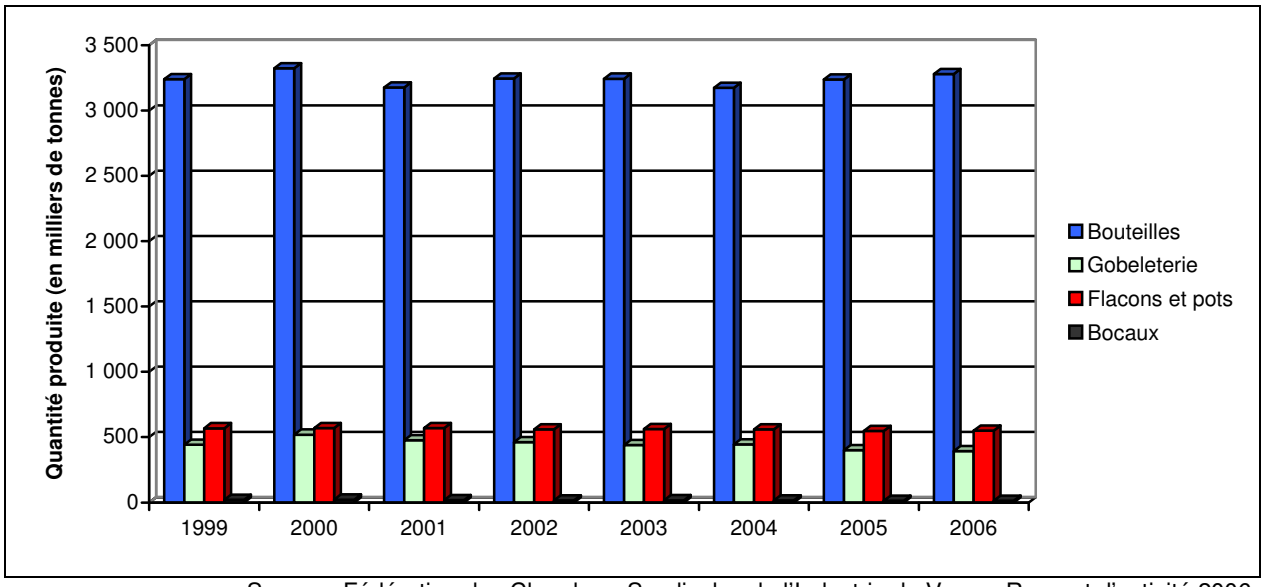
Source : Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - Rapport d'activité 2006

L'industrie du verre creux est la plus productive de l'industrie verrière avec une production de plus de 4 234 700 tonnes. La production en 2006 est en très légère croissance par rapport à celle de l'année précédente.

En 2006, la production du verre plat est en croissance avec plus de 1 151 222 tonnes produites, soit une hausse de 5 % par rapport à l'année 2005. Dans cette production, la tendance de répartition s'est inversée par rapport à 2005, désormais 46 % de la production de verre plat sont destinés au secteur automobile et 54 % au secteur du bâtiment.

Les verres techniques sont quant à eux en forte diminution, avec la production de 13 468 tonnes de verre soit une baisse de 67 %. Les verres d'écrans à tube cathodique représentent toujours la majeure partie de la production de verres techniques. Cependant, leur remplacement par les écrans plats explique cette forte décroissance, ce qui a également provoqué en 2006 la fermeture de la dernière usine française d'écrans à tube cathodique. Les quantités de verre produites pour la fabrication d'ampoules électriques et de tubes fluorescents sont très faibles comparées à celles des autres verres techniques.

EVOLUTION DE LA PRODUCTION DE VERRE CREUX



Source : Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - Rapport d'activité 2006

Pour l'année 2006, la bouteillerie représente 77 % en tonnages des verres creux fabriqués, ce qui correspond à une production de plus de 8 milliards d'unités. Les flaconnages et les pots, avec 13% des tonnages de verre d'emballages produits, ont une production qui est restée stable en 2006. La gobeleterie et les bocaux représentent 10 % de la production des verres d'emballage. La gobeleterie et la production de bocaux connaissent une faible diminution de la production de 2 %.

V. LE VERRE DANS LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

1. LE CONTEXTE LEGISLATIF

Selon le cadre législatif, défini par la **loi du 15 juillet 1975**[25]**,** l'emballage en verre devient un déchet quand son détenteur l'abandonne ou le destine à l'abandon. Le texte de cette loi précise que les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) assurent l'élimination des déchets des ménages. Elles peuvent également prendre en charge des déchets d'origines industrielle et commerciale, si cela ne crée pas de « sujétions techniques particulières ».

Cette loi a été modifiée et complétée par la **loi du 13 juillet 1992**[26], qui développe notamment les points suivants :

- **réduire la production des déchets ;**
- **valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie.**

La **directive du parlement européen et du conseil du 20 décembre 1994**[27] a pour objet « d'harmoniser les mesures nationales concernant la gestion des emballages et des déchets d'emballages ». Pour ce faire, le texte fixe des objectifs nationaux de valorisation des déchets d'emballages et de recyclage des matériaux d'emballages. Elle a été modifiée par la **directive du 11 février 2004**[28] qui fixe les nouveaux objectifs de valorisation des déchets d'emballages et de recyclage des matériaux issus d'emballages.

Les états membres doivent également prendre les mesures nécessaires afin d'instaurer des systèmes assurant :

- **la collecte et/ou la reprise des emballages utilisés ;**
- **la réutilisation ou la valorisation des emballages et des déchets d'emballages collectés.**

La France transpose cette directive au moyen de quatre décrets :

- le **décret du 1er avril 1992**[29] stipule que tout producteur est tenu de pourvoir ou de contribuer à l'élimination de ses déchets d'emballages. Pour cela, l'entreprise peut choisir d'éliminer elle-même ses déchets, par un système de consignation ou par la mise en place de points de collecte des, ou d'adhérer à un organisme agréé par les pouvoirs publics, prenant en charge les emballages usagés de ses contractants ;

[25] Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.
[26] Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement.
[27] Directive 94/62/CE relative aux emballages et aux déchets d'emballages.
[28] Directive 2004/12/CE du parlement européen et du conseil modifiant la directive 94/62/CE relative aux emballages et déchets d'emballages
[29] Décret n° 92-377 du 1er avril 1992 portant application, pour les déchets résultants de l'abandon des emballages, de la loi 75-633 du 15 juillet 1975 modifiée relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux

- le **décret du 13 juillet 1994**[30] stipule que les détenteurs de déchets d'emballages, autres que ceux produits, consommés ou utilisés par les ménages, ont l'obligation d'en assurer l'élimination. Ces déchets d'emballages doivent être éliminés soit par réemploi, soit par recyclage, soit par toute autre action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;
- le **décret du 18 novembre 1996**[31] présente les exigences en matière de contenu des plans et indique quelles sont les autorités compétentes. Il définit également les membres de la commission consultative des plans et les modalités de consultation et d'information du public et enfin les échéances pour leur révision ;
- le **décret du 20 juillet 1998**[32] indique, quant à lui, que l'emballage doit être conçu et fabriqué de manière à limiter son volume et sa masse au minimum, à permettre sa réutilisation ou sa valorisation, et à limiter son impact environnemental lors de son élimination.

Ces textes réglementaires définissent les obligations et les interdictions pesant sur la collecte et la valorisation des déchets ménagers et assimilés et particulièrement les déchets d'emballages en verre.

Concernant les déchets d'équipements électriques et électroniques, dont font parti les écrans et les tubes néons, le **décret du 20 juillet 2005** définit les dispositions relatives à leur enlèvement et à leur traitement[33].

2. LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

Les déchets ménagers et assimilés peuvent être répartis en trois catégories en fonction de leur origine :

- **les ordures ménagères au sens strict** : fraction des déchets produits par l'activité domestique des ménages et prise en compte par la collecte régulière (sélective ou classique) ;
- **les déchets encombrants des ménages** : fraction des déchets ménagers liée à une activité occasionnelle qui, en raison de leur volume ou de leur poids, ne peut être prise en compte par la collecte régulière ;
- **les déchets assimilés aux ordures ménagères** : fraction des déchets issus de l'activité économique de l'artisanat, des commerces, etc., et utilisant les mêmes circuits d'élimination que les déchets ménagers non dangereux.

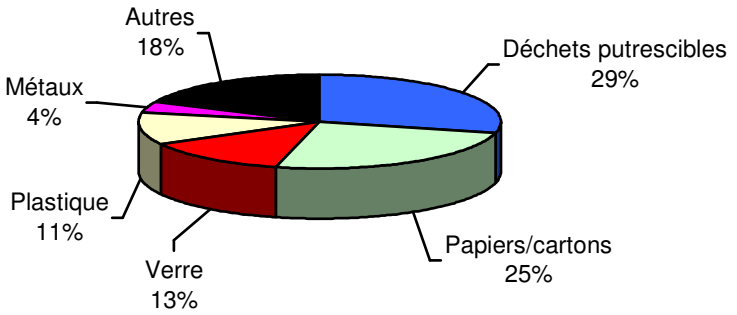
COMPOSITION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

Type de déchet	Tonnage (millions de tonnes/an)	Part des déchets (en %)
Ordures ménagères au sens strict	22	68
Déchets encombrants des ménages et déchets verts	6	18
Déchets assimilés	4,5	14
Total	32,5	100

Source : ADEME – Les déchets en chiffres - 2007.

[30] Décret 94-609 portant l'application de la loi 75-633 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux et relative, notamment, aux déchets d'emballages dont les détenteurs finaux ne sont pas les ménages.
[31] Décret n°96-1008 relatif aux plans d'élimination des déchets ménagers et assimilés.
[32] Décret n° 98-638 du 20 juillet 1998 relatif à la prise en compte des exigences liées à l'environnement dans la conception et la fabrication des emballages.
[33] Décret n°2005-6829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements.

COMPOSITION MOYENNE DES ORDURES MENAGERES EN FRANCE (EN % MASSIQUE)



Source : ADEME - Déchets municipaux : les chiffres clés - 2003

3. LE VERRE DANS LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

Les verres issus des déchets ménagers et assimilés peuvent se classer en différentes catégories distinguées principalement par la composition du verre[34]. Ces trois catégories sont :

- **les verres creux** : bouteilles, pots et bocaux alimentaires, bouteilles de parfum, gobelets, verres, carafes et autres contenants en verre, exceptés ceux en cristal[35] ;
- **les verres plats** : verre à vitres et miroirs ;
- **les verres techniques** : écrans de télévisions et d'ordinateurs, ampoules électriques, tubes fluorescents, cristal, lunettes, assiettes et plats en pyrex, plaques vitrocéramiques, etc.

Concernant les ordures ménagères au sens strict et les déchets assimilés, les verres creux sont la fraction la plus importante. Ils représentent près de 13 % en masse, soit près de 2,9 millions de tonnes par an. Cependant Il n'est pas rare d'y retrouver certains verres plats et techniques (miroirs brisés, ampoules électriques, etc.) mais en quantité considérée comme négligeable.

A ce jour, aucune estimation permettant de connaître la part exacte du verre dans les déchets encombrants des ménages n'existe. Cependant, les verres les plus fréquemment trouvés sont les verres plats (vitres, miroirs, etc.), et les verres d'écrans (télévisions, ordinateurs, etc.).

[34] Voir III.2 page 16
[35] Le cristal est considéré comme un verre technique dû à sa forte teneur en plomb.

VI. LES COLLECTES ET LES DESTINATIONS DES VERRES RECUPERES

1. LES MODES DE COLLECTE

En réponse à la nécessité de réaliser des économies d'énergie suite aux chocs pétroliers de 1973, la collecte sélective du verre d'emballages ménagers a commencé en 1976.

Les modes de collecte utilisés pour la collecte du verre d'emballages ménagers et des autres déchets en verre sont distincts.

1.1. La collecte du verre d'emballages ménagers

Concernant la collecte du verre d'emballages ménagers, plusieurs modes de collectes sont actuellement en place :

- **la collecte en apport volontaire ;**
- **la collecte sélective en porte-à-porte ;**
- **la collecte par consignation.**

1.1.1 La collecte en apport volontaire

C'est un mode d'organisation de la collecte dans lequel l'usager ne dispose pas d'un contenant qui lui soit affecté en propre. La collectivité met à la disposition des usagers un réseau de contenants réparti sur le territoire et accessible à la population. Les conteneurs utilisés sont des colonnes d'une capacité variant de 2 à 4 m^3 en plastique ou en métal. Ils sont regroupés en points d'apport et sont implantés sur le territoire de la collectivité (déchèterie, voie publique, parking, centres commerciaux, etc.). Ils peuvent être différenciés sous deux formes :

- **en surface à même le sol (conteneur aérien) ;**

CONTENEUR D'APPORT VOLONTAIRE AERIENS

Source : Communauté d'agglomération Amiens Métropole

- **enterrés avec une borne d'introduction des déchets dépassant du sol.**

CONTENEURS D'APPORT VOLONTAIRE ENTERRES

Source : Communauté d'agglomération du drouais

Les conteneurs disposés sur le territoire de la collectivité peuvent être désormais équipés de systèmes intégrés de détection du remplissage. L'avantage premier de ce principe est de permettre une optimisation des tournées de collecte et évite ainsi le vidage de bennes à moitié remplies ou leur débordement, avec dépôt de déchets autour.

Selon le type de collecte organisé par la collectivité, ces conteneurs peuvent soit accepter les emballages en verres ménagers seuls, soit en mélange avec d'autres déchets ménagers recyclables (emballages en papier/carton, bouteilles plastique, boites de conserve, etc.)

Le verre d'emballages ménagers peut également être collecté par couleur. Pour cela, plusieurs conteneurs facilement différentiables peuvent être installés côte à côte, certains spécifiques à la collecte du verre transparent et d'autres réservés au verre coloré.

1.1.2 La collecte sélective en porte-à-porte

La collecte en porte-à-porte est un mode d'organisation dans lequel un contenant est affecté à un groupe d'usagers nommément identifiables et où le point d'enlèvement des déchets est situé à proximité immédiate du domicile de l'usager ou du lieu de production des déchets.

La collecte sélective en porte-à-porte est une collecte à domicile, des déchets recyclables (verre, papier, plastique, métaux, déchets organiques), préalablement triés selon leur nature, en vue d'un traitement spécifique. Trois types de contenants sont associés à ce type de collecte :

- **des bacs à roulettes compartimentés ou non avec ou sans opercule d'introduction ;**
- **des caissettes ;**
- **des sacs.**

CONTENANTS DE COLLECTE SELECTIVE EN PORTE-A-PORTE

Source : Ville de Paris, www.martignas.org, www.interpack.fr

Ce mode de collecte présente le taux de captage du verre le plus performant.

La collecte sélective du verre peut s'effectuer de deux manières distinctes :

- **en mélange avec des déchets recyclables** : par ce mode de collecte, le verre est mélangé avec d'autres déchets recyclables. Son principal avantage est que le geste de tri est extrêmement simplifié pour les habitants. De plus, le coût de collecte est réduit. Cependant, sa particularité est que les déchets triés doivent être séparés, en centre de tri[36], selon leur nature (verre, plastique, papier, métaux) avant d'être envoyés vers la filière de recyclage appropriée ;
- **séparée des autres déchets** : par ce mode de collecte, le verre est collecté séparément des autres déchets recyclables. Cependant son inconvénient majeur est les erreurs de tri de la part des ménages. Ce mode de collecte évite cependant le passage du verre en centre de tri.

Le mode de collecte et le type de contenant restent le choix de la collectivité locale compétente.

1.1.3 La collecte par consignation

La consignation des emballages en verre, c'est à dire la collecte par retour au distributeur en vue du réemploi ou du recyclage, est très développée auprès des cafés, hôtels et restaurants du fait de sa récupération simple et de son efficacité.

Ce mode de collecte est également appliqué, de manière marginale, auprès des particuliers. Il peut se présenter de deux manières différentes :

- **la consignation par apport volontaire** : les particuliers se présentent dans certains magasins spécialisés et paient une consigne par bouteille. Dès le retour de ces bouteilles au magasin, soit le client rachète des bouteilles pleines exonérées du montant de la consigne, soit rend les bouteilles sans en reprendre et se fait remboursé le prix de la consigne ;
- **la consignation par reprise à domicile** : le principe est identique que précédemment mais les bouteilles sont livrées directement à domicile.

De plus, deux modes de consignations peuvent être différencié selon la destination finale de l'emballage.

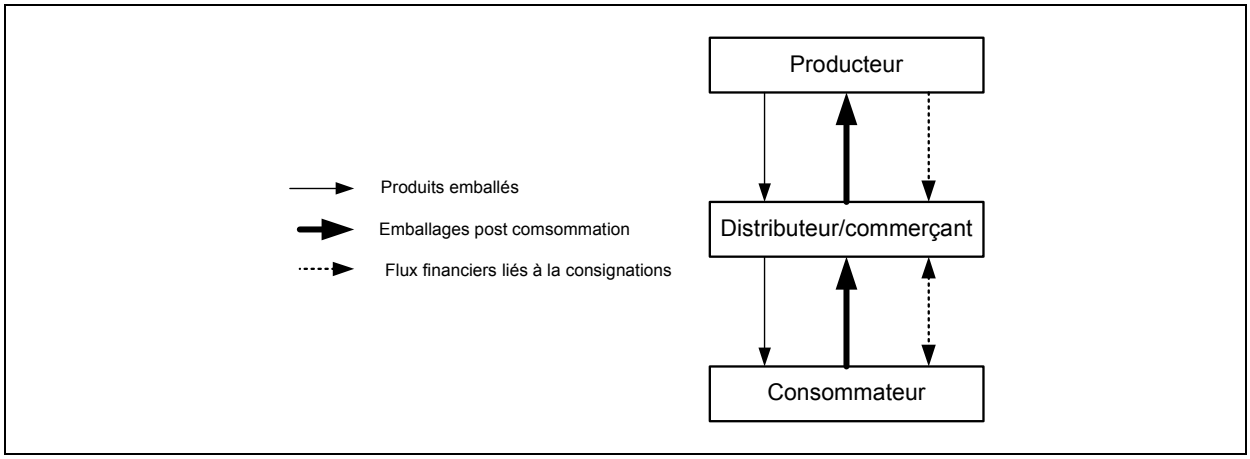
[36] Voir VI.3.1 page 49

Les modes de consignation

Une fois collectés par consignation, les emballages en verre peuvent être destinés :

- **à la réutilisation** :

FLUX MATIERES ET FINANCIERS DE LA CONSIGNATION POUR REUTILISATION



Par ce procédé, le producteur alimente les distributeurs avec des produits dans un emballage verre. Le verre sera obligatoirement plus épais qu'un emballage classique, afin d'avoir une plus grande résistance dans le temps. Lors de l'achat des produits, le producteur reverse une somme d'argent supplémentaire au distributeur, pour financer, en tout ou partie, les frais supplémentaires engendrés par la collecte et le tri des emballages vides, qui lui seront retournés.

En contre partie, le distributeur doit mettre en place le principe de la consignation avec les consommateurs et s'assurer du retour final chez le producteur de l'emballage vide non brisé.

Pour cela, le consommateur achète le produit emballé et reverse, en plus du prix d'achat, une « consigne » de quelques centimes d'euros par emballage en verre. Une fois le produit consommé, le consommateur ramène son emballage vide. Deux possibilités se présentent alors à lui, soit il récupère le montant de sa consigne, soit il achète de nouveaux produits et ne paie pas la consigne. Si le consommateur ne retourne pas l'emballage vide (casse, perte, mis dans une poubelle, etc.) chez un distributeur, il perd alors le montant de la consigne versé initialement. Ce montant sera, toute fois, reversé au producteur par le distributeur pour permettre la fabrication de nouvelles bouteilles.

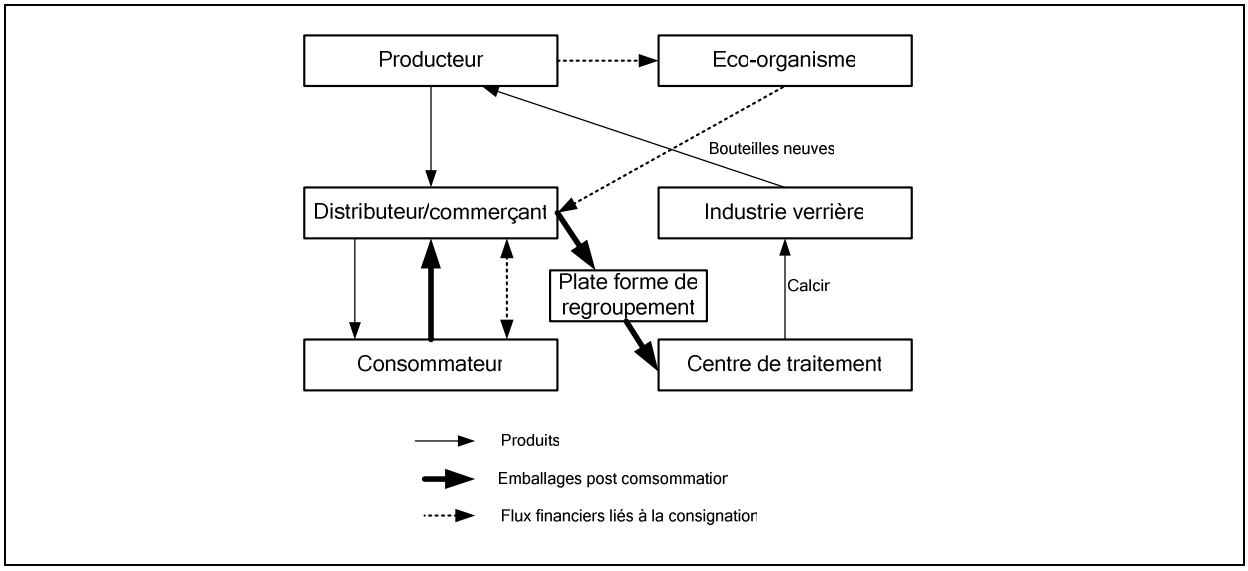
Une fois les emballages vides récupérés par le distributeur, ils sont triés par genre, forme ou couleur, etc. et retournés vers les lieux de production dont ils sont issus.

De retour chez le producteur, l'emballage est lavé à plusieurs reprises, étiquetée, rempli et conditionné pour repartir sur le circuit de la consommation.

Par ce principe, la durée de vie d'une bouteille peut être d'une vingtaine de remplissage.

- **au recyclage** :

FLUX MATIERES ET FINANCIERS DE LA CONSIGNATION POUR RECYCLAGE



L'application de la consignation à destination du recyclage intègre un plus grand nombre d'acteurs que la consignation à destination de la réutilisation.

Le producteur paie une contribution à un éco organisme par emballage mis sur le marché et vend aux distributeurs des produits emballés.

Le consommateur achète au distributeur le produit emballé et verse une « consigne » pour l'emballage.

Une fois le produit consommé, le consommateur retourne l'emballage vide chez un distributeur. Deux possibilités se présentent alors à lui, soit il récupère le montant de sa consigne, soit il achète de nouveaux produits et ne paye pas la consigne. Si le consommateur ne retourne pas l'emballage vide (casse, perte, mis dans une poubelle, etc.) chez un distributeur, il perd alors le montant de la consigne versé initialement. Cette somme sera conservée par le distributeur.

Le distributeur collecte les emballages vides sans distinction de couleur forme ou marque et les achemine vers une plate forme de regroupement. Il reçoit de la part de l'éco organisme la contre valeur de la consigne et une aide pour les frais engendrés par la collecte et le transport des emballages vides.

Une fois amassé sur la plate forme, le verre est ensuite acheminé vers le centre de traitement. Il subit alors les étapes de nettoyage et de préparation nécessaire pour être utilisé comme calcin par les verriers. De nouvelles bouteilles sont alors fabriquées et destinées à l'embouteillage chez le producteur.

La consignation chez nos voisins européens

Ce mode de collecte fait actuellement ses preuves chez certains de nos voisins européens comme l'Allemagne, la Belgique, la Finlande, la Suède, le Danemark, etc. Chacun de ces pays a mis en place sa propre réglementation afin d'imposer ou de favoriser la consignation des bouteilles en verre :

- **en Allemagne** : un système de quotas impose une part minimum d'emballages réutilisables pour la bière, l'eau minérale, le jus de fruits et le vin mis sur le marché ;
- **en Finlande** : il existe pour les boissons une taxe sur les emballages jetables ;
- **en Norvège** : il existe un système d'écotaxes sur les emballages de boissons ;
- **au Portugal** : les commerçants doivent proposer des emballages rechargeables pour boissons ;
- **au Danemark** : jusqu'a peu il y avait une interdiction concernant les emballages jetables pour la bière et les boissons fraîches et une taxe sur tous les emballages primaires mais ce système a été remplacé par une consigne.

Près de deux tiers des emballages en verre ont été réutilisés en Autriche, en Allemagne, en Suède, en Finlande et au Portugal, dans le secteur des boissons fraîches. Au Danemark le nombre d'emballages réutilisés est supérieur à 80 %.

Avantages et inconvénients de la consignation

Les contraintes, liées à la consignation, pour les consommateurs peuvent être diverses (espace de stockage insuffisant, rendez-vous de livraison, retour de l'emballage chez le distributeur, etc.) mais pas insurmontables. La consignation pourrait rentrer dans une logique de développement durable qui touche actuellement de plus en plus de consommateurs. De plus, la consignation permettrait une meilleure mobilisation du gisement garantissant ainsi un meilleur taux de collecte.

Actuellement en France, le mode de consignation le mieux adapté serait celui destiné au recyclage. En effet, dans la mise en place d'une consignation pour réutilisation, il faudrait que les producteurs harmonisent et standardisent les types d'emballages mis sur le marché pour faciliter leur collecte et leur tri par les distributeurs. De plus, les emballages devraient être plus résistants que ceux actuels pour favoriser leur réutilisation. Dans le cas d'une consignation pour recyclage, le seul changement s'opérerait auprès des distributeurs qui devraient mettre en place les moyens nécessaires à la collecte.

Cependant, pour des raisons marketing, économique et industrielle de nombreux embouteilleurs et distributeurs ont fait le choix de ne pas préférer ce mode de distribution à celui de l'emballage unique recyclable dont la collecte est prise en charge par les collectivités locales. Pour des raisons financières les distributeurs ne souhaitent également pas mettre en place ce type de collecte. Ils préfèrent laisser la collecte du verre à la charge technique et financière des collectivités locales. De plus, le flux financier engendré par la consigne semble être problématique pour les distributeurs.

Malgré la problématique d'ordre logistique et financière pour les distributeurs, l'impact environnemental de la consignation du verre semble être intéressant. En effet, la réutilisation, par rapport au recyclage, limite encore plus l'extraction de matières premières naturelles et la fabrication de nouveaux produits. Elle permet, de ce fait d'économiser plus d'énergie et limite également l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. De plus, la réutilisation permettrait d'optimiser le transport des marchandises (les camions livreraient des bouteilles pleines aux distributeurs et repartiraient avec des bouteilles vides, plutôt que de repartir sans

chargement). Cependant, la réutilisation de bouteilles est également consommatrice d'eau pour le nettoyage.

Enfin, une étude[37] a évalué que la consignation destinée à la réutilisation, par rapport aux autres modes de collecte, serait meilleur marché d'un point de vue local et qu'incontestablement son impact environnemental serait préférable.

Il serait intéressant qu'une Analyse du Cycle de Vie (ACV) soit effectuée afin d'évaluer l'impact environnemental et économique, par la même occasion, de chaque mode de consignation. Cela permettrait d'estimer réellement quel mode de consignation serait le mieux adapté à l'ensemble ou à une partie du territoire français.

1.1.4 Quel mode de collecte choisir ?

Actuellement en France, la collecte du verre reste à la charge technique, logistique et financière des collectivités locales. Chacune d'entre elles est donc seule décideuse du type de collecte à mettre en place pour le verre, sur son territoire.

Dans l'otique de maximiser le gisement à collecter, la collectivité doit étudier et préférer l'outil le mieux adapté :

- **du point de vue technique et financier ;**
- **au service à apporter ;**
- **au type de population ;**
- **à l'habitat (vertical, pavillonnaire, etc.) ;**
- **à la superficie et à la densité de population ;**
- **aux moyens à mettre en œuvre.**

Actuellement une majorité de collectivités locales françaises a choisi de collecter le verre en porte-à-porte avec un complément de collecte en apport volontaire. Les sociétés agréées Adelphe et Eco-Emballages ont influencé ce choix en proposant des soutiens financiers plus élevés pour la collecte en porte-à-porte que pour l'apport volontaire. La collecte en porte-à-porte est plus coûteuse que celle en apport volontaire, mais elle est également la plus performante en terme de quantité.

La mise en place de ces différentes collectes, aussi bien le porte-à-porte que l'apport volontaire, a nécessité un certain investissement de la part des collectivités locales. Il leur a fallu plusieurs années afin de desservir l'ensemble de leur population par un ou plusieurs modes de collecte. Les collectivités ont du mettre en place des plans de communication auprès des habitants pour expliquer les consignes de tri. Des ambassadeurs de tri ont également dû être formés pour répondre aux besoins des habitants. Des investissements financiers ont été fait dans des contenants (bacs, caissettes, points d'apport volontaire).

Une étude récente[38] menée par l'Ademe, Eco-Emballages et Adelphe tente de démontrer le bien fondé à un retour de la collecte du verre, issu des déchets d'emballages ménagers, en apport volontaire. Selon cette étude, le verre collecté en apport volontaire, qui subit moins de ruptures de charges, serait de meilleur qualité comparé à celui collecté en porte-à-porte. La campagne de mesure menée démontre que le verre collecté en apport volontaire a une densité plus faible que celui collecté en porte-à-porte, c'est à dire que le verre est moins brisé. En effet, 98 % des tonnages analysés, n'ayant pas subit de rupture de charge, ont une densité inférieure

[37] PIRA-RDC 2003 « Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the packaging and packaging waste directive 94/62/EC »,
[38] « Campagne de mesure de la densité des collectes de verre d'emballage ménager » - avril 2005

à 0,7 contre 24 % de ceux ayant subi une rupture de charge. La densité 0,7 est une limite de qualité imposée aux collectivités locales[39].

Cependant, un retour à la collecte sélective du verre uniquement en apport volontaire pourrait être considéré comme un échec de la part des collectivités locales et entraînerait une démotivation du geste de tri pour les habitants. Le service de collecte en porte-à-porte est très apprécié par la population car avec un minimum d'effort elle contribue directement à la protection de l'environnement.

De plus, dans les collectivités locales fortement urbanisées, la multiplication des colonnes d'apport volontaire est difficile à cause des contraintes d'espaces, d'intégration dans le paysage urbain, d'hygiène, etc. L'investissement financier de la part des collectivités locales serait donc conséquent.

La consignation, quant à elle, reste très marginale. Une généralisation de ce principe aurait comme conséquence l'organisation de la collecte sélective par les industriels, devant ainsi mettre en place les moyens techniques et financiers pour l'opérer de manière optimale, à la place des collectivités locales.

D'un point de vue environnemental, il serait intéressant d'effectuer un écobilan des différents moyens de collecte selon la typologie du territoire afin de déterminer l'impact de chaque collecte sur l'environnement.

D'un point de vue financier pour les collectivités locales, il serait extrêmement intéressant que les industriels prennent en charge l'entièreté du coût de la collecte sélective du verre d'emballage issu des déchets ménagers, en apportant, bien entendu, une qualité de service en adéquation avec les attentes des usagers.

1.2. La collecte des écrans

La collecte des écrans à tube cathodique et plats, tout comme l'ensemble des déchets d'équipements électriques et électroniques, est encadrée par 3 éco-organismes (Ecologic, Ecosystems, ERP). La collecte peut s'effectuer de 3 manières :

- **sur le lieu d'achat**[40] : l'usager, à condition d'acheter un produit neuf équivalent, fait reprendre gratuitement son écran dans le magasin pour le destiner au recyclage.
- **par un organisme de l'économie solidaire** : si l'appareil fonctionne encore, l'usager peut le faire reprendre par un organisme de l'économie solidaire (type Envie, Emmaüs) pour sa réparation et son réemploi ;
- **en déchèterie** : si la collectivité locale a mis en place la collecte sélective des déchets d'équipements électriques et électroniques, les usagers, et les artisans ayant acheté leur équipement dans le circuit ménager, peuvent amener leurs appareils en déchèterie pour le destiner au recyclage.

De par la présence d'éléments toxiques et nocifs, les écrans doivent être collectés sélectivement. Désormais sur les appareils récemment vendus, le symbole suivant rappelle qu'une fois arrivé en fin de vie, les déchets d'équipements électriques et électroniques ne doivent pas être jetés en mélange avec les ordures ménagères ou les encombrants.

[39] Voir VII.1.1.1 page 52

[40] Décret n°2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements.

SYMBOLE POUR LE MARQUAGE DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES

1.3. La collecte des tubes fluorescents

Les tubes fluorescents et autres ampoules dites à « économie d'énergie », doivent également être collectés de manière sélective et ne doivent plus être jetés dans la poubelle d'ordure ménagère.

LAMPES A DECHARGE ET LED DESTINEES AU RECYCLAGE

Source : RECYLUM - 2007

Plus généralement, les lampes à décharges et lampes à LED peuvent être collectées sélectivement de deux manières :

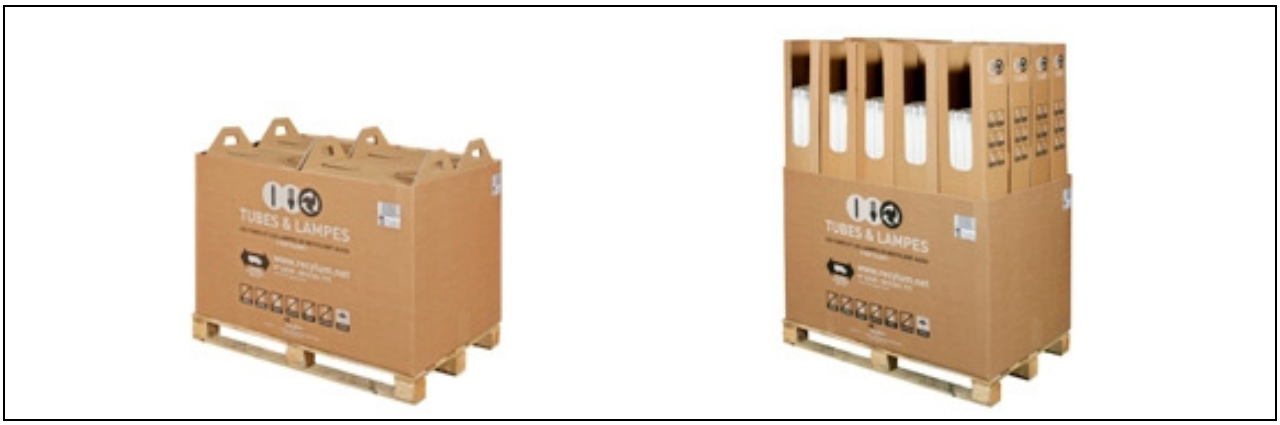
- **sur le lieu d'achat**[41] : l'usager, à condition d'acheter un produit neuf équivalent, fait reprendre gratuitement sa lampe, dans le magasin, pour la destiner au recyclage ;
- **en déchèterie** : si la collectivité locale a mis en place la collecte sélective des lampes, l'usager, particulier ou professionnel, peut l'amener en déchèterie pour la destiner au recyclage.

[41] Décret n°2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements.

L'éco-organisme RECYLUM, agréé pour la collecte et l'élimination des lampes, propose aux professionnels et aux collectivités locales différents types de contenants pour collecter sélectivement les lampes et pour éviter ainsi de les casser. Ce sont :

- **des conteneur alvéolés** : pour lampes, tubes ou mixtes

CONTENEURS ALVEOLES POUR LAMPES ET TUBES



Source : RECYLUM – 2007

- **des conteneurs réutilisables** : pour lampes ou tubes.

CONTENEURS REUTILISABLES POUR LAMPES OU TUBES

Source : RECYLUM - 2007

Les ampoules à filament, quant à elles, doivent être jetées avec les ordures ménagères.

1.4. La collecte des autres verres ménagers et assimilés

Les autres produits en verre (fenêtres, miroirs, vaisselle, plaques vitrocéramiques, ….) sont apportés en déchèteries, ou collectés en porte-à-porte avec les déchets encombrants ou les ordures ménagères.

2. L'ESTIMATION DES GISEMENTS COLLECTES

Les quantités de verre collectées en France sont en constante évolution depuis près de 10 ans.

Concernant le verre d'emballages ménagers, la raison de l'augmentation des quantités est la mise en place progressive de la collecte sélective du verre d'emballages ménagers en porte-à-porte[42]. Les quantités collectées se sont poursuivies pour atteindre près de 2 millions de tonnes en 2006 soit une croissance de 2 % par rapport à 2005.

Le gisement de tubes cathodiques n'est pas connu avec précision. Près de 2 millions d'écrans seraient mis au rebut chaque année en France. Cette quantité d'écran correspondrait approximativement à 4 000 tonnes de verre.

Pour les tubes fluorescents et les ampoules électriques, la filière de collecte sélective faisant ses débuts, les chiffres sont encore mal connus. Après plusieurs mois d'activités Récylum affiche les chiffres suivants :

- **92 millions** de lampes mises sur le marché en 2006 ;
- **80 millions** de lampes en fin de vie en 2007 ;
- **15 %** du gisement détenus par des particuliers ;
- **3 millions de lampes, soit plus de 460 tonnes**, collectées auprès de tous (professionnels, collectivités locales, particuliers).

3. LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT PRIMAIRES DU VERRE COLLECTE

Selon le mode de collecte organisé par la collectivité, le verre passe par une ou plusieurs étapes de traitement.

3.1. Le centre de tri

Le centre de tri est une installation par laquelle les déchets ménagers, collectés sélectivement en porte-à-porte, sont triés et séparés par matériau avant d'être envoyés vers les filières de valorisation appropriées. Pour passer dans ce type de centre, le verre, majoritairement composé d'emballages ménagers, est initialement mélangé à d'autres matériaux recyclables. Actuellement les Communautés urbaines de Lille et Dunkerque collectent le verre mélangé à d'autres déchets recyclables.

Les déchets sont d'abord amenés par camions. Puis ils sont chargés sur la chaîne de traitement et peuvent éventuellement passer au travers d'une machine permettant l'ouverture des sacs s'ils ont été collectés de la sorte.

Si les corps creux et les corps plats ont été collectés en mélange, les déchets passent par un dispositif mécanisé (tri balistique, trommel, …) pour séparer les deux fractions :

- corps plats (papier, journaux, cartons, etc.) ;
- corps creux (boites métalliques, ELA[43], verre, plastiques).

[42] Voir VIII.1 page 61
[43] Emballages pour Liquide Alimentaire

Les corps creux subissent alors un tri manuel permettant l'élimination des corps plats résiduels, les films plastiques et les indésirables, puis un tri mécanique où les déchets sont triés par catégorie :

- **les métaux ferreux** : sont retirés par overband (aimant) ;
- **les métaux non ferreux (aluminium, etc.)** : sont séparés grâce à une machine à courants de Foucault (machine qui par l'intermédiaire de champs magnétiques permet de capter les métaux non ferreux) ;
- **les plastiques (bouchons, flacons, bouteilles, etc.)** : sont éliminés par tri aéraulique (insufflation d'air).

En fin de tri, le verre est généralement récupéré en deux fractions :

- **une de moins de 10 mm de diamètre (les fines) ;**
- **une de plus de 10 mm de diamètre.**

La fraction de moins de 10 mm est plus difficilement exploitable par les verriers du fait de sa trop grande finesse et de sa concentration trop importante en impuretés après tri. Ces fines de verre sont utilisées pour d'autres applications, pour la saturation en verre des mâchefers[44] utilisés en sous-couche routière. Ces fines leur donnent une plus grande stabilité et évitent à long terme un affaissement de la sous-couche.

La fraction de plus de 10 mm de diamètre, quant à elle, est triée manuellement une dernière fois, afin de la débarrasser au maximum des impuretés. Cette fraction est ensuite envoyée vers les centres de traitements[45].

3.2. Le centre de regroupement

3.2.1 Pour les verres d'emballages ménagers

Ce centre est un lieu de stockage transitoire. Le verre d'emballages ménagers ayant été collecté par apport volontaire et/ou en porte-à-porte séparément des autres déchets recyclables peut y être déchargé et amassé.

Le verre est stocké dans des espaces murés. Pour les collectivités locales utilisant les services de plusieurs collecteurs, il est conseillé de séparer chaque flux afin de permettre une traçabilité du verre collecté.

Une fois les quantités de verres suffisantes pour remplir au moins une benne du moyen de transport choisi (voies routière, fluviale ou ferroviaire), le verre est rechargé et emmené au centre de traitement du calcin.

Ces centres sont généralement mis en place quand la collectivité est éloignée du centre de traitement du verre afin d'optimiser le coût de transport.

[44] Résidus d'incinération d'ordures ménagères
[45] Voir VII.1.1 page 52

L'éloignement des centres de regroupement du centre de traitement peut poser de nombreux problèmes. Le verre est manipulé de trop nombreuses fois avant d'arriver en centre de traitement, ce qui peut altérer la qualité.

Les manipulations supplémentaires dues au passage en centre de regroupement sont :

- **le dépotage au centre ;**
- **l'amassement du verre ;**
- **le chargement pour le transport.**

De plus, le transport du verre sur de longues distances engendre des vibrations qui multiplient sa casse et diminue donc sa granulométrie.

A son arrivé en centre de traitement, le verre est donc plus brisé qu'un verre ayant subi moins de manipulations. La qualité du verre peut donc être diminuée, pouvant ainsi entraîner une diminution du prix de reprise, voire un refus du lot par le verrier[46] si la densité est supérieure à 1 (plus le verre est brisé, plus la densité est importante).

3.2.2 Pour les écrans

Certaines entreprises peuvent servir de centre de regroupement d'écrans. Ces entreprises collectent auprès des déchèteries ou d'entreprises les écrans d'ordinateurs et de télévisions.

CENTRE DE REGROUPEMENT ET DE PRE-DEMANTELEMENT D'ECRANS DE TELEVISION

Source : AISE Environnement

Ces écrans subissent un premier démantèlement. En effet, ils sont débarrassés de la carcasse et de leurs composants informatiques ou électroniques. Le cône et la dalle sont stockés puis soit démantelés sur place, soit transportés vers des entreprises spécialisées dans le traitement et la dépollution d'écrans.

[46] Voir VIII.4 page 70

VII. LE RECYCLAGE DES VERRES

Le recyclage est l'ensemble des opérations visant à introduire les matériaux provenant de déchets, dans un cycle de production, en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge. Dans le cas des verres étudiés, plusieurs possibilités se présentent :

- **le verre d'emballages ménagers ;**
- **les ampoules électriques et tubes fluorescents ;**
- **les écrans.**

Au travers de cette partie, le recyclage des verres plats n'est pas traité à cause de sa grande difficulté d'extraction du gisement d'ordures ménagères. De plus la majorité du verre plat recyclé est issu des chutes de fabrication ou du démantèlement de bâtiments avant destruction.

1. CAS DU VERRE D'EMBALLAGES MENAGERS

Le verre d'emballages ménagers doit subir plusieurs étapes de traitement avant de pouvoir être recyclé. Il doit être trié par taille, puis débarrassé des impuretés qu'il contient (métaux, plastiques, infusibles, etc.), et enfin il est nettoyé de la matière organique.

Toutes ces étapes se font en centre de traitement du verre après que la qualité du verre entrant ait été contrôlée.

1.1. Le centre de traitement : un passage obligatoire

1.1.1 La qualité du verre entrant

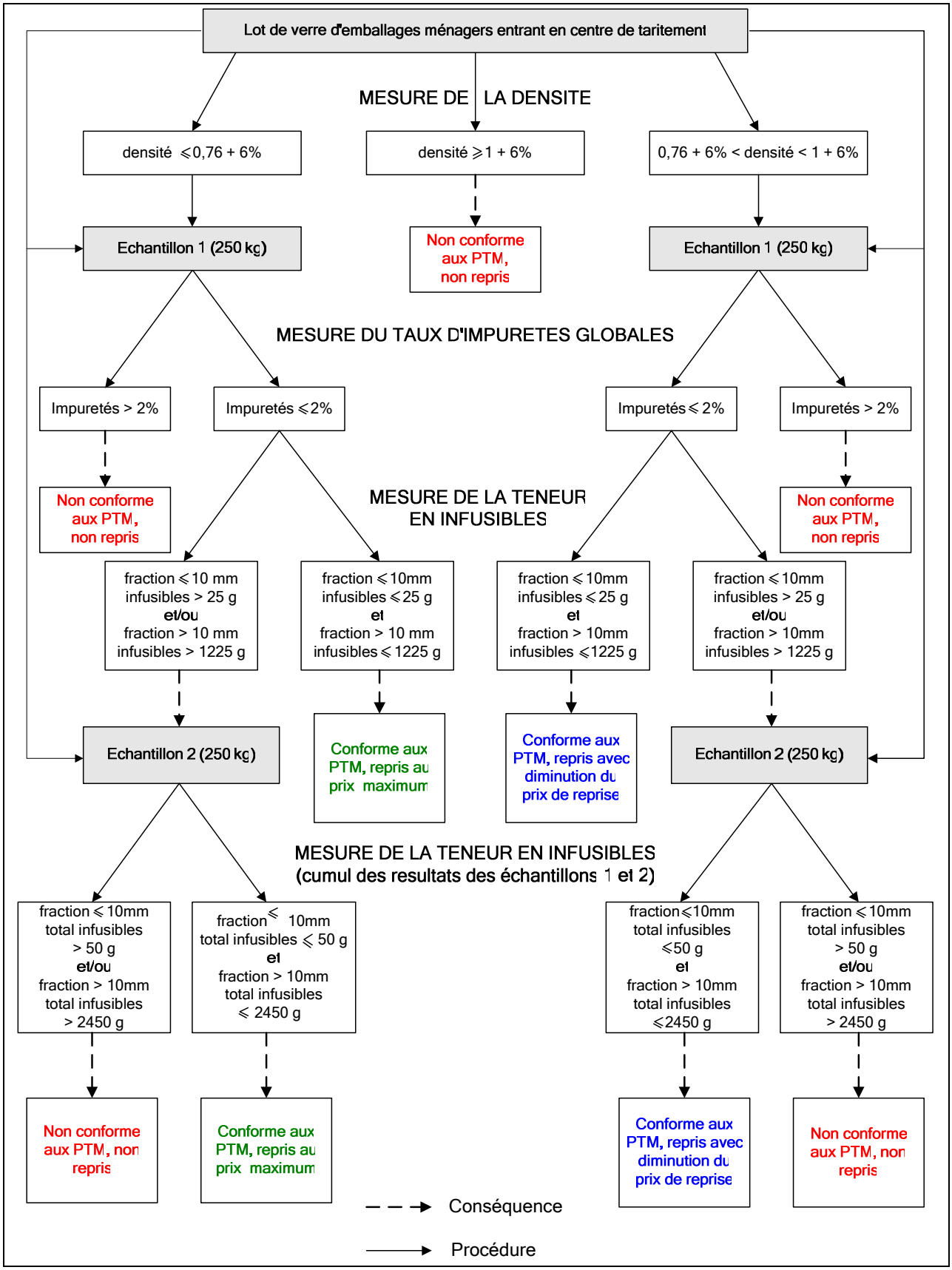
A son arrivée en centre de traitement, la quantité de verre apportée est pesée, généralement sur pont à bascule. Le verre est contrôlé visuellement. Si la collectivité est en garantie de reprise des matériaux avec une société agréée[47], un contrôle de conformité aux prescriptions techniques minimales (règles concernant la qualité du verre avant traitement à respecter pour les collectivités locales afin de garantir la reprise du matériau) peut être effectué. La méthodologie de contrôle est définie dans la norme AFNOR X30-414 « Caractérisation d'un lot issu de la collecte sélective des déchets ménagers et assimilés en verre d'emballage ». Le contrôle de qualité est effectué sur les points suivants :

- **la densité ;**
- **le taux d'impuretés globales ;**
- **la teneur en infusibles[48] ;**
- **le taux de verre de couleur dans le verre incolore (uniquement pour le verre incolore).**

La qualité des lots de verre entrants, et leurs conformités, est définie selon le schéma suivant :

[47] Voir VIII.4.1 page 70
[48] Voir III.7.2 page 33

SCHEMA DES REGLES D'ACCEPTATION ET DE REFUS DU VERRE D'EMBALLAGE MENAGERS EN CENTRE DE TRAITEMENT SELON LES PTM



La densité

La densité est mesurée à la réception du lot de verre et avant le déchargement du camion. Elle s'exprime par le rapport de la masse volumique du lot (masse/volume) sur la masse volumique de l'eau servant de référence (1 tonne/m^3).

La masse du lot est déterminée par double pesée du camion sur un pont-bascule.

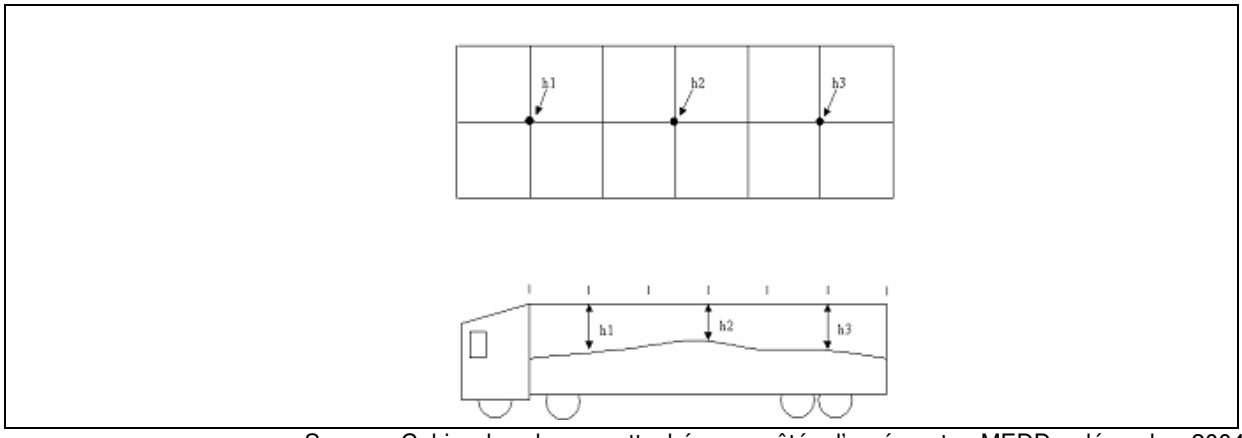
Masse du lot = masse du camion plein – masse du camion vide

Le volume du lot est calculé à partir du volume de la benne (longueur x largeur x hauteur) dont les dimensions sont connues et du volume de vide. Le calcul est fait de la manière suivante :

Volume lot = Volume benne – Volume vide

Les hauteurs du volume vide de la benne ou du caisson (h_1, h_2, h_3) sont mesurées en entrée des centres de traitement, comme indiqué sur le schéma ci-dessous.

VUE DE DESSUS ET LATERALE DE LA BENNE



Source : Cahier des charges attaché aux arrêtés d'agréments - MEDD – décembre 2004

Pour faire les mesures des trois hauteurs h_1, h_2, h_3 la benne est divisée en six parts égales dans le sens de la longueur et deux parts dans le sens de la largeur. La hauteur moyenne du lot est calculée comme suit :

Hauteur moyenne du lot = hauteur de la benne – $(h_1+h_2+h_3)/3$

Le volume de vide peut alors être calculé comme suit :

Volume vide = longueur x largeur x hauteur moyenne du lot

Après avoir calculé le volume du lot et mesuré sa masse, la densité du lot de verre peut enfin être calculée de la manière suivante :

Densité = (Masse du lot/Volume du lot)/1

Une fois la densité du lot de verre calculée, elle peut être comparée aux critères des Prescriptions Techniques Minimales.

La conformité du verre dépend des critères suivants :

- **pour une densité ≤ 0,76 + 6% le verre est déclaré conforme concernant la densité ;**
- **pour une densité comprise entre 0,76 + 6% et 1 + 6% le verre sera repris avec une baisse du prix de reprise ;**
- **pour une densité ≥ 1 + 6% le verre ne sera pas repris.**

Le résultat de la densité permet au centre de traitement d'évaluer la taille des morceaux de verre. En effet, plus la densité est faible plus les morceaux de verre sont gros. Et a contrario, plus la densité est élevée, plus les morceaux de verre sont fins et cassés. La densité reste un critère important pour le verrier car plus le verre est cassé avant son traitement, plus il est difficile d'en éliminer les impuretés et les infusibles.

De plus, le verre est repris si le respect des PTM, en ce qui concerne le taux d'impuretés et la teneur en infusibles, est confirmé.

Le taux d'impuretés globales et la teneur en infusibles

Le résultat de ces contrôles permet au centre de traitement, par l'intermédiaire d'un échantillon de 250 kg sur des lots de plusieurs dizaines de tonnes, de juger de la qualité de l'ensemble du verre apporté.

Le prélèvement est effectué par carottage avec un tube, de 400 mm de diamètre et de 2,5 m de long, fixé sur un chargeur. Chaque carottage est d'au moins 250 kg.

Le prélèvement est étalé sur un sol lisse, propre et non polluant (c'est à dire un sol sur lequel ni impuretés, ni infusibles sont susceptibles de polluer l'échantillon) ou déposé sur une table de tri. Les impuretés non liées au verre sont séparées manuellement en isolant les infusibles des autres types d'impuretés. Les infusibles et les autres types d'impuretés sont pesés séparément. Le pourcentage d'impuretés est calculé de la manière suivante :

% = (Masse d'impuretés / Masse de l'échantillon) x 100

Le verre ne doit pas contenir plus de 2 % d'impuretés pour être accepté par le centre de traitement. Dans le cas contraire, le lot n'est pas repris et reste à la charge de la collectivité locale pour son élimination.

Si le lot est accepté, les infusibles précédemment extraits sont passés sur un tamis de maille carrée de 10 mm puis pesés par fraction granulométrique. Pour la fraction de moins de 10 mm, la teneur maximum en infusibles de l'échantillon de 250 kg est de 25 g. Pour la fraction de plus de 10 mm, la teneur maximum en infusibles est de 1225 g.

Si un premier prélèvement de 250 kg est conforme pour les deux fractions d'infusibles le lot est déclaré conforme aux prescriptions techniques minimales.

Cependant, si sur un premier échantillon de 250 kg, la conformité de l'une des deux fractions d'infusibles n'est pas vérifiée, des mesures sont faites sur un second échantillon issu du même lot. Les teneurs en infusibles sont cumulées par fraction. De ce fait, pour le verre de granulométrie inférieur à 10 mm la teneur maximum en infusibles est de 50 g. Pour la fraction de plus de 10 mm, la teneur maximale en infusibles est de 2450 g.

Si pour les deux fractions, la valeur maximum est respectée, le lot est alors déclaré conforme. Dans le cas contraire, le lot de verre est considéré comme non conforme.

Pour le verre incolore, le taux de verre coloré est mesuré en complément des précédentes analyses.

Taux de verre coloré dans le verre incolore

Ce contrôle est effectué uniquement sur les lots de verre incolore. Un échantillon de 250 kg est prélevé par carottage comme précédemment. Les impuretés non liées au verre sont séparées manuellement et sont pesées. Les morceaux de verre de couleur sont séparés manuellement du verre incolore et sont pesés. Le taux est exprimé par la formule suivante :

Taux = (Masse verre coloré / (Masse de l'échantillon – Masse des impuretés)) x 100

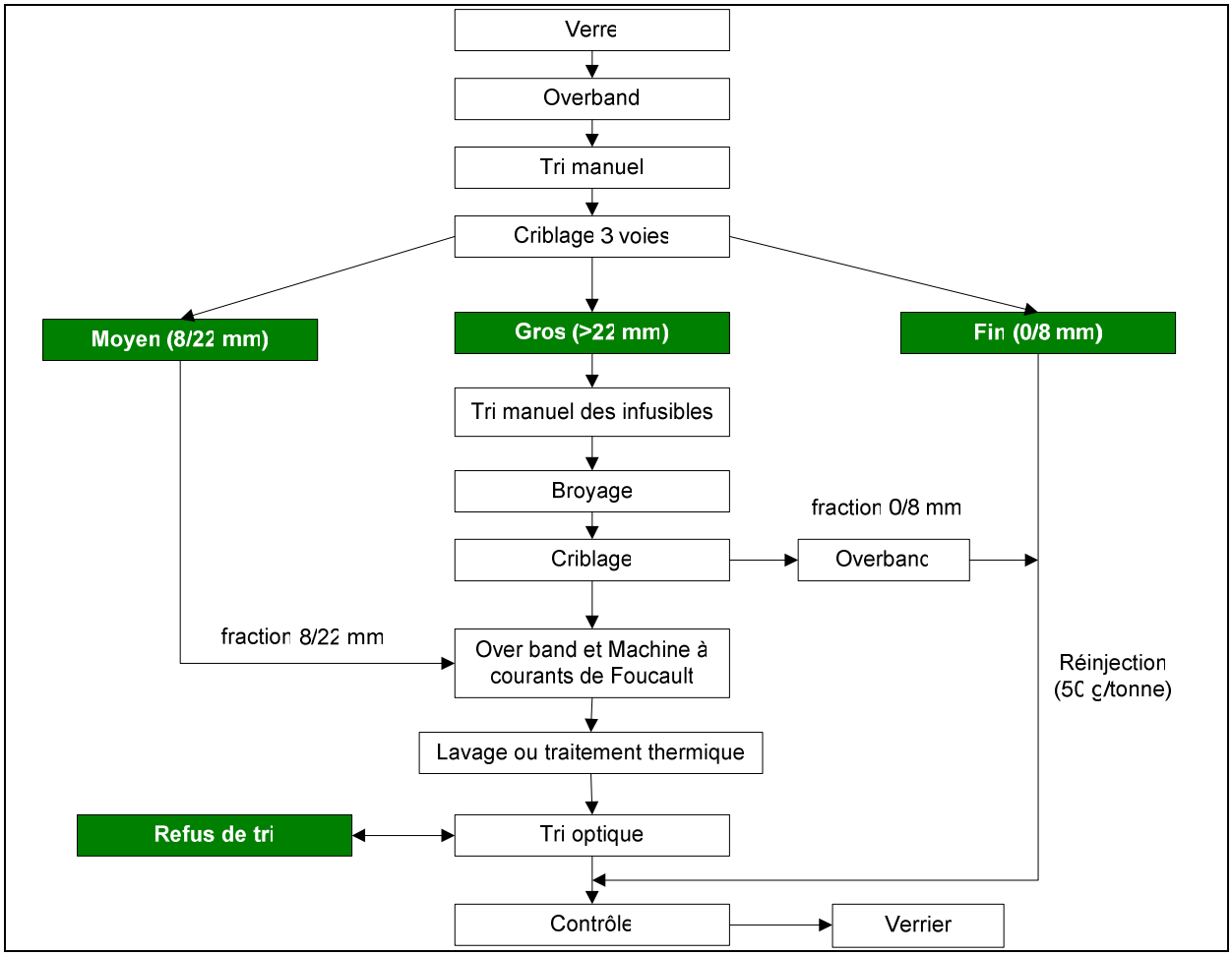
Le verre incolore doit contenir moins de 12 % de verre de couleur.

Si l'ensemble des conditions est respecté et que le lot de verre est déclaré conforme aux PTM, il peut subir les différentes étapes de traitement.

1.1.2 Le traitement du verre

Le verre va subir plusieurs types de traitement pour le débarrasser de l'ensemble des impuretés restantes et lui permettre d'être trié par granulométrie.

PROCEDE DE TRAITEMENT DU VERRE D'EMBALLAGE



La première étape consiste à charger le verre dans une trémie pour alimenter la chaîne de traitement en continu. Les métaux ferreux sont éliminés par overband. Un premier tri, manuel, est ensuite effectué afin d'extraire la majorité des impuretés (plastiques, papier/carton, etc.).

Le verre est criblé afin de séparer trois fractions :

- **une fraction 0 à 8 mm (fines) ;**
- **une fraction 8 à 22 mm (moyen) ;**
- **une fraction supérieure à 22 mm (gros).**

La fraction supérieure à 22 mm est celle qui subit le plus grand nombre de traitements. Elle est d'abord triée manuellement afin d'éliminer les impuretés les plus gênantes. Puis elle est broyée. De là, une fraction 0/8 mm et une fraction 8/22 mm sont récupérées. Chacune de ces fractions est mélangée à celle de même taille précédemment extraite pour subir la suite du traitement.

La fraction 8/22 mm est débarrassée des métaux ferreux par overband et non ferreux par machine à courants de Foucault. Elle est ensuite soit lavée soit traitée thermiquement pour être débarrassée des matières organiques.

Elle est passée sous une machine de tri optique qui permet de la débarrasser des infusibles résiduels, en éjectant par insufflation d'air les morceaux qui ne sont pas transparents (les infusibles) de ceux qui le sont (le verre). La partie éjectée est repassée sous tri optique plusieurs fois afin de récupérer le maximum de verre.

En moyenne, en fin de traitement, il y a une perte de 5 % en masse de la quantité de verre qui a été introduite au départ. Cette part du verre est appelée « refus de tri ». Ces refus sont éventuellement destinés à une utilisation dans d'autres secteurs industriels (sous-couche routière, etc.).

La fraction 0/8 mm ne subit aucun traitement supplémentaire car les industriels considèrent que cette fraction contient trop d'impuretés. De plus, le traitement de cette fraction leur serait trop coûteux. Cependant, afin de limiter les pertes, la fraction 0/8 mm est injectée à hauteur de 50 grammes par tonne.

Une opération supplémentaire, celle du tri du verre par couleur, pourrait s'ajouter à cette ligne de traitement. Elle se situerait après le tri optique des infusibles. Actuellement, plusieurs centres de tri expérimentent cette technologie. Pour cela des caméras Infrarouges détectent le verre incolore dans le flux en mélange et, par insufflation d'air, l'éjecte.

1.1.3 La qualité du calcin en sortie de centre de traitement

Selon les cahiers des charges en vue de la fabrication d'emballages, le calcin, en sortie de centre, doit répondre à trois critères :

- **la granulométrie** : le calcin doit avoir une taille inférieure à 40mm dont 15 % au maximum doit avoir une taille inférieure à 15 mm ;
- **l'humidité** : le taux d'humidité du calcin garanti par le traiteur est inférieur à 3 %.
- **les impuretés** : les quantités d'impuretés acceptées sont comme suit :

LIMITES D'IMPURETES GARANTIES PAR LES TRAITEURS EN SORTIE DE CENTRE

Nature	Limite ponctuelle (en gramme par tonne)	Moyenne mensuelle (en gramme par tonne)
Infusibles	< 50	< 30
Métaux ferreux	< 10	< 5
Métaux non ferreux	< 50	< 25
Réducteurs libres[49]	< 250	< 200

Source : cahier des charges PROVER - 2005

1.2. Le recyclage : le retour chez le verrier

Avant d'être recyclé, le calcin est d'abord amassé en extérieur pour permettre une dernière étape de nettoyage « naturel » (l'eau de pluie nettoie et les micro-organismes consomment la matière organique résiduelle). Le calcin est ensuite stocké dans un lieu sec. Le recyclage du verre consiste à le broyer très finement, de l'ordre de 800 µm[50], et de le mélanger à hauteur de 20 à 90 %[51], selon le verre fabriqué, avec les matières vierges, pour être enfourné.

Le broyage fin est une étape indispensable du recyclage du verre car il permet aux infusibles restants d'être mieux « digérés ». Le calcin qui est mélangé aux matières premières naturelles contient en moyenne 30 ppm d'infusibles (soit 30 grammes pour une tonne de calcin).

2. CAS DES AMPOULES ELECTRIQUES ET DES TUBES FLUORESCENTS

Le procédé de traitement du verre d'ampoules électriques et des tubes fluorescents est différent de celui vu précédemment du fait de la présence de produits toxiques.

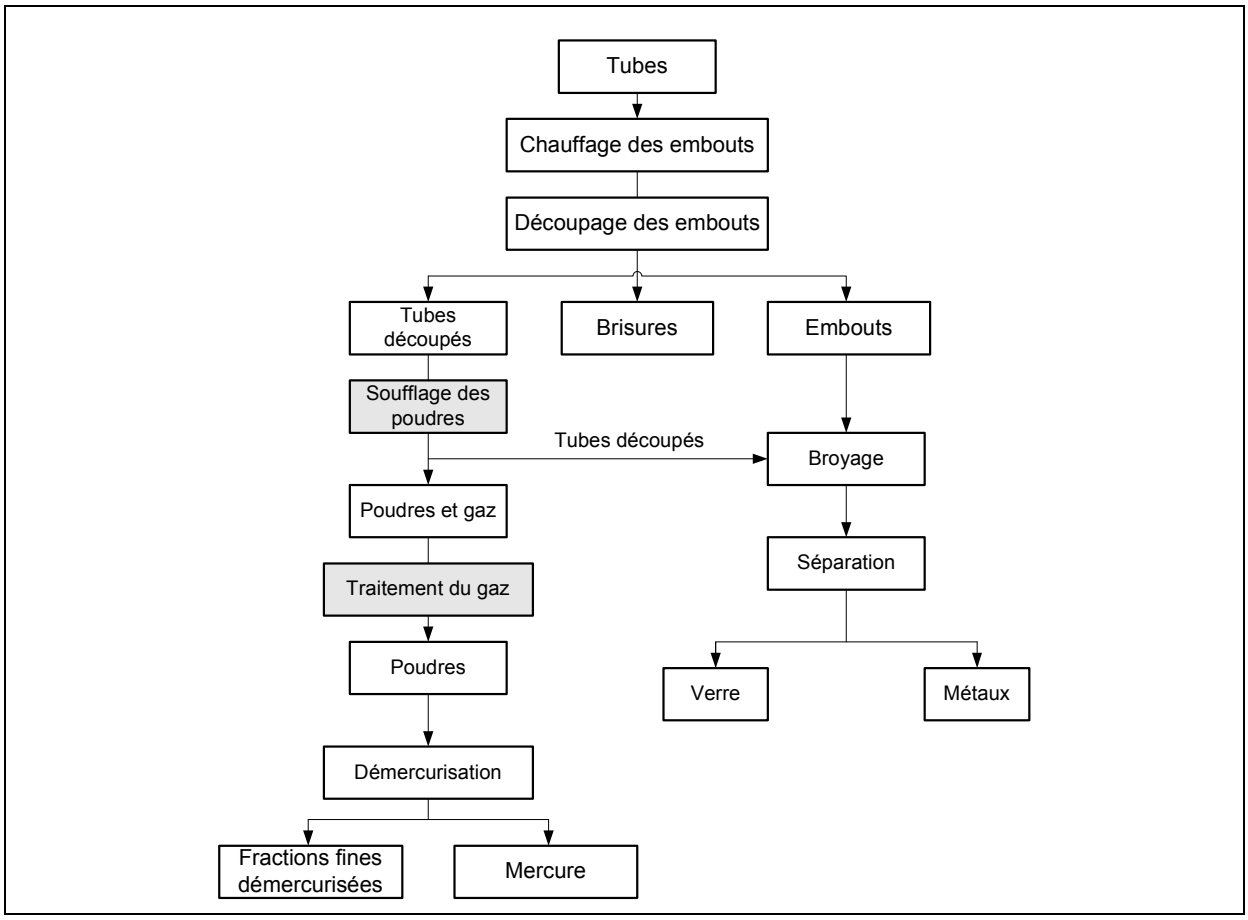
En effet, les tubes et certaines ampoules contiennent de la poudre fluorescente et du mercure qui présentent des risques pour la santé et l'environnement. Ils sont classés « déchets dangereux » par le décret n° 97-517 du 15 mai 1997 relatif à la classification des déchets dangereux. Depuis le 1er janvier 1998, ces tubes et ampoules sont soumis à une élimination spécifique et contrôlée.

Actuellement deux techniques de traitement sont utilisées pour séparer le verre, les métaux, les poudres fluorescentes et le mercure. Ces techniques sont :

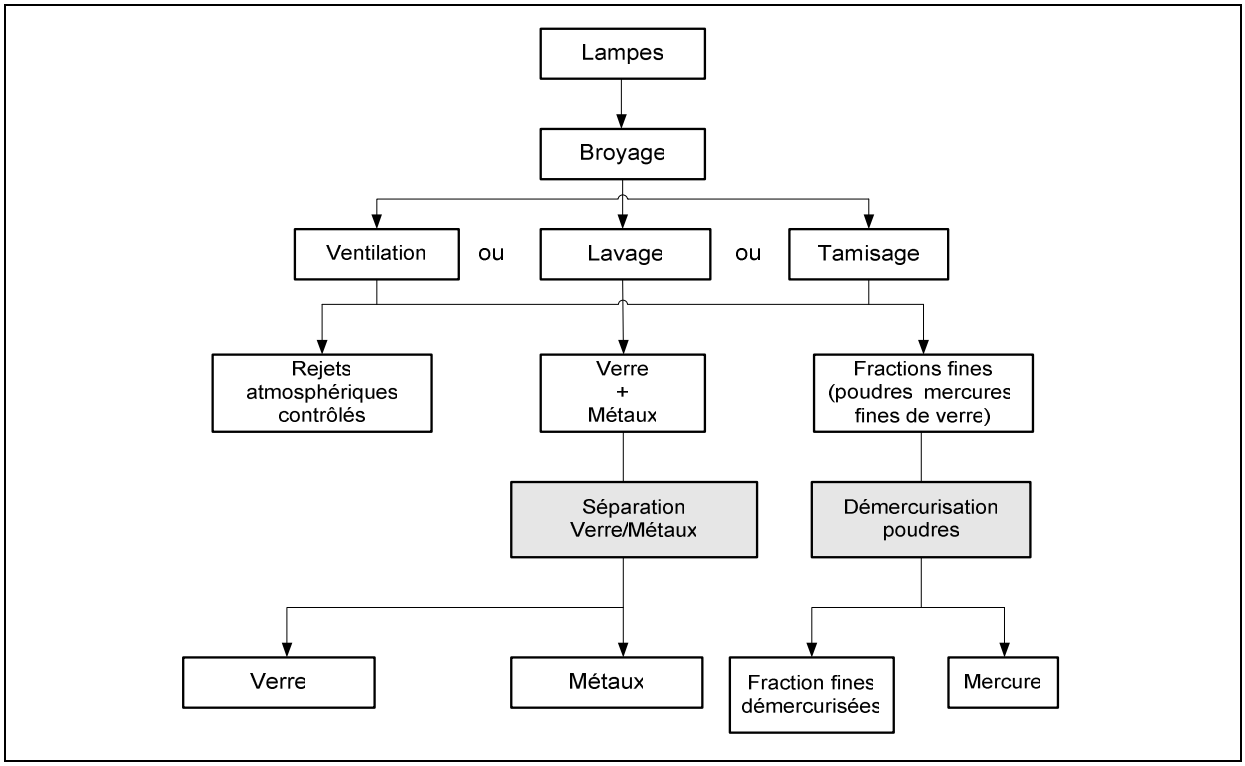
- le découpage pour les tubes fluorescents ;
- le broyage pour les lampes à économie d'énergie et LED.

[49] Papier, bois, plastique, caoutchouc, etc.
[50] 800 µm = 0,0008 mm
[51] Voir III.2.1 page 16

SCHEMA DE TRAITEMENT DES TUBES PAR DECOUPAGE



SCHEMA DE TRAITEMENT DES LAMPES PAR BROYAGE



Grâce à ces procédés, les matériaux des tubes fluorescents et ampoules sont récupérés dans les proportions suivantes :

REPARTITION MOYENNE DES MATERIAUX SEPARES DES TUBES ET AMPOULES

Verre	*Culots*	*Poudre fluorescente*	*Débris métalliques*	*Mercure*
88 %	5 %	4 %	2,98 %	0,02 %

3. CAS DES ECRANS

Le principal problème rencontré pour le traitement du verre d'écran est la nature des verres qui composent les écrans (l'un est au baryum, l'autre au plomb).

DESASSEMBLAGE D'UN ECRAN

1. Démontage de la carcasse

2.Cône avec le canon

3.Cône sans canon

4. Enlèvement de la bande anti-implosion

5.Séparation de la dalle et du cône

6.Nettoyage de la dalle

Source : SA VARRAY-PARISI et associés

La dalle et le cône doivent d'abord être séparés dans des conditions maximales de sécurité afin de ne pas disséminer la couche de poudre luminophore, à base d'yttrium et d'europium (appelés terres rares), substances très nocives.

Pour cela la carcasse de l'écran est démontée, puis chaque matériau est séparé (métal, plastique et verre). Le canon à électron et la bande anti-implosion (bande entre la dalle et le cône) sont enlevés pour ne récupérer que le verre. La dalle et le cône sont ensuite séparés et la poudre est aspirée pour être conditionnée en sacs hermétiques.

Une seconde étape de traitement consiste à broyer chaque type de verre sous atmosphère protégée pour éviter toute émission de poussière. Les verres sont alors lavés en milieu alcalin pour ôter toute trace de luminophores et préparés pour être réintroduis chez les verriers sous forme de calcin.

Les verres issus des cônes et des dalles pourront être réintroduits dans la fabrication du même produit. Le verre issu des dalles pourra également être introduit dans le processus de fabrication d'émaux céramiques ou toutes autres applications des céramiques et du carrelage.

VIII. LE CONTEXTE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA COLLECTE ET DU RECYCLAGE DU VERRE

Cette partie traite de l'évolution des quantités de verre collectées et recyclées qui ont fortement évoluées ces dernières années. Il est devenu un enjeu économique majeur de l'industrie par les échanges commerciaux de produits et de matières.

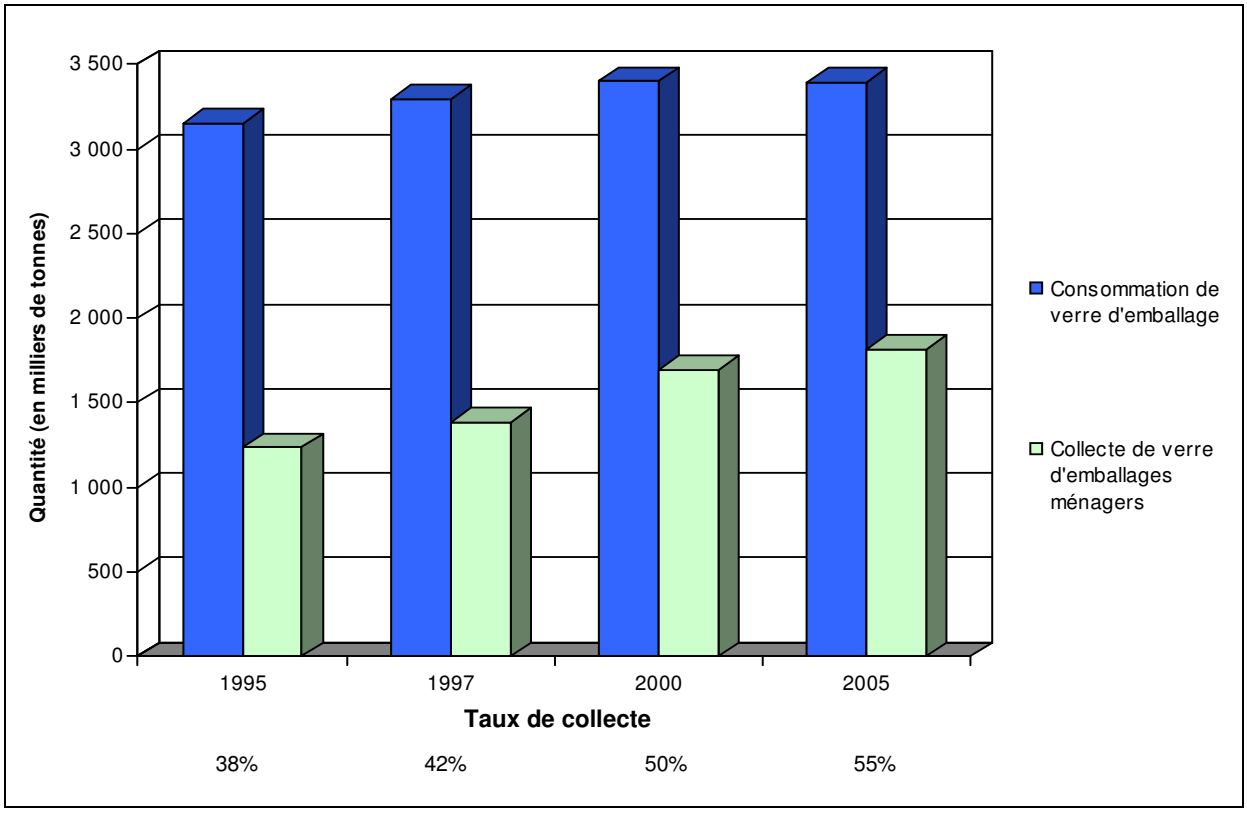
Cette partie abordera également le prix de revient du lit de fusion et du calcin du verre d'emballage, ainsi que leurs conditions de reprises, auprès des collectivités, par les verriers.

1. COLLECTE ET RECYCLAGE DU VERRE

1.1. Evolution du taux de collecte

Le taux de collecte du verre d'emballages ménagers est le rapport de la quantité de verre d'emballages ménagers collectée et de la quantité de verre d'emballages ménagers consommée.

EVOLUTION DES QUANTITES ET TAUX DE VERRE D'EMBALLAGES MENAGERS COLLECTES



Le taux de collecte du verre d'emballages ménagers a eu une croissance importante en quelques années, soit un passage de 38 % en 1995 à 55 % en 2005. Cette croissance s'explique en partie par la généralisation de la collecte sélective du verre d'emballages ménagers et notamment la collecte sélective en porte-à-porte.

En effet, cette collecte a un taux de captage plus important que celle en apport volontaire. De plus, la quasi-totalité de la population française est actuellement desservie par la collecte sélective.

L'augmentation permanente de l'implantation de conteneurs d'apport volontaire dans les collectivités a également permis l'atteinte d'un taux de collecte de 55 %, en permettant aux habitants non desservis par le tri sélectif en porte à porte de contribuer à cet accroissement.

Actuellement il y a plus de 100 000 conteneurs d'apports volontaires du verre implantés en France. Ils sont nécessaires pour la couverture de l'ensemble du territoire par la collecte sélective du verre d'emballages ménagers.

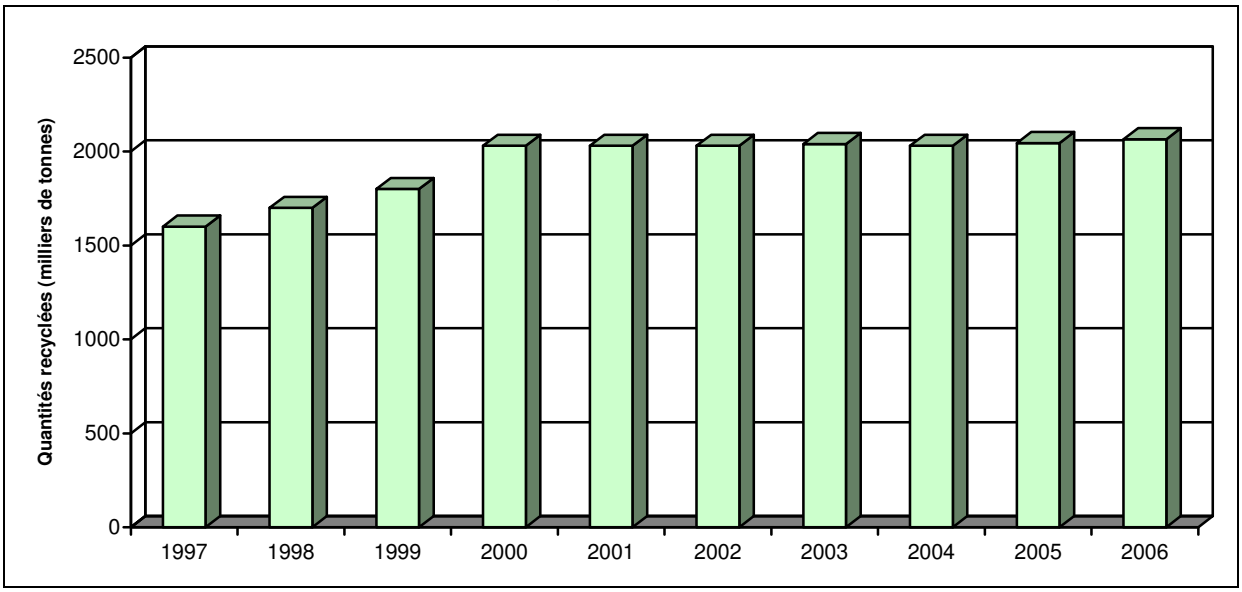
Ces conteneurs peuvent être utilisés comme outils principaux de collecte par les collectivités locales. En effet, leur implantation est favorable pour les collectivités à fort taux d'habitat vertical[52] ou celles à faible densité de population. Les conteneurs d'apport volontaire permettent de remédier aux difficultés rencontrées en habitat vertical pour collecter sélectivement le verre en porte-à-porte (manque d'espace). La collecte sélective par conteneur d'apport volontaire permet également de diminuer le coût de collecte en milieu rural, comparé à une collecte en porte-à-porte (diminution du nombre de tournées, quantités de verre plus importantes à chaque tournée, etc.)

De plus, les conteneurs d'apport volontaire permettent de compléter la collecte sélective en porte-à-porte.

1.2. Evolution des quantités recyclées

La politique de recyclage, appliquée par l'état français depuis de nombreuses années ainsi que le respect des objectifs nationaux de valorisation, fixés par le parlement européen et par le conseil de l'union européenne, font que la quantité de verre recyclé a fortement augmenté.

EVOLUTION DE LA QUANTITE DE VERRE RECYCLE



Source : Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre - Rapport d'activité 2006

[52] Défini, comme prévu par l'INSEE, comme le rapport entre le nombre de logements compris dans les immeubles de 10 logements et plus et le nombre total de logement du territoire.

La quantité de verre recyclé a fortement augmenté en 10 ans. Cette croissance est due à la mise en place de la collecte sélective du verre d'emballages ménagers et de sa montée en puissance depuis plus de 15 ans.

2. ECHANGES COMMERCIAUX DU VERRE

Les échanges commerciaux du verre concernent deux produits :

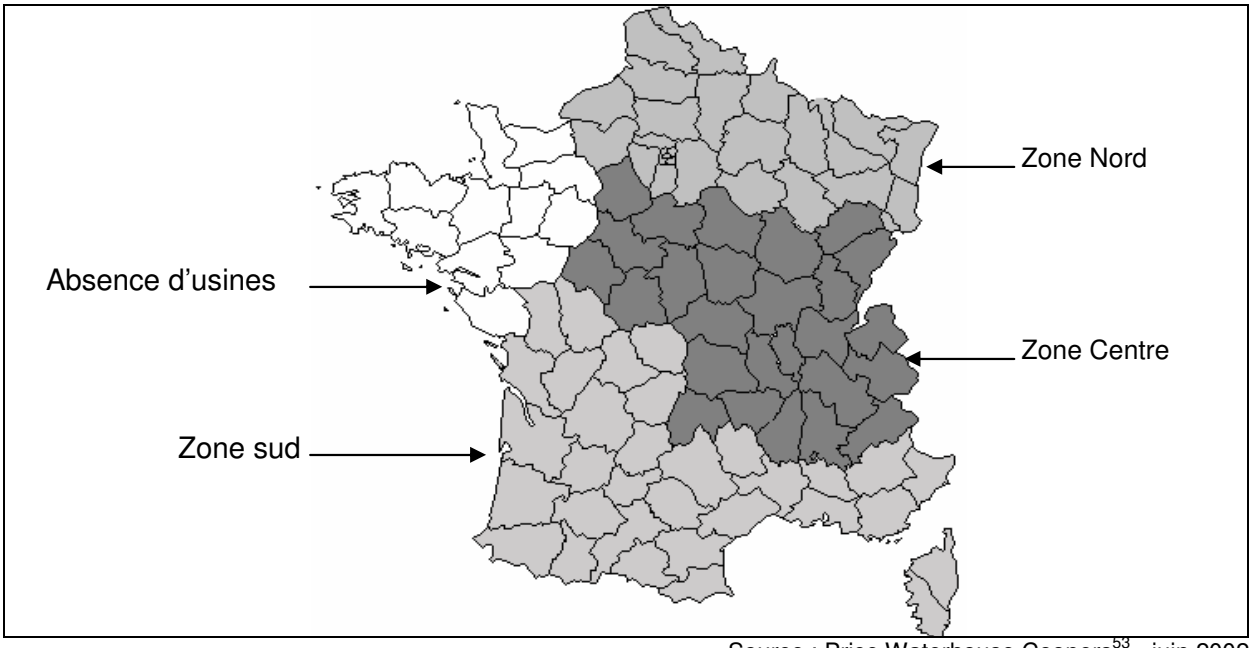
- **le calcin ;**
- **les produits finis.**

Le calcin est importé et exporté sous certaines conditions du fait de sa nature (déchet). Ces transferts sont fixés par le **Règlement (CEE) n° 1013/2006 du parlement européen et du conseil du 14 juin 2006 concernant les transferts de déchets**.

2.1. Le calcin

Le calcin étranger, issu d'emballages ménagers, acheté par les verriers français provient principalement d'Allemagne, des Pays-bas, de Belgique, de Suisse et du Royaume-Uni. Le territoire français a été divisé en trois zones d'importations et en une zone sans usine :

CARTOGRAPHIE DES ZONES D'IMPORTATIONS



Source : Price Waterhouse Coopers[53] - juin 2002

Les trois zones d'importation sont :

- **une zone Nord** : alimentée par l'Allemagne, la Belgique et les Pays-Bas ;
- **une zone Centre** : alimentée par la Suisse et l'Allemagne ;
- **une zone Sud** : alimentée par l'Allemagne, la Belgique, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

[53] Cartographie des prix de revient du lit de fusion et du calcin dans l'industrie verrière en France et en Europe.

Le calcin importé est « en mélange rendu usine », c'est à dire qu'il est composé, à la fois, de calcin coloré et de calcin incolore, traités et prêts à être enfournés chez les verriers. Chacune des zones importe les quantités de calcin rendu usine nécessaires à sa production mais à des prix différents :

REPARTITION DES IMPORTATIONS PRIX D'ACHAT MOYEN DU CALCIN ETRANGER RENDU USINE 2001

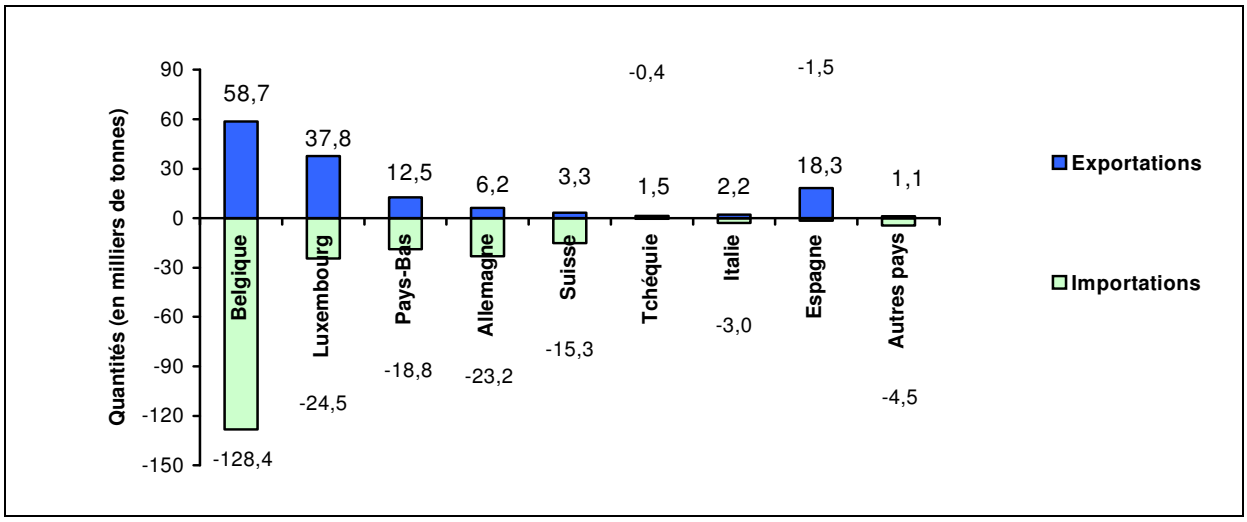
	% des importations	Prix d'achat moyen (€/tonne)
Zone Nord	61,2 %	46,20
Zone Centre	17,9 %	44,21
Zone Sud	20,9 %	51,42

Source : Price Waterhouse Coopers - Juin 2002

La partie sud de la France est celle qui achète le calcin le plus cher, au prix moyen de 51 €/tonne. Alors que la zone nord achète son calcin au prix de 44 €/tonne. Les différences du prix d'achat appliqué aux trois zones peuvent principalement s'expliquer par le prix du transport. En effet, plus le calcin sera transporté sur de longues distances, plus le prix de vente sera élevé.

Pour l'année 2002, les pays européens restent les principaux fournisseurs et clients de la France en ce qui concerne le calcin issu d'emballages ménagers et les autres types.

IMPORTATIONS ET EXPORTATIONS DU CALCIN PAR PAYS EN 2002 POUR LA FRANCE



Source : Recyclage récupération magazine - mai 2003

La Belgique et le Luxembourg, par l'absence d'usines verrières sur leur territoire, sont les principaux partenaires commerciaux français. En effet, la France importe respectivement de ces deux pays 128 000 et 37 000 tonnes de calcin. Ces deux pays sont également les principaux destinataires des exportations françaises de calcin.

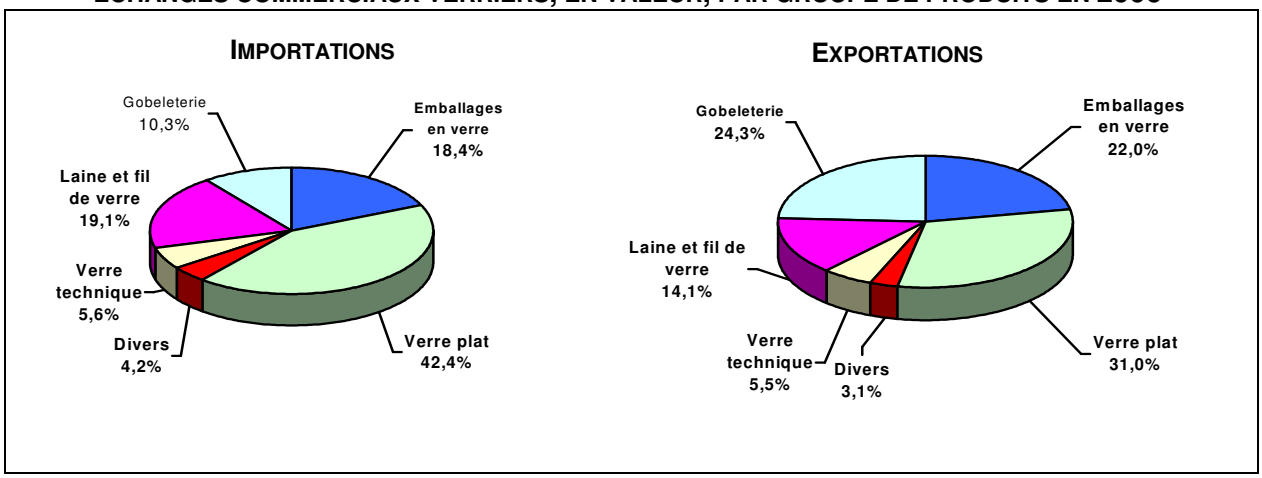
2.2. Le verre neuf

Le chiffre d'affaire des exportations françaises des produits finis en verre représente près de 3 milliards d'euros en 2006.

2.2.1 Par groupe de produits

La répartition des échanges commerciaux verriers par groupe de produits, en valeur, pour l'année 2006 est la suivante :

ECHANGES COMMERCIAUX VERRIERS, EN VALEUR, PAR GROUPE DE PRODUITS EN 2006



Source : Fédération des Chambres Syndicales de l'industrie du Verre - Rapport d'activité 2006

L'industrie du verre plat (verre à vitres, verre de sécurité, etc.) est le secteur où la part des importations, en valeur, est la plus importante avec 42,4 %. Il s'agirait en grande partie d'échanges entre les usines.

Les importations de verre d'emballage se sont stabilisées, avec un taux de 18,4 % des importations totales pour l'année 2006, elles sont majoritairement constituées de bouteilles pour liquides alimentaires.

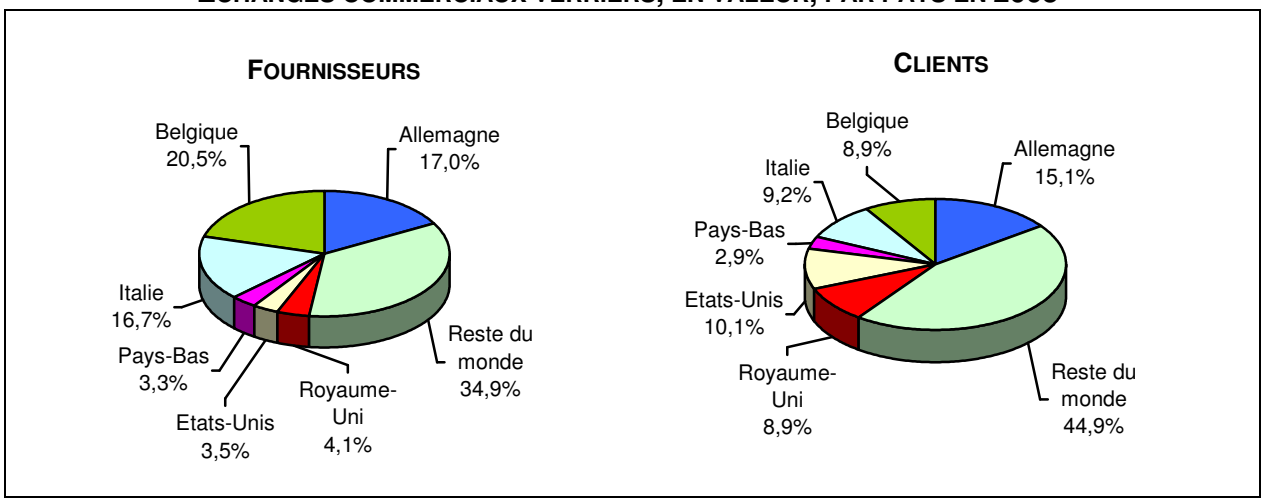
La gobeleterie réalise à elle seule 24,3 % des exportations verrières en valeur avec un montant atteignant plus de 721 millions d'euros.

Les produits techniques, quant à eux, ont peu évolué, avec des importations et des exportations respectives de 5,6 % et 5,5 %.

2.2.2 Par pays

Pour les échanges commerciaux de produits verriers, la France compte parmi ses fournisseurs et ses clients majoritairement des pays européens.

ECHANGES COMMERCIAUX VERRIERS, EN VALEUR, PAR PAYS EN 2005



Source : Fédération des chambres Syndicales de l'industrie du verre - Rapport d'activité 2006

L'Allemagne est le premier partenaire financier de la France concernant les produits verriers avec 20,7 % de la valeur des produits importés vers la France, et près de 15 % en valeur des produits exportés.

3. PRIX DE REVIENT DU LIT DE FUSION ET DU CALCIN DU VERRE D'EMBALLAGE

3.1. En France

3.1.1 Le lit de fusion

Le prix de revient du lit de fusion dépend tout d'abord de la coloration ou non du verre et de l'évolution du cours des matières premières. En effet, les produits minéraux requis pour l'élaboration de verre d'emballage incolore doivent être d'une très bonne qualité (sable contenant très peu de fer) engendrant logiquement une hausse du prix de revient comparé à du verre d'emballage coloré (dons les matières premières peuvent être considérées plus grossières).

PRIX DE REVIENT MOYEN DU LIT DE FUSION DU VERRE COLORE ET INCOLORE EN 2001

	Verre coloré	Verre incolore
Prix de revient minimum (€/tonne)	43,65	51,50
Prix de revient maximum (€/tonne)	59,97	61,20
Prix de revient moyen (€/tonne)	48,76	53,58

Source : Price Waterhouse Coopers - juin 2002

Le prix de revient du lit de fusion de verre coloré est en moyenne de 48,76 €/tonne et celui du verre incolore est de 53,58 €/tonne.

Cependant, pour le verre coloré, le prix de revient du lit de fusion peut varier selon la zone géographique[54]. Le prix du transport des matières, dépendant du lieu d'extraction et de celui de destination, fait sensiblement varier le prix de revient.

[54] Voir VIII.2.1 page 63

PRIX DE REVIENT DU LIT DE FUSION DU VERRE COLORE SELON LA ZONE GEOGRAPHIQUE EN 2001

	Zone Nord	Zone Centre	Zone Sud
Prix de revient minimum (€/tonne)	43,65	45,40	44,07
Prix de revient maximum (€/tonne)	59,97	59,00	50,21
Prix de revient moyen (€/tonne)	49,07	51,44	46,34

Source : Price Waterhouse Coopers - juin 2002

La zone Sud est la zone pour laquelle le prix de revient moyen du lit de fusion du verre d'emballages coloré est le moins élevé à 46,34 €/tonne, alors que celui de la zone Centre est le plus important à 51,44 €/tonne. Ceci s'explique par le fait que la zone centre est pauvre en carrières de sable (matériau principal constituant le verre) et qu'elle soit obligée de l'importer d'autres régions. Le coût de transport augmente considérablement le prix de revient total. Cependant, vu l'augmentation des prix du pétrole et des matières premières, ce coût doit désormais être plus élevé.

3.1.2 Le calcin

En France, le prix de revient du calcin, basé sur celui du lit de fusion, comprend :

- **le prix de reprise du verre à la collectivité dans le cas de calcin issu de déchets d'emballages ménagers ;**
- **le prix du transport (de la collectivité au centre de traitement et du centre de traitement au centre verrier) ;**
- **le prix du traitement.**

COUT D'APPROVISIONNEMENT ESTIME D'UNE TONNE DE CALCIN ISSU DE DECHETS D'EMBALLAGES MENAGERS EN MELANGE (COLORE + INCOLORE)

	Prix (€/tonne)	% du prix total
Prix de reprise à la collectivité en 2007	19,12	35 %
Transport (collectivité-traitement)	11	21 %
Traitement	17	31 %
Transport (traitement-verrier)	3,5	6 %
Divers	3,5	7 %
Total	54,12	100 %

Le coût moyen d'approvisionnement du calcin pour l'industrie verrière peut être estimé à 55 €/tonne. Le prix de reprise du verre d'emballage usagé issu des déchets ménagers représente près d'un tiers du coût moyen d'approvisionnement. Ce prix, correspondant au prix de reprise en 2007, garanti par les verriers auprès des collectivités locales dans le cadre des contrats à programme de durée du barème de soutiens financiers dits « barème D » entre les collectivités et les sociétés agréées Adelphe et Eco-Emballages, est de 19,12 €/tonne. Rappelons qu'il y a peu de temps, ce prix était de 22,9 €/tonne.

Le coût de traitement est estimé en moyenne à 17 €/tonne, ce qui équivaut, quasiment, aux frais engendrés pour le transport du calcin.

Dans le cadre du nouveau barème D, le prix de reprise du verre est révisable annuellement. Il est fonction du prix de référence du calcin, des coûts réels supportés par les verriers pour l'élaboration du calcin (coût de transport amont – AZE[55] + coût de traitement + coût de transport

[55] Aide aux Zones Eloignées (aide aux frais de transport du verre collecté jusqu'au centre de traitement pour les distances supérieures à 100 km).

aval) et le coût prévisionnel de la mise en œuvre des voies alternatives de recyclage du verre par les verriers. Il est calculé de la manière suivante :

Prix Reprise année n = Prix de référence année n-2 – Coût d'élaboration – Coût des voies alternatives

Le prix de reprise intègre le coût engendré par les voies alternatives. Cela signifie que les collectivités participeront financièrement, notamment à la mise en place du tri optique par couleur dans les centres de traitement industriels. Ceci devrait permettre de séparer le verre incolore de celui coloré afin d'absorber le futur surplus de calcin estimé par les verriers. Cependant, le **Cercle National du Recyclage** estime que ce coût doit être pris en charge par les verriers, dans le cadre de la recherche et du développement, et non par les collectivités locales.

Le prix de reprise devrait se rapprocher des prix du marché du calcin. En 2007, ce prix a été défini à 19,12 €/tonne.

En 2001 les verriers français se sont approvisionnés en calcin incolore issu des déchets d'emballages ménagers (triés mécaniquement ou séparés à la source) aux prix suivant :

PRIX DE REVIENT MOYEN DU CALCIN INCOLORE EN 2001

	Prix de revient moyen (€/tonne)	Prix de revient minimum (€/tonne)	Prix de revient maximum (€/tonne)
Achat de calcin incolore	52,95	43,42	54,87

Source: Price Waterhouse Coopers - juin 2002

Le prix de revient du calcin reste proche de celui du lit de fusion (53 €/tonne), ce qui reste tout à fait dans la logique des verriers.

En comparant ces chiffres à ceux du prix de revient du calcin coloré en mélange (de l'ordre de 50 €/tonne[56] pour les prix de reprise, de traitement et de transport), le surcoût moyen engendré par le tri par couleur (séparation du verre coloré du verre incolore) peut être estimé à 3 €/tonne.

Selon les industries verrières, le prix de revient du calcin doit diminuer. Cependant, certaines composantes de ce prix ne pourraient pas être diminuées comme le coût de transport et le coût de traitement, qui auraient plutôt tendance à augmenter.

En conséquence, le prix de rachat du calcin aux collectivités est donc, pour les verriers, le seul à pouvoir diminuer. Selon le nouveau barème D des sociétés agréées, le prix de reprise du verre pour l'année en cour sera défini à partir de l'évaluation du prix de référence du calcin des années précédentes (ex : en 2005 le prix de reprise du verre sera défini à partir du prix de référence du calcin de 2003).

Pour expliquer la diminution du prix de reprise aux collectivités locales, il est prétexté un « handicap concurrentiel supporté par l'industrie verrière française » face aux pays européens voisins dont les prix[57] du calcin seraient globalement plus faibles par rapport à celui appliqué en France.

[56] Voir VIII.3.1.1 page 66
[57] Voir.VIII.3.2 page 69

Cependant, les prix de revient du calcin rendu usine ne peuvent pas être comparés aux prix des voisins européens car les systèmes de collecte, de traitement et de financement du verre d'emballages ménagers sont différents de ceux de la France.

Le faible écart constaté entre le prix du calcin et celui du lit de fusion s'explique tout d'abord par l'absence d'une mercuriale de référence et par les prix renseignés, sur la base de la déclaration, par les verriers eux-mêmes. De plus, l'industrie verrière souhaite aligner le prix de revient du calcin sur celui des matières premières vierges du moment. Cependant, l'utilisation d'une tonne de calcin permet à l'industrie verrière de faire de substantielles économies :

- **40 kg de fioul lors de la fusion, soit une économie que nous pouvons estimer à 11,40 €[58] par tonne de calcin utilisé. Sachant que près de 2 millions de tonnes de calcin ont été réintroduits dans les fours verriers en 2006, l'économie au niveau national pour les verriers peut se chiffrer à plus de 22 millions d'euros ;**

- **200 kg de CO_2 évité par tonne de calcin utilisé, soit une économie que nous pouvons estimer à 3,47 €[59] par tonne de calcin utilisé. Sachant que prés de 2 millions de tonnes de calcin ont été réintroduits dans les fours verriers en 2006, l'économie au niveau national pour les verriers peut se chiffrer à plus de 6,9 millions d'euros.**

Une première estimation de l'économie engendrée par l'utilisation de calcin dans la production de verre d'emballage avoisine donc, pour l'année 2006, les 30 millions d'euros, soit 15 € par tonne de calcin utilisé. De plus, différents paramètres n'ont pas été comptabilisés :

- **le coût de la matière première naturelle à la place du calcin ;**
- **l'économie d'énergie par la non extraction de la matière première naturelle ;**
- **…**

3.2. En Europe

Les prix de revient du calcin traité et rendu usine en 2001 pour quatre pays européens que sont l'Allemagne, les Pays-Bas, l'Italie et l'Espagne sont les suivants :

PRIX DE REVIENT MOYEN DU CALCIN, SELON LA COULEUR, RENDU USINE A L'ETRANGER EN 2001

	Allemagne	Pays-Bas	Italie	Espagne
Verre en mélange (€/tonne)	×	40,79	51,80	40,97
Verre vert (€/tonne)	41,81	40,94	×	×
Verre brun (€/tonne)	46,04	×	×	×
Verre incolore (€/tonne)	46,67	46,67	53,40	×

Source : Price Waterhouse Coopers - juin 2002

[58] Prix évalué à partir du prix moyen du fioul lourd BTS, selon le ministère de l'industrie, pour l'année 2006 en France, estimé à 284,96 €/t (HTVA)

[59] Prix évalué à partir du prix moyen annuel du CO2, selon POWERNEXT pour l'année 2006 en France, estimé à 17,36 €/t de CO_2

Dans ces quatre pays, le prix du calcin rendu usine (prix de collecte, prix de traitement et prix de transport) est globalement plus faible que celui du calcin français quelle que soit la couleur. Cette différence peut s'expliquer en partie par les types de collectes différentes de celles de la France (ex : l'Allemagne collecte par consignation et par couleur en apport volontaire) et par les différences des systèmes de financement :

- **en Espagne** : la société Ecovidrio sous-traite la collecte, le transport et le traitement du verre à des prestataires agréés puis vend le calcin rendu usine aux verriers ;
- **en Allemagne** : la société GGA (Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung mbH) a une obligation de reprise du verre brut ménager issu de la collecte nationale ;
- **en Italie** : 15 % des flux de calcin sont gérés par un organisme indépendant, COREVE, et 85 % des flux sont négociés sur le marché libre entre les collectivités et les verriers ;
- **aux Pays-Bas** : l'ensemble du calcin est négocié sur le marché libre entre les verriers et les collectivités.

4. CONDITIONS DE REPRISE DU VERRE D'EMBALLAGES MENAGERS

Lorsqu'une collectivité a mis en place la collecte sélective des déchets ménagers recyclables sur son territoire, et plus particulièrement celle des déchets d'emballages en verre, elle signe un contrat avec une société agréée afin d'obtenir un certain nombre de soutiens financiers. Pour obtenir ces soutiens, la collectivité doit garantir le recyclage ou la valorisation effectifs des tonnes collectées. Pour cela, la collectivité choisie lors de la signature d'un nouveau contrat entre trois types de reprises du verre en vue du recyclage :

- **la garantie de reprise ;**
- **la reprise garantie ;**
- **la reprise directe.**

4.1. Les contrats avec les sociétés agréées

Les sociétés Adelphe et Eco-emballages sont des sociétés anonymes privées ayant reçu un agrément des pouvoirs publics pour prendre en charge les déchets d'emballages ménagers pour lesquels les producteurs et/ou les importateurs ont contribué.

Leur rôle est ainsi de redistribuer aux collectivités locales les contributions perçues auprès des industriels adhérents au titre de leur responsabilité d'élimination.

Pour cela, les entreprises qui mettent sur le marché des emballages ménagers, peuvent adhérer à ces sociétés agréées et leurs versent une contribution financière pour participer à l'élimination de l'ensemble de leurs déchets d'emballages. Le versement se traduit généralement par l'apposition du logo « Point vert ».

LOGO « POINT VERT »

Source : Eco-Emballages

La contribution est calculée en fonction du nombre et du type d'emballages qu'elles produisent ou importent.

BAREME AMONT 2005/2006

		Barème
Contribution au poids (ct €/kg)	Acier	2,26
	Aluminium	4,53
	Papier carton	12,21
	Plastiques	17,78
	Verre	0,36
	Autre	12,21
Contribution à l'emballage (ct €/unité)		0,11

Source : Cahier des charges annexé aux arrêtés d'agrément - MEDD – décembre 2004

En alternative au contrat et à la contribution classique définie ci-dessus, la société devant contribuer peut choisir le forfait :

- pour tous les secteurs, à l'exclusion des vins et spiritueux :

Tranche	A	B	C	D
CA annuel concerné	< 50 k€	50 à 155 k€	155 à 305 k€	305 à 610 k€
Contribution annuelle HT 2005 et 2006	66 €	244 €	489 €	979 €

Source : Cahier des charges annexé aux arrêtés d'agréments - MEDD – décembre 2004

- pour le secteur vins et spiritueux : **0 à 5000 bouteilles : 33 € HT (contribution annuelle 2005 et 2006)**.

La contribution permet d'apporter un soutien technique et financier, à des opérations de collecte sélective, de tri et de valorisation de déchets d'emballages ménagers conduites par les collectivités locales ayant signé un contrat avec elles.

Elle est reversée sous la forme de soutiens :

- **le soutien à la tonne triée (STT)** : soutien la collectivité locale dans la collecte et le tri des cinq matériaux d'emballages ménagers (acier, aluminium, papier/carton, plastique et verre) ;
- **les soutiens à l'habitat vertical et à l'habitat rural dispersé** : permet de soutenir les efforts financiers supplémentaires supportés par les collectivités locales dont l'habitat s'éloigne du milieu moyen pavillonnaire ;
- **le soutien à la valorisation énergétique** : soutien les collectivités locales valorisant énergétiquement leurs ordures ménagères par production d'électricité et/ou de chaleur ;
- **les soutiens au compostage et à la méthanisation** : soutien les collectivités locales sur le principe du compostage et de la méthanisation ;
- **le soutien à la communication** : permet d'aider les collectivité locales dans leur démarche d'information de la population.

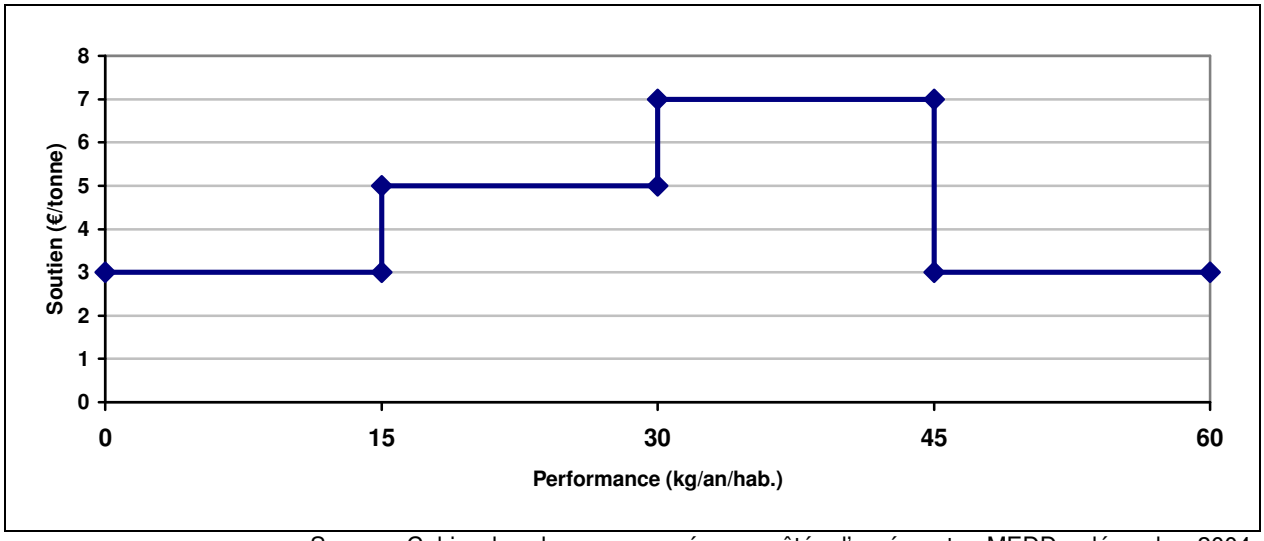
Ces soutiens sont versés dans le cadre du contrat « barème D » qui lie les collectivités locales avec Adelphe et/ou Eco-Emballages. Le verre est uniquement concerné par le soutien à la tonne triée.

4.2. Le soutien à la tonne triée

Au barème D, le calcul du soutien à la tonne triée du verre ne différencie plus le mode de collecte (apport volontaire, porte-à-porte), comme cela a pu être le cas précédemment (barème C). Il se structure de la manière suivante :

- **un soutien unitaire et une majoration, dépendante de la performance globale de la collectivité en matière de collecte sélective, sont cumulés ;**
- **les tonnes sont soutenues à des montants différents par tranches de performances selon le principe suivant :**

SCHEMA DE LA VARIATION DU SOUTIEN A LA TONNE TRIEE DU VERRE AU BAREME D



Source : Cahier des charges annexé aux arrêtés d'agréments - MEDD – décembre 2004

Afin d'expliquer le mode de fonctionnement du soutien, un détail par tranche de performances est fait. Si une collectivité collecte :

- **moins de 15 kg/an/hab. de verre : toutes les tonnes sont soutenues à 3 €/tonne ;**
- **entre 15 et 30 kg/an/hab. de verre : 15 kg sont soutenus à 3 €/tonne et le reste à 5 €/tonne ;**
- **entre 30 et 45 kg/an/hab. de verre, 15 kg sont soutenus à 3 €/tonne, 15 kg sont soutenus à 5 €/tonne et le reste à 7 €/tonne ;**
- **plus de 45 kg/an/hab. de verre, 15 kg sont soutenus à 3 €/tonne, 15 kg sont soutenus à 5 €/tonne, 15 kg sont soutenus à 7 €/tonne et le reste à 3 €/tonne.**

Le soutien à la tonne triée obtenu pour le verre est éventuellement majoré selon la performance globale de collecte sur les 5 matériaux d'emballages (acier, aluminium, papier/carton, plastique et verre).

Cette majoration est la « Majoration à la Performance Globale » (MPG). Cette majoration, réservée aux collectivités locales qui ont desservi plus de 50 % de leur population et collectent les cinq matériaux, peut augmenter les soutiens unitaires de chaque matériau de 0 à 30 %.

Concernant le verre incolore, toutes les tonnes sont soutenues à 7 €/tonne. La majoration à la performance globale peut être additionnée, sous respect de certaines conditions, et peut atteindre 30 % du montant du soutien.

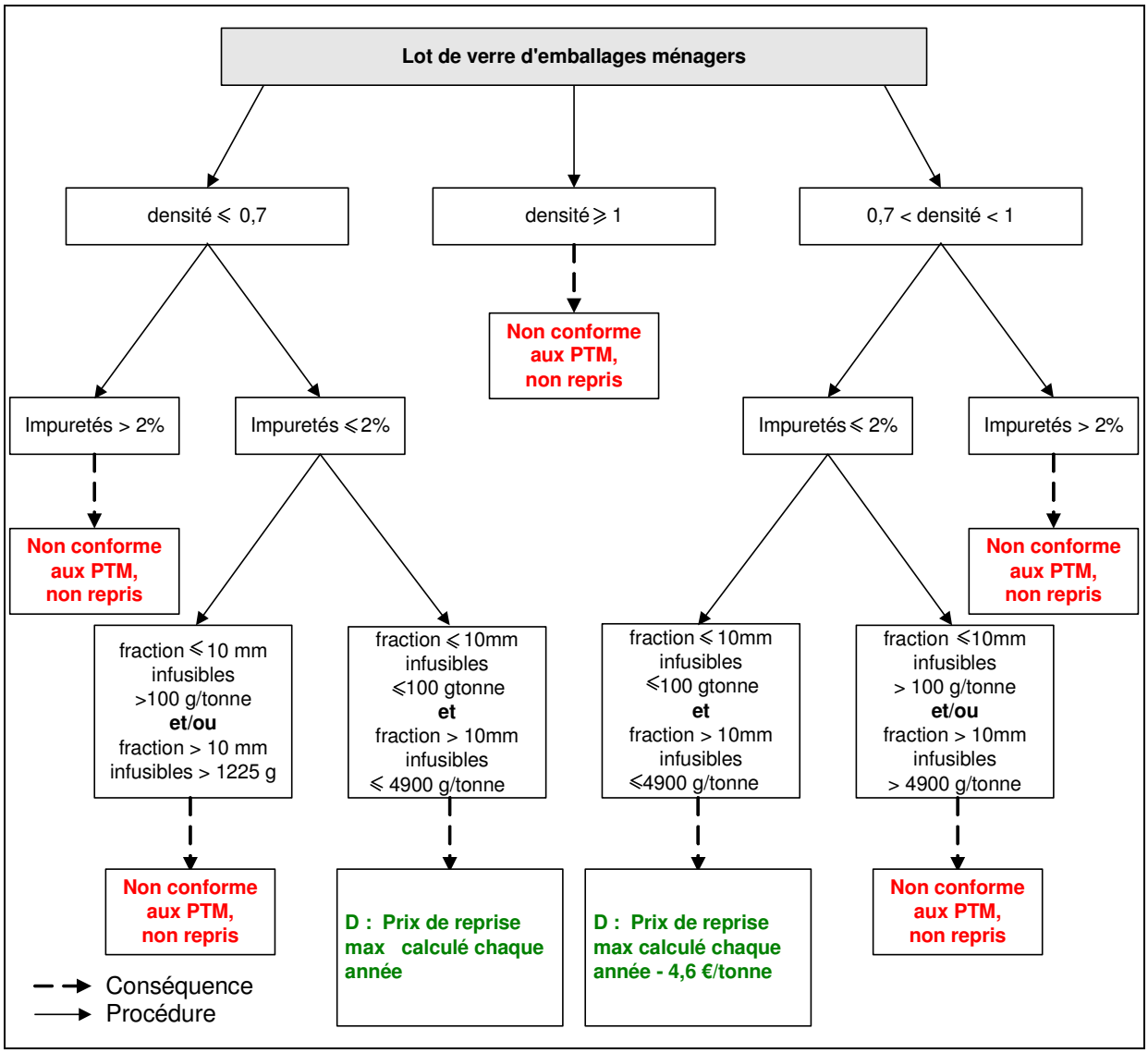
4.3. La reprise du verre

4.3.1 La garantie de reprise

Dès qu'une collectivité locale signe un contrat avec une société agréée, elle a la possibilité de bénéficier de la garantie de reprise du verre. Pour cela elle passe un contrat avec la filière de matériaux (Chambre Syndicale des Verreries Mécaniques de France) qui désigne un repreneur pendant toute la durée du contrat (6 ans) qui lui garantit l'enlèvement, départ centre de tri, de toutes les tonnes collectées. Cependant, les collectivités locales doivent respecter des spécifications particulières quant à la qualité du verre avant son traitement. Ces conditions sont appelées les Prescriptions Techniques Minimales (PTM)[60].

En effet, selon les PTM, le verre doit être du verre d'emballage (bouteilles, flacons, pots, etc.) cassé ou entier et doit respecter les conditions concernant la densité, le taux d'impuretés globales et la teneur en infusibles. Si la collectivité est en garantie de reprise et selon la qualité du verre obtenue, le prix de reprise fixé du verre varie de la manière suivante :

SCHEMA DE L'EVOLUTION DU PRIX DE REPRISE DU VERRE SELON LA QUALITE



[60] Voir VII.1.1.1 page 52

Le verre conforme aux PTM est considéré comme du verre de bonne qualité ; il est repris au maximum de son prix. Les lots considérés de moins bonne qualité subissent une réfaction. Enfin les lots qui ne sont pas aux PTM, ne sont pas repris par le traiteur et sont à la disponibilité de la collectivité pour élimination dans un délai défini.

Afin que la collectivité locale bénéficie des soutiens des sociétés agréées, la filière de matériaux doit fournir à la société agréée, et éventuellement à la collectivité, des certificats de recyclage.

Actuellement, la quasi-totalité des collectivités locales est sous contrat avec les sociétés agréées. La très grande majorité d'entre elles est en garantie de reprise pour le verre.

Cependant, le barème D offre plusieurs alternatives à la garantie de reprise et notamment la reprise par les fédérations professionnelles, dite « la reprise garantie »

4.3.2 La reprise garantie

La reprise des matériaux triés est proposée par les industriels adhérents de FEDEREC[61] et de la FNADE[62] aux collectivités locales au barème D, c'est la «reprise garantie ». Pour cela les collectivités signent directement, pour la durée du contrat société agréée (6 ans), un contrat avec les fédérations professionnelles et choisissent le repreneur parmi une liste d'entreprises labellisées.

Ces contrats garantissent l'enlèvement et le recyclage effectif des matériaux, notamment celui du verre, pour la durée du contrat. De plus, ils assurent la traçabilité en quantité et qualité des tonnes triées et recyclées ainsi que l'information et la transparence de l'ensemble des processus industriels et financiers.

Les prix de reprise proposés aux collectivités locales sont variables. Il n'y a, sur l'ensemble du territoire, ni mutualisation, ni unicité des prix de reprise, c'est à dire que le prix proposé peut être différent entre les collectivités et selon l'industriel repreneur. Cependant ce prix est garanti positif ou nul.

La qualité des matériaux repris, notamment du verre, est définie dans un cahier des charges entre la collectivité locale et le repreneur. La qualité exigée n'est pas forcement celle des PTM mais doit correspondre aux standards de matériaux.

Enfin, pour que la collectivité locale bénéficie des soutiens des sociétés agréées, les fédérations professionnelles doivent fournir à la société agréée et à la collectivité des certificats de recyclage.

Enfin, le dernier choix, qui se présente aux collectivités locales, est d'être directement en contrat avec une société reprenant le verre ménager sans passer par l'intermédiaire des filières ou des fédérations.

[61] Fédération de la Récupération, du Recyclage et de la Valorisation
[62] Fédération Nationale des activités de Dépollution et de l'Environnement

4.3.3 La reprise directe

Il y a très peu de collectivités locales directement sous contrat avec des repreneurs directs de calcin, mais cette possibilité reste envisageable.

Les collectivités locales ont toujours la possibilité de contractualiser directement avec l'industriel. Elles peuvent alors trouver un accord technique sur la collecte, la qualité, le tri et le traitement, ainsi qu'un accord financier sur le prix de reprise.

Pour que la collectivité locale bénéficie des soutiens, le repreneur doit fournir à la collectivité des certificats de recyclage, qui doivent être transmis à la société agréée.

IX. L'AUGMENTATION DE LA VALORISATION

Actuellement, la France affiche un taux de recyclage global du verre (verre d'emballage et autres) de près de 60 %. Cependant en comparant ce chiffre avec les résultats d'autres pays européens (Allemagne, Danemark, etc.), un retard certain est perceptible.

L'activité principale de recyclage du verre réside dans sa réutilisation dans les fours verriers pour fabriquer des produits identiques. Cependant, l'industrie verrière française va bientôt arriver à saturation de ses fours et les verriers ne pourront pas absorber plus de calcin qu'ils en absorbent actuellement. Néanmoins, ces propos sont tenus par les verriers depuis plus de cinq années et ne sont toujours pas constatés.

Malgré ce frein, il est important que les quantités collectées continuent à s'accroître et que de nouvelles perspectives techniques de recyclage et de valorisation du verre soient mises en places.

1. L'AMELIORATION DE LA COLLECTE DES VERRES

En 2006, près de 2 millions de tonnes de verre issu de déchets d'emballages ménagers ont été collectés et recyclés. Or, le gisement de déchets d'emballages ménagers en verre a été estimé et fixé par convention à 41,3[63] kg/an/hab. Cela signifie que pour l'ensemble de la population française (62 millions d'habitants) la quantité de verre issue d'emballages ménagers, captable sur une année, est au moins de 2,56 millions de tonnes. Il reste donc au minimum 22 % du gisement national à capter et à recycler.

Cependant, il est important de noter que les collectivités doivent effectuer les efforts nécessaires afin de collecter le maximum du gisement de verre et non pas la totalité. En effet, aller chercher les dernières bouteilles de verre n'est ni environnementalement, ni économiquement viable pour les collectivités. Le coût de collecte de cette tonne est plus élevé que son prix de revient et l'impact écologique engendré par sa collecte peut être considéré comme « désastreux ».

Avec l'entrée en vigueur du nouveau barème de soutiens aux collectivités locales, dit « barème D », il n'est pas intéressant économiquement d'aller collecter plus de 45 kg/an/hab. de verre à cause du plafonnement du soutien à la tonne triée[64].

Des améliorations peuvent également être apportées au niveau des moyens de collecte. Il n'est pas rare d'observer des conteneurs d'apport volontaire débordant de verre pendant plusieurs jours ou vidés alors qu'ils ne sont qu'à moitié pleins. Le choix de la taille et du volume des conteneurs d'apport volontaire est donc primordial. Plusieurs types de conteneurs sont disponibles sur le marché et chacun d'entre eux possède des avantages et des inconvénients :

- **conteneurs de très petits volumes (1 à 1,5 m^3)** : l'avantage de ces conteneurs est leur très faible encombrement. Les inconvénients sont le rapport volume/coût du conteneur qui est très élevé et le vidage très fréquent (jusqu'à plusieurs fois par semaine en milieu urbain) ;
- **conteneurs de petits volumes (2 à 2,5 m^3)** : les avantages sont qu'ils conviennent pour les espaces réduits et qu'ils s'intègrent facilement au site. Les inconvénients sont le rapport volume/coût du conteneur qui est élevé et le vidage fréquent ;

[63] Gisement estimé mathématiquement et fixé par convention par le cahier des charges annexé aux arrêtés d'agréments du 30 décembre 2004.
[64] Voir VIII.4.2 page 72

- **conteneurs standards (3 à 4 m^3)** : les avantages sont que ces conteneurs ont le meilleur rapport/poids/coût de conteneur et que le volume est adéquat pour desservir environ 1 000 habitants avec un levage toutes les 2 semaines. Les inconvénients sont l'encombrement et l'effet de masse plus difficiles à intégrer ;
- **conteneurs enterrés** : l'avantage principal de ces conteneurs est leur intégration idéale en hypercentre. Les inconvénients sont les coûts d'achat et d'entretien plus élevés et le temps de levage et de vidage plus importants.

L'optimisation du dispositif de conteneurs d'apport volontaire est atteinte dans la grande majorité des cas avec les conteneurs de capacité 3 à 4 m^3. Dans certains cas difficiles (manque d'espace, intégration au milieu, etc.) le petit conteneur ou le conteneur enterré sont des compromis qui s'imposent naturellement.

Certaines sociétés proposent des conteneurs avec système de pesée embarqué consultable à distance. Ce système permet de gérer les tournées de collecte des conteneurs d'apport volontaire. En effet, le conteneur dispose d'un analyseur à ultrason qui évalue le niveau de remplissage ainsi qu'un système de pesée dynamique. Le prestataire chargé du ramassage peut alors connaître en temps réel et avec précision le volume et la masse de verre collectés. A partir d'une certaine quantité prédéfinie, le système envoi un message électronique pour alerter de la nécessité du vidage. Cela permet de gérer les tournées de façon optimale, en évitant les débordements.

Concernant le verre à vitre, il n'y a pas de grandes améliorations à prévoir de la part des collectivités locales. En effet la grande majorité du gisement se trouve dans le secteur du bâtiment.

Les écrans (télévisions, informatiques), comme les tubes fluorescents, font désormais partie du décret n°2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements. Ce décret impose aux producteurs et aux distributeurs, depuis août 2005, de reprendre gratuitement les DEEE dans la limite du un pour un (un appareil acheté, un appareil repris). Les collectivités locales ont la possibilité, dans une démarche volontaire, de mettre en place la collecte sélective des DEEE. L'objectif de ce décret, fixé par la directive 2002/96/CE[65], était de collecter sélectivement au moins 4 kg/an/hab.[66] de DEEE au 31 décembre 2006 (objectif non atteint). De plus, « *Le Parlement européen et le Conseil, sur proposition de la Commission et compte tenu de l'expérience technique et économique acquise dans les États membres, fixent un nouvel objectif obligatoire à atteindre pour le 31 décembre 2008 au plus tard. Cet objectif peut éventuellement prendre la forme d'un pourcentage des quantités d'équipements électriques et électroniques vendus aux ménages pendant les années antérieures* ». Cette filière étant à ses débuts, le manque de visibilité nous empêche actuellement de prévoir des pistes d'amélioration en ce qui concerne la collecte de ces écrans.

[65] Directive 2002/96/CE du Parlement Européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

[66] Objectif fixé dans le cadre de la directive 2002/96/CE d parlement européen et du conseil du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques.

2. LES PERSPECTIVES TECHNIQUES

Actuellement en France, des perspectives techniques sont envisagées pour augmenter les quantités de verre recyclé. Plusieurs possibilités sont envisageables :

- **la séparation par couleur du verre des déchets d'emballages ménagers ;**
- **l'augmentation du taux de calcin dans la production de verre ;**
- **l'utilisation des fines et des refus des centres de traitement ;**
- **l'ouverture de nouveaux débouchés pour le calcin.**

2.1. La séparation par couleur du verre des déchets d'emballages ménagers

Actuellement, les emballages colorés représentent 70 % de la production totale d'emballages en verre contre 30 % pour le verre incolore. De plus, la quasi-totalité du verre d'emballage est collectée en mélange (verre coloré et incolore). Il serait donc intéressant de pouvoir extraire la part incolore, non négligeable, du verre coloré pour la recycler directement dans la fabrication d'emballages transparents.

2.1.1 Estimation du gisement de verre incolore

Un gisement de verre classique en mélange contient en moyenne 30 % de verre incolore. Sachant que pour l'année 2006 près de 2 millions de tonnes de verre ont été collectés en France, le gisement de verre incolore se trouvant dans le verre collecté peut être estimé 600 000 tonnes , soit près de 10 kg/an/hab.

2.1.2 Modes de tri

Deux modes de séparation du verre par couleur sont possibles :

- **le non mélange à la source ;**
- **le tri optique automatisé.**

<u>Le non mélange à la source</u>

Le non mélange à la source consiste à séparer le verre coloré, issu des déchets d'emballages ménagers, de celui incolore, directement auprès des ménages. Pour cela les deux modes de collecte sélective du verre peuvent être mis à contribution :

- **la collecte en porte-à-porte** : par laquelle les ménages séparent le verre coloré du verre incolore dans un bac de collecte compartimenté ou dans deux bacs de collectes différents ;
- **la collecte par apport volontaire** : par laquelle les ménages se séparent du verre incolore de celui coloré dans des conteneurs différents.

Le verre incolore est collecté et envoyé en centre de traitement. En effet, le verre doit nécessairement y passer afin d'être préparé au recyclage. Pour cela le verre incolore subit l'ensemble des étapes classiques de traitement[67] afin d'être nettoyé et débarrassé des impuretés et des infusibles. Le verre incolore est ensuite épuré du verre coloré qui peut éventuellement se trouver dans le flux, par un premier puis un second passage en machine de tri optique.

[67] Voir VII.1.1.2 page 40

L'application du principe du non mélange à la source engendrera de nombreux investissements pour les collectivités locales. En effet, chaque collectivité devra directement ou indirectement :

- **modifier l'ensemble du parc de conteneurs (ajout ou remplacement des conteneurs d'apport volontaire, ajout ou modification des bacs en porte-à-porte) ;**
- **aménager des espaces supplémentaires pour permettre l'implantation des conteneurs d'apport volontaire ;**
- **augmenter le nombre de collectes d'apport volontaire ou le nombre de camions ;**
- **augmenter le temps de collecte des bacs ou des conteneurs dû à leur multiplication ;**
- **adapter ou multiplier les camions de collecte ;**
- **modifier l'espace de stockage en centre de regroupement ;**
- **augmenter le nombre de transports du verre au centre de traitement ;**
- **modifier et renforcer la communication auprès des citoyens.**

De plus, les nuisances causées par la collecte se multiplieront (pollution atmosphérique, nuisances sonores, etc.).

Les centres de traitement devront également investir dans des machines de tri optique pour épurer les flux de verre incolore et garantir sa qualité (verre contenant moins de 1 % de verre coloré) en sortie de centre de traitement.

Ce mode de séparation n'est pas le mieux adapté car la plupart des collectivités locales françaises ont un système de collecte du verre en mélange.

Le tri optique automatisé

Le tri optique automatisé consiste à séparer d'un lot de verre collecté en mélange (coloré et incolore), issu des déchets d'emballages ménagers, le verre coloré du verre incolore par l'intermédiaire de machines de tri.

Par l'application de ce principe, les lots de verre entrants en centre de traitement sont en mélange (coloré et incolore). Le verre subit d'abord l'ensemble des étapes classiques de traitement[68].

En fin de traitement, le calcin passe sous des systèmes de détection optique qui discernent le verre incolore et, par insufflation d'air le sépare du verre coloré. Ce premier passage permet d'obtenir un calcin incolore pur à 95 % (il contient 5 % de verre coloré).

La fraction incolore précédemment extraite est passée une deuxième puis une troisième fois en machine de tri optique. Cette étape, qui se nomme l'épuration du verre incolore, est nécessaire afin d'éliminer le maximum de verre coloré résiduel. La détection est inversée et les caméras détectent le verre coloré à éliminer par insufflation d'air. La qualité du verre incolore en sortie de chaîne de traitement avoisine les 99 % de calcin incolore.

Plusieurs usines de traitement sont équipées de cette technologie. Cependant, seule l'usine SOLOVER de Saint Romain Le Puy est en mesure de fournir un premier retour qualitatif et économique. Selon des constructeurs, l'investissement technologique à effectuer varie de 120 000 € à 180 000 €[69]. De plus, l'investissement à réaliser pour un centre de traitement neuf qui, en plus des étapes classiques de traitement, sépare le verre incolore de celui coloré à partir d'un flux de verre mixte, est de l'ordre de 6 millions d'euros hors taxe.

[68] Voir VII.1.1 page 52
[69] Estimation faite par la société ERBI.

Selon les résultats obtenus par l'usine SOLOVER : « *la séparation se fait à partir de verre dont la granulométrie est supérieure à 7 mm. A partir d'un verre mixte brut entrant avec une production de 35 tonnes par heure, nous récupérons 18 % du verre incolore, produit par tonne de verre entrante. La teneur en verre incolore du verre mixte brut entrant chez SOLOVER est estimée à 30 %. Le taux de récupération du verre blanc est donc de 60 à 65 %* ».

Seule une partie du verre incolore peut donc être extraite du flux de départ. En considérant que près de 2 millions de tonnes de verre issus de déchets d'emballages ménagers ont été collectés en France en 2006, que 30 % de ce verre collecté est incolore et que 65 % du verre incolore se trouvant dans le flux de départ est extractible, la quantité de verre incolore pouvant être extraite serait donc de 390 000 tonnes, soit une performance de 6,3 kg/an/hab.

2.1.3 Estimation du surcoût de la séparation par couleur

Le surcoût engendré par la séparation du verre par couleur dépendra du mode de tri qui est choisi.

Une première étude, faite par l'Ademe et Eco-Emballage[70], permet d'obtenir une estimation concernant le surcoût engendré par le traitement du verre par couleur.

Concernant le principe de l'épuration du verre incolore après le non mélange à la source, le surcoût de traitement engendré par cette technique a été estimé entre 2,3 et 16,2 €/tonne de verre incolore produite.

De plus, si cette méthode de traitement est précédée d'une collecte sélective du verre par couleur en apport volontaire, le surcoût de collecte est estimé entre 19,8 et 35 €/tonne de verre incolore collecté. L'hypothèse que la collecte soit effectuée en porte-à-porte n'a pas été envisagée au travers de cette étude. Le surcoût engendré par la collecte en porte-à-porte risque cependant d'être au moins aussi élevé que le surcoût de la collecte en apport volontaire.

Concernant le démélange du verre incolore à partir d'un flux de verre mixte (coloré et incolore) par des machines de tri optique, l'étude estime le surcoût de traitement entre 63 et 83 € par tonne de verre incolore produite.

Or selon l'usine SOLOVER de Saint Romain Le Puy, « *En approche standardisée et pour 100 000 tonnes de calcin en mélange entrant, le coût de production de l'option tri par couleur est de 25 € hors taxes par tonne entrante, ce qui correspond à un surcoût de 1,5 € hors taxe par tonne entrante par rapport à l'option traitement du verre en mélange, pour une installation identique dépourvue de la fonction tri par couleur* ».

Le surcoût de traitement par démélange ne serait pas aussi élevé que l'étude de l'Ademe et d'Eco-Emballage peut le prétendre.

En exerçant la technique du démélange du verre incolore à partir d'un flux de verre mixte, la collecte du verre, aussi bien en apport volontaire qu'en porte-à-porte, ne sera pas modifiée et n'engendrera aucun surcoût de collecte.

A ce jour, aucun surcoût global n'a été estimé pour chacun des procédés (non mélange et démélange). De plus les contradictions entre les surcoûts, notamment concernant celui du traitement par démélange du verre incolore, ainsi que la non prise en compte de la totalité des surcoûts, engendrés par les deux procédés, nécessiteraient la mise en place d'une nouvelle étude tenant compte de la totalité des variables.

[70] Etude des perspectives d'évolution du tri par couleur du verre d'emballages en France - janvier 2002

2.1.4 Non mélange à la source ou démélange par tri optique ?

D'un point de vue technique et économique les deux procédés de collecte et de traitement pour la séparation du verre incolore sont possibles. Cependant, le choix de l'un des deux procédés sera différent selon que l'on se place du côté des industriels verriers ou de celui des collectivités locales.

Concernant les industriels verriers, le non mélange à la source est la solution la plus intéressante comparée au démélange par tri optique. Concernant les collectivités locales, le procédé le plus intéressant, des points de vues technique et financier, est le démélange par machine de tri optique des flux de verre mixte.

La majorité des collectivités locales française collectent actuellement le verre, issu de déchets d'emballages ménagers, en mélange. Avec la mise en place du procédé de démélange, les collectivités locales continueront à collecter du verre mixte (coloré et incolore), aussi bien en apport volontaire qu'en porte-à-porte.

Le non mélange du verre incolore à la source multiplierait les contraintes pour les collectivités locales car elles devraient investir. En effet, si la collecte sélective est :

- **en apport volontaire** : les collectivités locales devront soit multiplier le nombre de conteneurs présents, soit remplacer les conteneurs classiques mono compartimentés par des conteneurs multi compartimentés ;
- **en porte-à-porte** : les collectivités locales devront soit fournir aux usagers un bac supplémentaire pour collecter le verre incolore, soit modifier les bacs existants.

De plus, la grande diversité du territoire français concernant les modes de collecte rendra plus difficile la mise en place d'un système de collecte commun.

Les coûts d'entretien et de gestion des conteneurs et des bacs seront multipliés. Quelque soit le mode de collecte effectué par les collectivités locales, elles devront mettre en place un plan de communication et former des ambassadeurs de tri afin d'expliquer aux habitants comment et pourquoi séparer le verre coloré de celui incolore.

Les sociétés de collecte devront également investir au niveau technique en adaptant leurs camions à la collecte du verre incolore. Elles devront éventuellement multiplier le nombre de collectes.

Le non mélange à la source demandera donc de très grands efforts techniques et financiers de la part des collectivités locales ainsi que des délais de mise en place beaucoup plus importants comparés au démélange par tri optique automatisé. Ces coûts supplémentaires n'auront pas d'intérêt si des soutiens et un prix de reprise conséquents ne sont pas versés aux collectivités locales.

Le démélange, quant à lui, permettra de réguler les besoins des industriels en calcin incolore. Il serait dommageable de collecter séparément du verre incolore et de ne pas avoir d'exutoire pour le recyclage en emballages incolores.

Enfin la mise en place du tri optique automatisé dans les centres de traitement permettra un investissement financier unique de la part des industriels comparé au non mélange à la source qui demandera un investissement collectif (contribuables, collectivités locales, collecteurs, centre de traitements)

La meilleure solution pour séparer le verre incolore issu des déchets d'emballages ménagers de celui coloré semble donc être le démélange par tri optique automatisé à partir d'un flux mixte.

2.2. Le tri des refus de centres de traitement

Les centres de traitement refusent chaque année certaines quantités de calcin issu de la collecte sélective du verre d'emballages ménagers. Ce verre est écarté des chaînes de recyclage car il est considéré non conforme aux Prescriptions Techniques Minimales.

Ce verre est alors à la disponibilité des collectivités locales pour son élimination ou sa mise aux PTM. Cependant les collectivités, pour des raisons pratiques et financières, préfèrent le stocker en centre d'enfouissement plutôt que de le mettre aux PTM.

Actuellement, ces refus sont soit destinés à l'enfouissement, soit destinés à des voies alternatives (enrichissement des mâchefers[71] destinés au remblais routier, etc.)

2.3. L'augmentation du taux de calcin dans la production du verre

Une autre perspective technique est envisageable pour accroître la quantité de verre recyclée, c'est l'augmentation du taux de calcin dans la fabrication de produits verriers.

2.3.1 Le verre d'emballages ménagers

La possibilité d'augmenter le taux de calcin dans la fabrication du verre d'emballages ménagers est directement liée à la séparation du calcin par couleur.

Dès la mise en place de la séparation du verre incolore issu de déchets d'emballages ménagers les quantités de verre recyclé augmenteront.

En effet, le flux de verre incolore recyclable est estimé à près de 600 000 tonnes[72]. Ce gisement se trouvant au départ dans le flux de verre mixte, 600 000 tonnes de verre coloré supplémentaires pourront donc être recyclées

De plus, la capacité d'absorption actuelle du calcin en mélange dans les fours verriers pour la fabrication d'emballages colorés est de l'ordre de 60 à 80 %. Dès que la séparation par couleur sera mise en place, les capacités d'absorption du calcin coloré, dépourvu de calcin incolore pour la fabrication de verre coloré, pourront être augmentées à près de 90 %.

L'accroissement des quantités de verre coloré et incolore recyclées et l'augmentation de leur proportion dans la fabrication permettront d'augmenter les quantités recyclées de près de 50 %.

[71] Résidus de l'incinération des ordures ménagères récupérés en sortie de four.
[72] Voir IX.2.1.1 page 78

2.3.2 Les autres verres

Chaque type de produit verrier peut absorber du calcin lors de sa fabrication. Pour certains, ce calcin doit être de même nature que le verre fabriqué (les verres à vitres et les verres techniques), et pour d'autres différentes sortes de calcin (les fibres d'isolation).

Fibres d'isolation

Les fibres d'isolation sont plus communément appelées laine de verre.

La laine de verre a l'énorme avantage de pouvoir intégrer quasiment tous les types de verre récupérés dans sa fabrication. Le verre d'emballage, le verre à vitres et les refus de centres de traitement sont principalement utilisés dans la fabrication. De plus, du calcin issu d'écrans de télévision peut être introduit lors de la fabrication de ce produit.

Actuellement en France, le taux moyen d'introduction du calcin dans les fibres s'isolation est proche de 45%[73]. Les quantités ingérées peuvent encore être augmentées.

Les verres plats

La quantité de calcin introduite actuellement dans le verre plat est très faible comparée aux autres secteurs du verre, soit 20 à 35 %. L'introduction de si faibles quantités de calcin s'explique principalement par le faible taux de captage du verre issu des déchets de verres plats.

Actuellement, le gisement principal de déchets de verres plats se trouve dans le secteur du bâtiment. Tant que la démolition sera préférée à la déconstruction, les quantités de verres plats à destination du recyclage n'augmenteront pas ou très peu.

Les verres techniques

Le principal problème rencontré au niveau de l'incorporation de calcin dans les verres techniques est la quantité de calcin disponible très largement insuffisante.

Concernant le verre d'écrans, les quantités de calcin collecté et traité devraient augmenter avec le décret relatif à la prévention et à la gestion des déchets d'équipement électriques et électroniques (DEEE)[74] mis en application depuis le 15 novembre 2006.

En effet, quand la collecte des verres techniques, et notamment celle des écrans à tube cathodique, sera généralisée, les quantités pouvant être traitées et recyclées dans la fabrication d'écrans seront plus importantes. Cependant, un autre problème apparaît, la disparition et le remplacement progressif des écrans à tubes cathodiques par les écrans plats. De ce fait la fabrication des cônes et dalles d'écrans a complètement disparue du territoire français. La France va donc se retrouver avec un gisement de verre issu d'écrans qui ne sera pas exploitable dans la fabrication d'un produit identique.

Il est donc nécessaire de déterminer, développer et ouvrir d'autres débouchés de valorisation du verre d'écran.

[73] Source : Saint Gobain Insulation.
[74] Voir IX.1 page 76

2.4. L'orientation du calcin vers d'autres marchés : quelques exemples

Le verre a des vertus qui lui permettent d'être utilisé dans des applications autres que celles de la fabrication du même produit dont il est issu. En effet, il peut également entré dans la composition de matériaux de construction et d'isolation, dans les peintures, ainsi que dans de nombreux autres domaines.

Actuellement plus de cinquante procédés de fabrication permettent le recyclage ou la valorisation du verre. Quelques exemples de valorisation du verre sont expliqués ci-après.

2.4.1 Utilisation en matériaux de construction

Le calcin peut être incorporé dans la fabrication du ciment de verre. Pour sa fabrication il suffit de mélanger 80 % de verre broyé très finement à 20 % d'additifs. Le calcin utilisé peut être issu du rejet de tri optique des centres de traitement du calcin d'emballages, etc. La présence d'impuretés (infusibles, papier, plastique, métaux, etc.) n'est pas gênante tant que la proportion dans le verre n'excède pas 50 %.

Actuellement, ce ciment est utilisé principalement dans la stabilisation des sols. Une application concrète de ce produit, et l'une des plus prestigieuses, est l'emploi de ce ciment pour la rénovation d'allées du château de Versailles. Mais d'autres utilisations peuvent lui être trouvées comme sur des pistes cyclables, des boulodromes, des pistes équestres, des terrains de sport, des allées de jardin, etc.

De plus, de nombreux résidus verriers (fines de verre, refus de centre de tri, calcin ménager, etc.) peuvent être utilisés comme additifs en remblais routiers. Ils peuvent servir à la stabilisation des sols et améliorent les propriétés des sous couches routières.

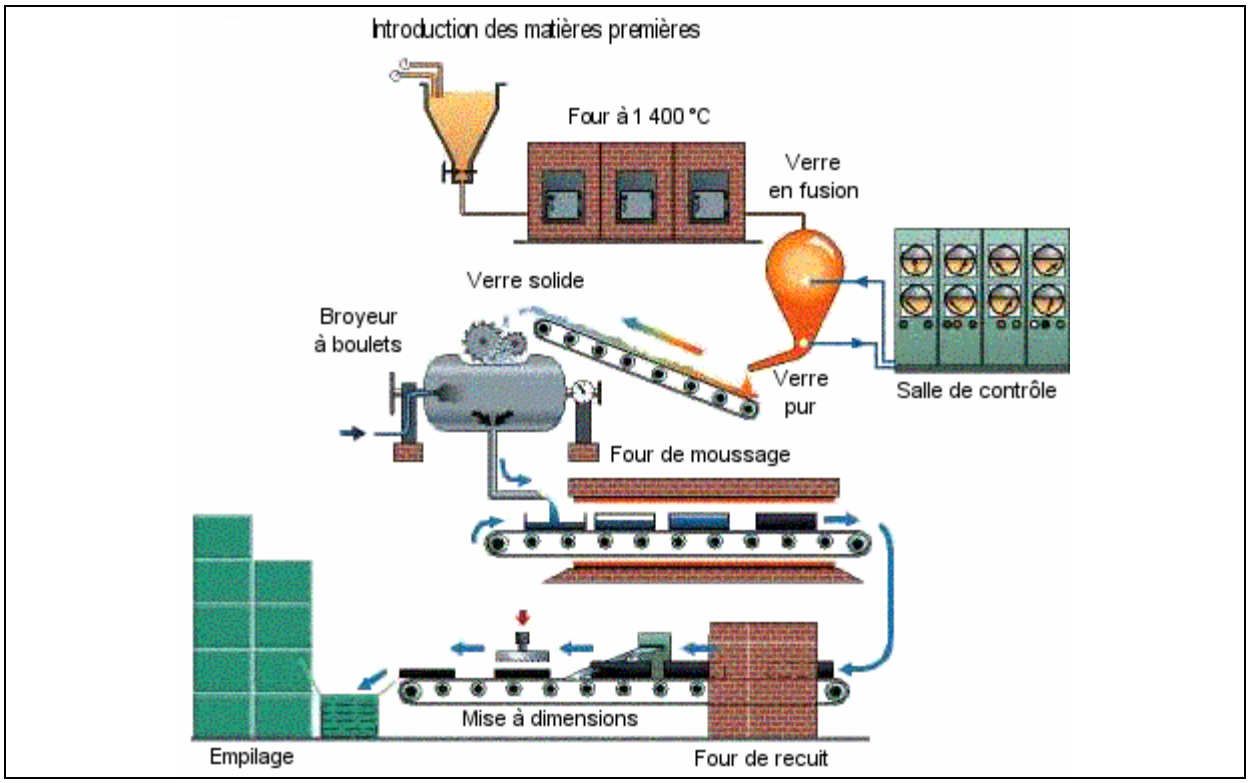
Ils peuvent également être intégrés à des matrices béton destinées à la production de blocs de construction. Ces blocs de bétons présentent de meilleures qualités d'isolation phonique et thermique comparé à un même bloc dépourvu de calcin.

2.4.2 Utilisation en isolation

Le calcin peut être utilisé lors de la fabrication de la mousse de verre. C'est un verre expansé qui contient jusqu'à 44 % en masse de calcin et le reste de matières premières naturelles, principalement de la silice (SiO_2,), de l'oxyde de sodium (Na_2O) et de la chaux (CaO). Le calcin actuellement utilisé a pour origine les vitres, les pare-brise, le verre d'emballages. L'utilité principale de cette mousse est l'isolation thermique.

Ce procédé a été découvert par la Société Anonyme des Manufactures des Glaces et Produits Chimiques de Saint-Gobain en 1934 et breveté le 17 juin 1935. Son mode de fabrication est le suivant :

SCHEMA DU PROCEDE DE FABRICATION DE LA MOUSSE DE VERRE



Source : Pittsburgh Corning France

Les matières premières (calcin et matières premières naturelles) sont enfournées et chauffées à 1 400 °C.

Le verre fondu s'écoule en continu du four et refroidit. Après solidification, le verre est broyé pour obtenir des grains de l'ordre de 0,4 micromètres de diamètre. Cette poudre est alors enfournée dans un four de moussage à laquelle est ajouté 0,2 % de noir de carbone pour provoquer le gonflement.

Ce mélange, une fois gonflé, est alors coulé dans un moule. Dès que la mousse a fini de gonfler et s'est légèrement solidifiée, elle est démoulée et passée dans un four de recuit pour durcir. Après la recuisson, elle est mise en forme de plaques ou de granulats.

Cette mousse accepte du calcin issu des emballages en verre contenant des infusibles. L'impact des infusibles sur le produit fini est nul.

Les plaques et les granulats, obtenus à partir de la mousse de verre, sont un très bon isolant à la fois thermique et phonique. De plus cette mousse est chimiquement très résistante, imputrescible, résistante au feu et non absorbante.

Des études seraient actuellement en cours pour insérer du calcin issu du verre d'écran dans la fabrication de cette mousse expansée. En effet, elle aurait la capacité de neutraliser les métaux lourds contenus dans le verre. Cette mousse ne servirait, à priori, pas d'isolant thermique, mais plutôt d'isolant phonique.

Une seconde utilisation du calcin dans l'isolation est son incorporation lors de la fabrication des fibres de verre. Actuellement 50 % des matières premières peuvent être remplacées par du calcin. Ce marché est actuellement le deuxième marché pour le calcin issu du verre d'emballages ménagers.

2.4.3 Utilisation dans les céramiques

Le calcin peut être intégré dans la fabrication de l'ensemble des produits en céramiques. Il s'agit de tuiles, de dalles, de carrelage, de lavabos, de WC, de baignoires, de briques, etc.

Ces produits et le calcin ont les mêmes constituants de base que sont la silice (SiO_2,), l'oxyde de sodium (Na_2O) et la chaux (CaO). L'incorporation de calcin dans leur fabrication a de nombreux avantages. En effet, il permet de faire des économies de matières premières et d'énergie (la température de fusion du verre est inférieure à celle des céramiques). De plus, il est apprécié pour son aspect brillant, poli et coloré.

Son utilisation dans les céramiques confère aux produits une amélioration de certaines propriétés (imperméabilité, résistance aux chocs thermique ainsi qu'une meilleure adhérence.

2.4.4 Utilisation dans les peintures

Le calcin peut être incorporé dans la composition de certaines peintures. Ces peintures sont de deux types :

- **les peintures de signalisation routière** : le calcin y est incorporé sous la forme de microbilles qui confèrent à la peinture un fort pouvoir réfléchissant. Ces peintures sont principalement utilisées sur les routes, les panneaux routiers et les vêtements de travail de nuit.
- **les peintures acryliques modifiées** : le calcin y est introduit pour renforcer la structure de la peinture et lui donner de la souplesse et de l'élasticité. Ces peintures sont destinées à combler les petites fissures, prévenir les infiltrations d'eau, couvrir et lisser les surfaces comme le béton, le stuc[75], etc.

2.4.5 Utilisation en filtration

Le calcin peut également être utilisé dans des systèmes de filtration de liquides, notamment celui de l'eau.

En effet, son utilisation en remplacement du sable lui confère certains avantages :

- une non adhésion des bactéries sur la surface lisse du calcin donc une diminution du nombre de rinçages ;
- une masse volumique inférieure à celle du sable donc gain d'espace du système de filtration ;
- un effet catalytique de la filtration dû à la présence de métaux, en petite quantité, dans la composition du verre.

La taille du verre est un paramètre essentiel pour garantir l'efficacité de la filtration. En effet, si les particules de calcin sont broyées trop finement, le filtre peut se bloquer rapidement. Si ces particules sont trop grosses, les petites impuretés ne sont pas filtrées. De plus, la capacité de filtrage du calcin dépend également de la proportion de silice contenue dans le verre. Les verres contenant de plus faibles quantités de silice lors de la fabrication auront une capacité de filtration moins élevée que ceux en contenant une grande proportion.

Ces filtres sont principalement utilisés pour l'eau des piscines, des aquariums, des effluents industriels, etc.

[75] Composition de plâtre ou de poussière de marbre liée avec une solution de colle forte formant un enduit qui, poli, imite le marbre.

2.4.6 Autres perspectives

D'autres applications sont possibles afin de valoriser le calcin :

- **l'épandage sur les champs pour aérer la terre ;**
- **l'utilisation des fines comme matériau de sablage ;**
- **etc.**

De nombreuses études sont actuellement en cours pour déterminer de nouvelles utilisations du calcin dans la fabrication de produits finis. Les critères principaux de l'utilisation du calcin dans ces produits seront :

- **l'économie de matières premières ;**
- **l'économie d'énergie ;**
- **la réduction des coûts ;**
- **l'équilibre financier ;**
- **la politique environnementale de l'entreprise.**

X. L'AVIS DU CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE.

Le verre est un matériau qui se recycle à l'infini. L'utilisation du calcin dans la fabrication de produits verriers présente de nombreux avantages :

- **il évite l'utilisation de matières premières naturelles ;**
- **il contribue à la lutte contre la pollution atmosphérique ;**
- **il permet des économies considérables en énergie.**

Sa collecte sélective en vue du recyclage est donc bien un geste écologique à enjeux environnementaux.

Le verre est également un matériau à enjeux financiers. En effet, l'emploi de calcin dans la fabrication du verre permet aux industriels de faire des économies financières sur l'achat de matières premières naturelles et d'énergie.

De plus, dans le cadre du protocole de KYOTO, le calcin, ne rejetant pas de dioxyde de carbone, permet aux verriers de fortement limiter le paiement de la taxe carbone. L'utilisation de calcin à la place de matières premières vierges, dans la fabrication du verre d'emballage, permet au moins une économie, en énergie et sur le CO_2, de 15 €/tonne de calcin utilisé[76]. Ce gain économique tend à s'accroître en vue de l'augmentation progressive et continue du prix de l'énergie.

Le calcin deviendra alors une ressource incontournable et recherchée par les industriels.

Pour les collectivités locales, l'enjeu financier est problématique. En effet, étant les fournisseurs principaux des verriers, les collectivités locales ont vu, lors du passage au barème D, le soutien du verre, collecté en porte-à-porte, fondre comme neige au soleil de près de 50 %.

De plus, le prix de reprise du verre ne tient pas compte des économies faites par les industriels grâce au calcin des collectivités locales et a été diminué de près de 20 %. Désormais il est basé sur des cours dits « de références » fournis par les verriers. Le verre est l'un des seuls matériaux en Europe, utilisé pour la fabrication de produits finis, à ne pas posséder de mercuriale pouvant permettre la détermination d'un prix réel.

Concernant la reprise du verre dans le cadre du barème D, il est nécessaire qu'une réelle alternative à la garantie de reprise soit proposée aux collectivités locales. En effet, les principes de la reprise garantie et de la reprise directe sont, tout simplement, inapplicables et inaccessibles par faute de repreneurs.

En persistant sur un chemin économique beaucoup plus favorable aux industriels qu'aux collectivités locales, le verre risque de devenir un matériau pour lequel les efforts de collecte, au niveau de la quantité et de la qualité, seront délaissés. Il faut que l'équilibre financier soit rétablit au plus vite.

Afin de ne plus favoriser un éventuel climat de tensions entre les différents acteurs de la collecte du verre, le choix du mode de collecte doit rester celui de chaque collectivité locale. Si certaines d'entres elles choisiront le mode de collecte le plus économique, d'autres préféreront celui apportant des quantités plus élevées, un service plus proche et mieux adapté à la population du territoire. Par contre, inciter toutes les collectivités locales françaises à collecter le verre d'emballage uniquement par apport volontaire pourrait avoir de dramatiques

[76] Voir VIII.3.1.2 page 679

conséquences. Le geste de tri serait considéré comme un retour en arrière et démotivé auprès des habitants. Les quantités collectées et recyclées pourraient alors fortement diminuées.

Actuellement, la France est l'un des leaders européen en matière de recyclage du verre. Les efforts pour recycler encore plus doivent perdurer. La mise en place de solutions supplémentaires pour augmenter ce recyclage devient donc nécessaire et indispensable. L'une d'entre elles est le démélange du verre incolore par tri optique automatisé à partir d'un flux de verre mixte. Les industriels verriers doivent désormais impérativement gérer et maîtriser ces techniques de tri pour assouvir leur besoin en matières. Le retrait partiel du verre incolore de celui coloré devrait permettre à l'industrie de l'emballage coloré d'augmenter la capacité d'introduction du calcin coloré dans les fours verriers à près de 90 % et également de pouvoir désormais introduire du calcin incolore dans la fabrication d'emballages transparents.

Concernant les autres types de verre, de gros efforts sont à effectuer aussi bien sur la collecte que sur le recyclage. Le décret relatif à la prévention et à la gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), en application depuis le 15 novembre 2006, devrait permettre d'augmenter considérablement les quantités collectées et recyclées. Cependant, avec la disparition de la dernière usine française de fabrication d'écrans à tube cathodique, le verre issu de ces déchets n'a quasiment plus de débouchés. Les alternatives au recyclage sous forme du même produit doivent être développées pour permettre une valorisation optimale.

Le principe de la Responsabilité Elargie du Producteur doit, à terme, complètement être appliqué et intégré par les producteurs. Pour cela deux possibilités s'offrent à eux :

- la mise en place par les producteurs de leurs propres circuits de collecte, avec toutes les conséquences techniques et financières que cela engendrerait ;
- une couverture à 100 % des coûts des collectivités locales, engendrés par la collecte sélective du verre.

Les collectivités locales, et donc les contribuables, ne doivent plus supporter la charge financière, en tout ou partie, de l'élimination des déchets en verre, mais ce sont bien les producteurs.

Enfin, les collectivités locales sont conscientes des enjeux et des problématiques de terrain (infusibles, …) engendrés par le verre. Elles sont d'ailleurs tout à fait ouvertes à la discussion et à toute forme de communication avec les verriers pour régler rapidement les problématiques.

ANNEXE 1 : GLOSSAIRE

Aide aux Zones Eloignées (AZE) : aide financière, soumise à conditions, versée aux filières de matériaux par les sociétés agréées pour compenser le coût de transport des matériaux.

Calcin : broyât, débris de verre pulvérisé, calibré et trié, utilisé pour le recyclage du verre.

Certificat de recyclage : document apportant la preuve du recyclage effectif des matériaux et donnant droit au versement des soutiens par les sociétés agréées.

Collecte : ensemble des opérations consistant à enlever des déchets et à les acheminer vers un lieu de transfert, de tri, de traitement ou de décharge.

Déchets assimilés : déchets issus des activités économiques de l'artisanat, des commerces, des bureaux et petites industries ou d'établissements collectifs et utilisant les mêmes circuits d'élimination que les déchets ménagers non dangereux.

Déchets d'emballages ménagers : déchets résultant de l'abandon des emballages dont les détenteurs finaux sont les ménages.

Déchets encombrants des ménages : fraction des déchets ménagers liés à une activité occasionnelle qui, en raison de leur volume ou de leur masse, ne peut être prise en compte par la collecte régulière des ordures ménagères.

Déchets ménagers et assimilés : déchets issus de l'activité domestique des ménages ou déchets non dangereux provenant des entreprises industrielles, des artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux, services tertiaires et collectés dans les mêmes conditions.

Matière première secondaire : matière résultant du traitement, soit d'une matière première, soit d'un déchet réutilisable dans un processus de production.

Opérateur : unité économique regroupant des moyens humains techniques et financiers, organisée en vue de produire et de vendre des biens ou des services répondant à des besoins.

Ordures ménagères : fraction des déchets ménagers (boites de conserves, emballages cartons, épluchures, canette de bière, etc.) générée par les activités domestiques et prises en compte par la collecte régulière.

Prescriptions Techniques Minimales (PTM) : ensemble de critères techniques des matériaux, à respecter et définis par les filières de matériaux.

Recyclage : réintroduction directe d'un déchet dans un cycle de production dont il est issu en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge.

Repreneur : unité économique regroupant des moyens humains techniques et financiers, organisée en vue de reprendre et de recycler des matériaux.

Soutien : financement versé aux collectivités locales par les sociétés agréées dans le cadre du contrat les liant.

Standard de matériau : ensemble de critères techniques de qualité des matériaux livrés chez le repreneur.

Valorisation : mode d'exploitation des déchets qui vise à les transformer afin de le réintroduire dans le circuit économique.

ANNEXE 2 : BIBLIOGRAPHIE

ADELPHE ECO-EMBALLAGES - *Cartographie des prix de revient du lit de fusion et du calcin dans l'industrie verrière en France et en Europe* - Juin 2002.

ADELPHE ECO-EMBALLAGES – *Demande d'agrément* – Avril 2004

ADEME – *Bilan et perspective d'une décennie de recyclage* – Juillet 2002.

ADEME – *Bilan triennal 1999-2001 de l'activité des organismes agréés Adelphe et Eco Emballages* – Décembre 2002.

ADEME – Déchets municipaux : les chiffres clés – Avril 2000.

ADEME – *Etude technico-économique comparée des cours du calcin en Europe* – Juin 1997.

ADEME – *La valorisation des emballages en France* – Août 2001.

ADEME – *La gestion des déchets en France : les évolutions essentielles depuis 1992* – Août 2001

ADEME ADELPHE ECO-EMBALLAGES – *Le gisement des emballages ménagers en France* : Evolution 1994 2003 – Octobre 2004

ADEME ADELPHE ECO-EMBALLAGES –*Campagne de mesure de la densité des collectes de verres d'emballages ménagers* – avril 2005

ADEME ECO-EMBALLAGES – *Qualité du calcin en fonction des modes de collecte* – Novembre 1995.

ADEME ECO-EMBALLAGES - *Etude des perspectives d'évolution du tri par couleur du verre d'emballages en France* (2000-2006) – Janvier 2002.

ADEME ECO-EMBALLAGES – *Qualité du calcin en fonction des modes de collectes* – 1995.

AMORCE – *Les élus municipaux et les déchets* – Avril 2001.

BSN GLASS PACK – *Le recyclage du verre*.

CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE – *Guide de l'élu local en charge des déchets* – Avril 2001.

CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE – *Le verre dans les déchets d'emballages ménagers* – Juillet 1998.

CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE – *Mémento du Cercle National du Recyclage* – Novembre 2002.

CHEMISTRY OF GLASS – *A.Paul* – 1992.

COLLECTES SELECTIVES EN APPORT VOLONTAIRE : INTERETS, LIMITES ET PERSPECTIVES – Février 1999

DG CONSEIL – La consigne est-elle une solution ? – Forum national du recyclage des emballages verre – Désirée GUISSARD – Juin 2007.

ECO-EMBALLAGES – *Contrat programmes de durée – Barème C* – 1999.

ECO-EMBALLAGES – *Etudes des modes de collecte et de recyclage du calcin dans différents pays industrialisés* – Décembre 1997.

ECO-EMBALLAGES – *Les actions sélectionnées et soutenues par Eco-Emballages Recherche et développement* – Novembre 1996.

FEDERATION DES CHAMBRES SYNDICALES DE L'INDUSTRIE DU VERRE – *Rapport d'activité* – 2003 – 2004 – 2005 - 2006.

LES VERRES ET L'ETAT VITREUX – *Edition Masson - J.Zarzycki – 1982.*

MINISTERE DE L'ECONOMIE DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE – *L'industrie française de l'emballage* – 2000.

OFFICE PARLEMENTAIRE D'EVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES – *Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés* – Juin 1999. »

RDC ENVIRONMENT - PIRA INTERNATIONAL – "Evaluation of cost and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the packaging and packaging waste directive 94/62/EC" – Final Consolidated report – Mars 2003.

VERRE AVENIR – *20 ans* – 1996.

VERRE AVENIR – *Le verre, emballages et recyclage* – 2002.

VERRE AVENIR – *Le verre, une histoire sans fin*.

VERRE avenir – *Recycler le verre d'emballages, pourquoi comment* – Mai 2001.

VERRE AVENIR – *Techniques et réalités Recyclage du verre*.

VERRE AVENIR – *Verre et recyclage : informations générales*.

ANNEXE 3 : SITES INTERNET

ADELPHE – www.adelphe.fr

ADEME – www.ademe.fr

AMORCE – www.amorce.asso.fr

ASSOCIATION DES MAIRES DE FRANCE – www.amf.asso.fr

CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE – www.cercle-recyclage.asso.fr – www.produits-recycles.com

ECO-EMBALLAGES – www.ecoemballages.fr

FEDERATION DES CHAMBRES SYNDICALES DE L'INDUSTRIE DU VERRE - www.fedeverre.fr

FEDEREC – www.federec.org

FNADE - www.fnade.com

ID VERRE – www.idverre.net

INSTITUT DU VERRE – www.institutduverre.fr

MINISTERES DE L'ECOLOGIE DE L'AMENAGEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLES – www.ecologie.gouv.fr

OWENS-ILLINOIS - www.o-i.europe.com

PITTSBURG CORNING FRANCE – www.foamglas.fr

RÉCYLUM - www.recylum.com

SAINT-GOBAIN – www.saint-gobain.com

SESSI – Service des études et des statistiques industrielles – www.industrie.gouv.fr/sessi/

SCHOTT – www.schott.com

VERRE AVENIR – www.verre-avenir.org

VERRE ON LINE – www.verreonline.fr

ANNEXE 4 : ACTEURS

ADELPHE
39, rue Saint Lazare
75009 PARIS
Tél. : 01.49.70.84.00
www.adelphe.fr

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE (ADEME)
2, square Lafayette
49004 ANGERS cedex 01
Tél. : 02.41.20.41.12
www.ademe.fr

ASSOCIATION DES MAIRES DE FRANCE
41, quai d'Orsay
75343 PARIS Cedex 07
Tél. : 01.44.18.14.14
www.amf.asso.fr

CERCLE NATIONAL DU RECYCLAGE
23, rue Gosselet
59800 LILLE
Tél. : 03.20.85.85.22
www.cercle-recyclageassofr – www.produits-recycles.com

CYCLEM
101, rue de Prony
75017 PARIS
Tél. : 01.40.54.01.94

ECO-EMBALLAGES
44, Avenue Georges Pompidou
92302 LEVALLOIS-PERRET Cedex
Tél. : 01.40.89.99.99
www.ecoemballages.fr

ECOLOGIC
105 boulevard Haussmann
75008 Paris
Tél. : 0825 825 732
www.ecologic-france.com

ECO-SYSTEMES
17 rue de l'Amiral Hamelin
75 783 Paris Cedex 16
Tél. : 0825 886 879
www.eco-systemes.com

ERP France
80 rue Camille Desmoulins
92130 Issy-Les-Moulineaux
Tél. : 0810 130 805
www.erp-recycling.org

FEDERATION DES CHAMBRES SYNDICALE DE L'INDUSTRIE DU VERRE
114 rue de la Boétie
75008 PARIS
Tél. : 01.42.65.60.02
www.fedeverre.fr

FEDERATION DE LA RECUPERATION DU RECYCLAGE ET DE LA VALORISATION (FEDEREC)
101 rue de Prony
75017 PARIS
Tél. : 01.40.54.01.94
www.federec.org

FEDERATION NATIONALE DES ACTIVITES DE LA DEPOLLUTION ET DE L'ENVIRONNEMENT (FNADE)
33 rue de Naples
75006 PARIS
Tél. : 01.53.04.32.90
www.fnade.com

MINISTERE DE L'ECOLOGIE DU DEVELOPPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DURABLES
20 avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP
Tél. : 01.42.19.20.21
www.ecologie.gouv.fr

RÉCYLUM
17 rue Hamelin
75016 Paris
Tél. : 01.56.28.95.93
www.recylum.com