

VERRES 2012

Les verres existent naturellement (ils se sont formés lors du refroidissement brusque de lave fondue (obsidiennes) ou par impact de météorites (tectites)), mais ce sont principalement des matériaux artificiels. Les verres inorganiques sont, pour 95 % de la production industrielle, des verres constitués de silicates (verres d'oxyde).

Des verres métalliques peuvent être obtenus par trempe ultra-rapide (1 million de °/s) de métal fondu. Ce chapitre ne les concerne pas. Il ne concerne pas non plus les verres organiques.

MATIERES PREMIERES :

Le mélange de matières premières est appelé "composition".

Exemple de composition d'un mélange destiné à élaborer des verres plats.

Sable	60 %	Calcaire	5 %
Na₂CO₃	19,5 %	Divers	3,5 %
Dolomie	12 %		

- Des **sables** à plus de 99 % de SiO₂ apportent la [silice](#) (qui joue le rôle d'oxyde formateur de réseau) qui entre à environ 72 % dans la composition d'un verre courant après fabrication. Des sables plus purs (sable de Fontainebleau) contenant de faibles teneurs d'impuretés (< 0,02 % d'oxyde de fer) sont réservés à l'élaboration des verres d'optique et de la cristallerie.

- Le **carbonate de sodium** apporte le principal oxyde modificateur de réseau (Na₂O) qui joue le rôle de fondant permettant de diminuer la température de fusion de SiO₂.

- Le **calcaire** et la **dolomie** apportent CaO qui améliore la résistance chimique des verres sodiques en diminuant fortement leur solubilité.

- Le **borax** (2B₂O₃,Na₂O) apporte B₂O₃ qui diminue le coefficient de dilatation du verre et améliore ainsi sa résistance aux chocs thermiques.

- Le **minium** (Pb₃O₄) apporte PbO qui augmente l'indice de réfraction (dans le verre cristal, la teneur en PbO est supérieure à 24 %) et à forte teneur (40 à 80 %) est utilisé dans des verres optiques et les verres protecteurs contre les rayons X.

- Une grande partie de la production de verre est réalisée à partir de verre récupéré et recyclé, appelé [calcin](#) (voir plus loin). Les fours de production de verre creux fonctionnent couramment avec un mélange comportant plus de 50 % de calcin (la moyenne est de 15 % pour le verre plat). Certains fours, utilisés, en particulier, pour fabriquer des bouteilles vertes, emploient parfois jusqu'à 90 % de calcin, voire plus.

- La couleur d'un verre est donnée par les oxydes métalliques présents comme impuretés dans les matières premières ou apportés intentionnellement. Les oxydes de [fer](#) et de [chrome](#) apportent une couleur verte, ceux de [nickel](#) : grise, ceux de [manganèse](#) : violette, ceux de [cobalt](#) : bleue, ceux de [cuivre](#) : rouge ou verte... La couleur ambre, qui protège des rayonnements UV, est donnée par des sulfures de fer (III), en milieu réducteur.

Composition (en % en masse) de quelques verres industriels : la composition d'une verre est donnée sous forme d'oxydes des éléments présents.

	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
verre plat	72,5		1,5	13	0,3	9,3	3	
verre à bouteilles	73		1	15		10		
"pyrex"	80,6	12,6	2,2	4,2		0,1	0,05	
fibre de verre	54,6	8,0	14,8	0,6		17,4	4,5	
"cristal"	55,5				11			33
verre de lampes	73		1	16	1	5	4	

Source : J. Zarzycki, les verres et l'état vitreux, Masson, 1982

FABRICATION INDUSTRIELLE DES VERRES COURANTS :

Elaboration :

Fusion :

La composition est chauffée progressivement à 1300-1400°C, dans des fours continus (fours à bassin). La cuve est constituée de blocs réfractaires posés sans liant, l'étanchéité étant assurée par le verre se figeant dans les joints. La profondeur de la cuve est d'environ 1 à 1,5 mètre, la surface du bassin jusqu'à 400 m² et la contenance, pour un four float, de 1 500 à 2 500 t de verre (soit la production de 2 à 3 jours). La durée de vie du four est de 15 à 18 ans.

Affinage et homogénéisation :

Afin d'éliminer les bulles de gaz présentes dans le verre fondu, la température est élevée à 1450-1600°C pour diminuer sa viscosité. L'ajout de sulfate de sodium améliore l'affinage. Une agitation mécanique ou l'insufflation d'air sont parfois utilisées pour homogénéiser.

Braise :

Avant la mise en forme, la viscosité du verre est augmentée en diminuant la température vers 1000-1200°C. Au cours de son élaboration le cheminement d'un verre dure plusieurs jours.

Consommations (de l'industrie verrière française) : en 2011, pour une production de 5,025 millions de t de verre.

Na ₂ CO ₃	587 000 t	<u>Gaz naturel</u>	6 542 533 MWh
Calcin acheté	2 432 000 t	<u>Electricité</u>	2 298 179 MWh
Fuel	281 000 t	<u>Propane, butane</u>	7 281 MWh

Source : Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du verre

La consommation d'énergie est, en 2009, de 8 GJ/t de verre, elle était de 35 GJ/t, en 1960.

Mise en forme du verre :

Trois principaux types de produits, en dehors du verre de table, de la cristallerie et du verre technique sont fabriqués :

- le verre plat,

- le verre creux (bouteilles, flacons...),
- les fibres de verre.

Après mise en forme, le verre est en général recuit, vers 500°C, dans des arches ou des étendries.

Verre plat :

Le verre plat est principalement (à 90 %) élaboré par flottage ([procédé float glass](#)). Ce procédé a été mis au point, en 1959, par la société Pilkington. Le verre est coulé sur une surface d'[étain](#) fondu (environ 1 500 t d'étain par ligne de production) maintenu dans une atmosphère neutre ou réductrice (à l'aide de [dihydrogène](#)). L'équilibre des forces de gravité et de tension superficielle produit une feuille d'épaisseur uniforme voisine de 6,5 mm quelle que soit la largeur de la bande. Divers dispositifs permettent de faire varier l'épaisseur (en général, de 2 à 25 mm). La longueur d'une unité de production est de plus de 400 m. La production atteint jusqu'à 850 t/jour.

Le verre flotté a rapidement supplanté le verre étiré (ancien verre à vitre) et le verre laminé (appelé verre coulé). Ce dernier procédé est toujours utilisé pour produire les verres imprimés et armés.

Le verre brut est, en général, commercialisé sous forme de feuilles de 6 m x 3,2 m, par chargement de 20 t.

Dans le monde il y a, en 2012, 380 lignes de floats en fonctionnement dont 58 dans l'Union européenne. La production mondiale de verre plat est, en 2010, de 56 millions de t dont 33 Mt de float produisant du verre de haute qualité, 20 Mt de faible qualité (principalement en Chine), 1 Mt de verre étiré et 2 Mt de verre laminé. La production de verre plat dans l'Union européenne est, en 2012, de 8,6 millions de t.

Producteurs de verre plat : en 2010, en % des capacités de production de verre flotté.

- Monde (pour le verre flotté de haute qualité) : [AGC](#) (Asahi Glass Compagny, Japon) : 15 %, [Saint-Gobain](#) (France) : 14 % avec 36 floats dont 9 en partenariat, [NSG](#) (Japon) : 13 % avec 48 floats, [Guardian](#) (Etats-Unis) : 12 %.
- Europe (y compris la Turquie), avec 12,3 Mt de capacité : Saint-Gobain : 25 % avec 18 floats dont 1 en partenariat, AGC : 19 % avec 14 floats dont 1 en partenariat, NSG : 17 % avec 12 floats dont 1 en partenariat, [Sisecam](#) : 13 % avec 8 floats, Guardian : 12 % avec 8 floats.
- Etats-Unis, avec 4,8 Mt de capacités : Guardian : 27 % avec 8 floats, [PPG](#) : 23 % avec 7 floats, NSG : 16 % avec 6 floats, [Cardinal](#) : 15 % avec 5 floats, AGC : 12 % avec 4 floats.
- Chine : avec 33 millions de t de capacité dont 10 % de verre étiré avec 220 installation de verre flotté dont 50 aux normes occidentales : Taiwan Glass : 24 %, Xinyi : 24 %, China Southern : 24 %.

Le verre plat est en partie transformé afin de lui conférer des propriétés spécifiques :

- Le verre trempé est réchauffé vers 600 °C puis brutalement refroidi afin de développer des contraintes de compression en surface qui augmentent sa résistance à la flexion et aux chocs. Le verre trempé peut être obtenu également, avec un coût 4 à 5 fois plus élevé, par voie chimique en immergeant le verre dans un bain de sel fondu de potassium. La substitution des ions Na⁺ du verre par des ions K⁺, plus gros, se traduit par une mise en compression de la surface du verre. Ces verres trempés chimiquement sont réservés à des applications telles que l'aviation, le matériel blindé, les cellules photovoltaïques...

- Le verre feuilleté est un verre sandwich composé de 2 ou plusieurs feuilles de verre liées entre-elles par des films intercalaires principalement de polyvinyle de butyral (PVB) ou parfois d'acétate d'éthylvinyle (EVA). Il est utilisé comme verre de sécurité (s'il y a bris, les éclats de verre restent fixés sur le PVB) pour les pare-brise automobiles, les vitrages anti-effraction...
- Les vitrages isolants sont composés de 2 ou plusieurs feuilles de verre séparées entre-elles par des espaces (de 6 à 20 mm d'épaisseur) d'air déshydraté ou de gaz.
- Le verre athermique, teinté dans la masse, en réduisant la transmission de l'énergie solaire, limite l'effet de serre. Il est principalement employé dans les automobiles pour tous les vitrages et les toits-ouvrants.
- Les verres traités en surface : anti-reflets pour les glaces de magasins et la protection des tableaux, avec couches réfléchissantes de la lumière, avec couches peu émissives pour l'isolation thermique. Les pare-brises chauffants à dégivrage rapide pour avions sont revêtus d'une couche (1 μ m) transparente d'oxyde d'étain dopé à l'indium qui conduit l'électricité.
- Les verres auto-nettoyants sont recouverts d'oxyde de titane qui agit par photo-catalyse sous l'action du rayonnement UV.
- Le verre miroir est un verre plat revêtu d'argent ($> 0,7 \text{ g.m}^{-2}$), d'aluminium, d'or ou de chrome, de cuiivre et d'un vernis (voir le chapitre argent). Les sociétés Aurys à Carantan (50) et Charles André à Tours (37), filiales de Saint-Gobain, produisent 4 millions de m^2 /an de verre miroir et, au total, Saint-Gobain produit les 2/3 du verre miroir européen devant AGC et NSG.

Verre creux : représente environ 65 %, en tonnage, du verre produit dans l'Union européenne, avec 154 usines de fabrication. Le nombre d'usines aux Etats-Unis est de 49.

Il est formé par pressage, soufflage ou combinaison des deux. Une quantité déterminée de verre fondu (parison) est appliquée contre les parois d'un moule par action d'un poinçon ou d'air comprimé. La production peut atteindre 300 à 800 bouteilles ou 2000 ampoules par minute. La production d'un four est de 450 à 480 t/jour.

Les bouteilles, pour améliorer leur résistance mécanique, sont revêtues d'un dépôt d'oxyde d'étain ou de titane (obtenu par hydrolyse, au contact de la bouteille chaude, des chlorures correspondants) qui permet l'accrochage d'un film organique (polyéthylène, acide oléique ou stéarate alcalin). Les flacons destinés à l'industrie pharmaceutique peuvent subir, intérieurement, pour diminuer la solubilité du verre, un traitement de désalcalinisation par action du dioxyde de soufre à 500°C.

Le poids des bouteilles de vin est passé depuis 1980 de 550 g à 300 g, celui des bouteilles de Champagne de 900 g à 835 g.

Producteurs mondiaux principaux : n°1, O-I (Owens Illinois, Etats-Unis) avec 79 usines dont 36 en Europe, n°2 Saint-Gobain (France), avec la marque Verallia, qui exploite dans le monde 58 usines et 94 fours et a produit, en 2012, 25 milliards de bouteilles et pots en verre.

Fibres de verre : on distingue les fibres textiles ou de renforcement (fil continu) des fibres pour isolations (courtes et enchevêtrées).

Les fibres textiles sont fabriquées à l'aide de filières en platine. Les fibres ont de 5 à 24 μ m de diamètre et les vitesses d'étrépage sont de 12 à 30 m/s. Les fibres pour isolation sont obtenues par centrifugation d'un filet de verre tombant sur un disque réfractaire tournant à 3000-4000 tours/min.

Si le verre utilisé en standard pour la fabrication des fibres de verre de renforcement est un verre borosilicaté dit type E, d'autres compositions verrières ont été élaborées pour répondre à des exigences spécifiques : le verre C est résistant à la corrosion, le verre A/R est destiné à être incorporé aux bétons spéciaux alcali-résistants.

Composition des principaux verres utilisés dans les fibres de renforcement

	Verre type E	Verre type C	Verre type AR
SiO ₂	53-55 %	60-65 %	61 %
Al ₂ O ₃	14-15 %	3,5-6 %	-
CaO	17-23 %	14 %	5 %
MgO	1 %	3 %	-
Na ₂ O ₃	0,8 %	10 %	17 %
B ₂ O ₃	0-8 %	5 %	-
Fe ₂ O ₃	0,3 %	0,5 %	0,3 %
TiO ₂	0,5 %	-	-
ZrO ₂	-	-	10 %

Un petit nombre de producteurs détiennent la majorité du marché dont notamment [OCV Reinforcements](#), filiale de Owens Corning, et Saint Gobain avec ses filiales [Vetrotex](#) pour les fibres de renforcement (avec des usines à Hodonice et Litomyšl en République tchèque, à Gorlice, en Pologne et à Xicohtencatl, au Mexique) et [Isover](#) pour les fibres d'isolation ou encore [Owens Corning](#) et le suisse [Knauf](#) pour les fibres d'isolation.

Fibre optique : elle est réalisée en verre de silice dont le cœur possède un indice de réfraction (environ 1,5) légèrement plus élevé que la gaine qui l'entoure. Le cœur a un diamètre de quelques dizaines de μm pour un diamètre total de 125 μm . Les fibres optiques sont fabriquées à partir de préformes cylindriques de plusieurs cm de diamètre et environ 1 m de longueur. Celles-ci ont le même profil d'indice que la fibre finale qui peut atteindre 1 000 km de longueur (elle est en général livrée en rouleaux de 25 km). Les fibres, pour assurer leur fonction, doivent posséder une très grande pureté qui ne peut pas être obtenue avec les matières premières habituelles de l'industrie verrière. La préforme est fabriquée selon plusieurs méthodes, la plus courante étant par dépôt chimique en phase vapeur (MCVD). On dépose sans un tube de silice de quelques centimètres de diamètre et de quelques mm d'épaisseur de la silice plus ou moins dopée avec F, Ge et P obtenue à partir de précurseur tels que SiCl₄, C₂F₆, GeCl₄ et POCl₃ de haute pureté. Par chauffage sous courant de dioxygène, vers 1300 - 1400°C, les molécules de précurseur se transforment en oxyde se déposant en poudre à l'intérieur du tube. Par chauffage vers 1800-2000°C, les oxydes déposés vitrifient. Plusieurs couches sont déposées successivement, la composition de la phase gazeuse en précurseurs dopants de la silice permettant ajuster l'indice du verre obtenu. Une dernière étape de rétreint, à plus de 2000°C, se traduisant par un effondrement du tube sur lui même permet d'obtenir le barreau de préforme. Celle-ci est ensuite chauffée vers 2000°C, le verre fond et passe par simple

gravité (l'installation est verticale) au travers d'une filière imposant le diamètre final de la fibre qui est ensuite revêtue de couches de polymères permettant sa manipulation sans rupture puis enroulée autour d'un fût.

Verre de table et cristallerie : le verre de table comprend les verres à boire (gobeletterie qui représente 60 % en valeur de la production des verres de table et qui est regroupée, dans les statistiques, avec le verre creux), les assiettes, les plats, les bocaux... Dans la composition du verre de table entre souvent du borax qui donne des verres présentant une bonne résistance aux chocs thermiques. Le verre opale contient du fluorure de calcium.

Dans le cristal et le verre cristallin, lors de sa fabrication, le calcaire est remplacé, en grande partie, par des carbonates de baryum, zinc ou plomb et le carbonate de sodium par du carbonate de potassium. Un verre cristal doit contenir plus de 24 % de PbO.

Producteurs : la France assure plus de la moitié de la production européenne. Elle exporte plus de 60 % de sa production.

Arc International (anciennement Verrerie Cristallerie d'Arques) : n°1 mondial, chiffre d'affaires en 2012 : 978 millions d'euros dont 47 % dans l'Union européenne, effectif : 11 630 personnes (dont 6 357 en France). 5 sites de production répartis sur 3 continents, 4,6 millions d'articles par jour (Cristal d'Arques, Arcopal, Arcoroc...).

Verres techniques : (représentent moins de 1 % en tonnage de la production de verre) concernent des produits en verre destinés à diverses industries : écrans pour téléviseurs, ampoules électriques, verres ophtalmiques (800 millions d'unités/an), vitrocéramiques, filtres optiques, verre de silice fondue...

RECYCLAGE :

Le recyclage concerne principalement le verre creux. Celui du verre plat ne représente que 15 % de la consommation.

Du verre de récupération, appelé calcin, est ajouté en proportions variables à la composition. Le calcin fond à 1000°C au lieu de 1500°C pour les matières premières habituelles du verre. Ainsi, 10 t de calcin permettent d'économiser 1 tep, en plus des matières premières minérales.

En France, le recyclage est organisé depuis 1974. En 2012, récupération de plus de 2 millions de t de calcin provenant du verre d'emballage ménager. Il existe 14 centres de traitement du calcin en France, en général proches de verreries. En 2012, 7 centres de tri réalisent un tri par couleur.

Recyclage en Europe : tonnage collecté en 2010 et () taux de recyclage, en 2011. Total : 10 785 981 t (70 %).

Allemagne	2 276 738 t (85 %)	Belgique	304 935 t (99 %)
France	1 960 000 t (70 %)	Pologne	350 929 t (45 %)
Italie	1 584 000 t (75 %)	Autriche	227 000 t (85 %)
Royaume-Uni	1 646 706 t (64 %)	Portugal	225 400 t (60 %)
Espagne	878 916 t (60 %)	Suède	180 010 t (93 %)
Pays-Bas	460 000 t (83 %)	Danemark	125 700 t (88 %)

Source : FEVE

Le taux de recyclage aux Etats-Unis est de 33 %.

PRODUCTIONS : dans l'Union européenne, en 2012, en milliers de t. Total : 31 480.

Verre creux	20 321	Divers (notamment fibre d'isolation)	887
Verre plat	8 633	Fibres de renforcement	634
Verre de table	1 006		

Source : Glass Alliance Europe

Dans l'Union européenne, en 2008, la production de verre flotté a été de 12,7 millions de t (8,6 millions de t, en 2012) réalisées, à 19 % en Allemagne, 12 % en France, 12 % en Belgique, 12 % en Italie, 9 % au Royaume-Uni, 9 % en Espagne, 5 % en Pologne, 5 % en République tchèque, 4 % au Luxembourg, 3 % en Roumanie.

Production de verre creux dans l'union européenne, en 2012.

Allemagne	3 934 844 t	Espagne	2 012 381 t
Italie	3 391 277 t	Portugal	1 441 962 t
France	3 146 755 t	Pologne	987 341 t
Royaume-Uni	2 226 321 t		

Source : FEVE

- Effectifs dans l'Union européenne, en 2012 : 183 767 personnes dont 53 943 en Allemagne, 29 300 en Pologne, 22 623 en France, 16 200 en République tchèque, 12 815 en Italie...

Commerce international de l'Union européenne : en 2012, en milliers de t.

	Exportations	Importations		Exportations	Importations
Verre creux	2 718	2 153	Fibres de renforcement	141	454
Verre plat	786	445	Divers (notamment fibre d'isolation)	421	494
Verre de table	1 054	379			

Source : Glass Alliance Europe

Dans le monde, les principaux pays exportateurs sont : la Belgique, la Chine, la France, l'Allemagne, le Japon et les Etats-Unis.

SITUATION FRANCAISE :

- Production de verre mécanique en 2012 : 4 600 220 t dont :

- Verre plat : 855 530 t avec 7 floats : 3 pour Saint Gobain, 2 pour AGC, 1 pour Euroglas, 1 pour Interpane.

- Verre creux : 3 415 341 t (dont 2 681 144 t de bouteilles).

- Fibres : 291 860 t.

- Verre technique : 37 489 t (verres de lunettes, ampoules d'éclairage, écrans de télévision, verre de silice...).

- Chiffre d'affaires du verre mécanique : 3,8 milliards d'euros (verre creux : 66 %, verre plat : 21 %, fibres : 16 %) dont 35 % à l'exportation.

- 14 entreprises exploitent 42 usines et emploient 18 978 personnes.
- Importations, en 2011 : 2 417 millions d'euros, d'Allemagne à 19,9 %, de Belgique à 15,3 %, d'Italie à 13,2 %.
- Exportations, en 2011 : 2 467 millions d'euros, vers l'Allemagne à 14,7 %, l'Italie à 9 %, la Belgique à 8,6 %.
- A la production de verre mécanique il faut ajouter celle des cristalleries et du verre fabriqué à la main. En 2007, le chiffre d'affaire de secteur a été de 430 millions d'euros, dont 53,6 % à l'exportation.

Implantations géographiques des verreries françaises, hors verre à main

Producteurs :

AGC : exploite, en France :

- 2 lignes de float à Boussois (59),
- 1 usine de vitrage automobile à Aniche (59).
- 12 sites d'élaboration de verres architecturaux à Fougères (35), Grenoble (38), Nantes (44), Méry-sur-Seine (10), Reims (51), Nancy (54), Niort (79), Agen (47), Marne-la-Vallée (77), Wissous (91), Schirmeck (67), Saint-Priest (69).

Euroglas : exploite un float, à Hombourg (68) avec une capacité de production de 580 t/jour.

Interpane exploite un float à Seingbouse (57) avec une capacité de production de 250 000 t/an et une usine de vitrages isolants à Hoerdts (67).

Saint Gobain : manufacture créée en 1665, société anonyme en 1830.

- Verre plat : exploite 3 floats, en France, à Aniche (59), Chantereine (60) et Salaise-sur-Sanne (38). L'usine de Chantereine est le site le plus important de Saint Gobain, en France, dans le verre plat. Elle comprend, en particulier, une usine de verre float produisant 650 t de verre/jour et une usine de transformation du verre pour l'automobile (lunettes latérales et arrières).

Le verre feuilleté est fabriqué à Aniche (59) et Salaise-sur-Sanne (38).

Autres usines de verre plat : St Just sur Loire (42), La Ferté-sous-Jouarre (77), Château Thierry (02), Sully-sur-Loire (45).

- Conditionnement : usines en France : Albi (81), Chalon sur Saône (71), Cognac (16), Lagnieu (01), St Romain le Puy (42), Mers les Bains (80, plus grande usine de flacons de verre au monde, avec 1 milliard d'unités/an), Oiry (51), Vauxrot (02), Sucs en Brie (94).

- Isolation : marque "Isover", activités réparties entre la laine de verre, la laine de roche, les plafonds acoustiques et les mousses. 1^{er} producteur mondial de laine de verre et de roche. Usines de laine de verre en France : Chalon sur Saône (71), Orange (84) et Chemillé (49).

- Vitrocéramiques : production de plaques de cuisson en association 50/50 avec Corning Glass, par la société Eurokera, à Château-Thierry (02) et Bagneux/Loing (77).

- Verre de silice : à Nemours (77) par la filiale Saint Gobain Quartz.

O-I : leader Français et deuxième producteur européen de verre d'emballage destiné à l'industrie agro-alimentaire.

Les usines sont situées à Gironcourt (88), Puy Guillaume (63), Vayres (33), Wingles (62), Béziers (34), Labegude (07), Reims (51), Veauche (42) et Vergèze (30).

Saverglass, produit du verre d'emballage à Feuquières (60), Le Havre (76) et Arques (62).

La Verrerie de Masnières (groupe Bormioli Rocco), produits des emballages de verre pour la pharmacie et les cosmétiques à Masnières (59).

Owens Corning produit des fibres textiles à Chambéry (73), L'Ardoise (30) et Vendôme (41).

Knauf produit depuis 2010 des fibres de verre pour l'isolation à Lannemezan (65), avec une capacité de production de 70 000 t/an.

Vermont produit des ampoules, à Montiéramey (10), destinées à 95 % à l'exportation. La production est de 30 à 50 millions d'ampoules/an.

Arc International produit du verre de table à Arques (62) et Châteauroux (36).

Duralex produit du verre de table à La Chapelle-Saint-Mesmin (45).

UTILISATIONS :

Consommations : dans l'Union européenne, en 2012, en milliers de t. Total : 30 916.

Verre creux	19 980	Fibres de renforcement	947
Verre plat	7 958	Autres dont verre spécial	969
Verre de table	1 061		

Source : Glass Alliance Europe

Verre plat :

En 2011, la consommation mondiale de verre plat a été de 56 millions de t, à 51 %, en Chine, 17 % en Europe, 7 % en Amérique du Nord, 6 % en Asie du Sud-Est, 5 % au Japon, 5 % en Russie, 4 % en Amérique du Sud...

En 2010, sur une consommation mondiale de 56 millions de t, soit 5,5 milliards de m², 51 millions de t ont été destinées à la construction, 3,7 millions de t à l'automobile et 1,5 million de t à des applications techniques comme l'énergie solaire.

La Pyramide du Louvre a utilisé 95 t de verre "Stadip" constitué de deux vitres de 10 mm séparées par une feuille de butyral de polyvinyle, fabriqué par St Gobain, poli en Angleterre, par Pilkington.

La surface vitrée d'une automobile est, en moyenne, de 3,9 m². Dans une automobile il y a 28 kg de verre hors les fibres utilisées dans les pare-chocs.

La consommation mondiale de verre plat par l'énergie solaire a été, en 2011, de 120 millions de m².

Verre creux :

En France, en cols, le verre d'emballage est utilisé à 32 % pour les bières, 33 % les vins, 21 % les denrées alimentaires, 9 % l'eau et les boissons rafraîchissantes, 5 % les apéritifs et liqueurs. En 2012, la production de bouteilles de Champagne est de 300 millions d'unités.

Utilisations particulières :

- L'énergie solaire thermique, photovoltaïque ou par concentration utilise de plus en plus de verre plat. Le verre utilisé est extra-clair, avec une très faible teneur en oxyde de fer et est, en général, traité avec un dépôt anti-reflets.
- Des [déchets nucléaires](#) (catégories B et C) sont incorporés dans des verres, par fusion à 1100°C, eux-mêmes coulés dans des conteneurs en [acier inoxydable](#) et stockés par la [Cogema](#) à Marcoule et La Hague (voir le chapitre [uranium](#)).
- Vitrocéramiques : obtenues par cristallisation (environ 10^{16} cristaux.cm⁻³) contrôlée des verres. Le verre est à base de : SiO₂-Al₂O₃-Li₂O, les agents nucléants étant [TiO₂](#), ZrO₂. Le matériau obtenu a un très faible coefficient de dilatation ce qui permet son utilisation comme plaques chauffantes, miroirs pour l'astronomie...
- Verres photosensibles : parmi ceux-ci, les verres photochromiques sont utilisés dans les verres de lunette s'obscurissant à la lumière solaire. Le verre contient des précipités de très faible dimension (10 nm) d'halogénure d'[argent](#) en présence d'ions [cuivre](#), qui ne modifient pas la transparence du verre. Sous l'effet du rayonnement solaire, et plus particulièrement des rayons de $\lambda_{\text{ουγγευρ δ̑ονδε}} < 400 \text{ nm}$, des électrons quittent les ions cuivre pour réduire des ions Ag⁺ en argent métallique qui absorbe dans le spectre visible. Lorsque l'illumination disparaît, le phénomène est réversible.

Durabilité chimique du verre :

- Dans les solutions aqueuses acides le phénomène prépondérant est l'échange d'ions Na⁺ du verre avec les ions H⁺ de la solution. Un verre moyennement soluble dans les acides perd environ 20 mg par dm² de surface après 6 heures dans [HCl](#), 6 moles.L⁻¹, à l'ébullition.
- Dans les solutions aqueuses basiques il se produit une attaque du verre par rupture des liaisons Si-O. Un verre moyennement soluble dans les bases perd environ 100 mg par dm² après 3 heures dans une solution 1 mole.L⁻¹ de [NaOH](#) à l'ébullition.
- Dans l'[eau](#) pure, il se produit d'abord un échange Na⁺/H⁺, l'eau devient basique et attaque ensuite le verre selon le processus décrit ci-dessus.
- Les verres riches en cations formateurs de réseau (Si⁴⁺, Al³⁺, Fe³⁺) sont plus résistants chimiquement que ceux riches en cations modificateurs de réseau (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). Par exemple, les vitraux riches en ions K⁺ sont plus altérés que ceux riches en [SiO₂](#).

Les électrodes de verre :

Les propriétés échangeuses d'ions du verre sont mises à profit dans les électrodes de verre utilisées en pHmétrie. Le verre couramment utilisé (verre de Mac-Innes) a la composition, en masse, suivante : SiO₂ : 72 %, Na₂O : 22 %, CaO : 6 %. Au contact d'une solution aqueuse (solution dans laquelle l'électrode reste immergée au repos), des ions H⁺ de la solution se substituent à des ions Na⁺ de la surface du verre, la concentration en ions H⁺ dépendant des Na⁺ substitués donc des

caractéristiques du verre. En présence de la solution aqueuse à mesurer, possédant une certaine concentration en H^+ , il s'établit une pile de concentration, entre la solution et la surface hydratée du verre, fournissant une force électromotrice. Connaissant le pH de la solution interne de l'électrode on peut ainsi connaître celui de la solution à mesurer. La conduction à travers la membrane de verre est de type ionique. Le verre de Mac-Innes donne des résultats satisfaisants pour des pH compris entre 2 et 8. Pour des pH supérieurs, les échanges sont perturbés par la dissolution du verre. De plus si la solution à mesurer contient des ions Na^+ , ceux-ci se substituent aux ions H^+ du verre hydraté et faussent les mesures. Par contre, les ions K^+ , plus gros que les ions Na^+ , ne peuvent pas se substituer aux H^+ occupant les sites Na^+ du verre sec. En conséquence, aux pH élevés, pour des solutions contenant des ions Na^+ , on utilise des verres contenant des ions Li^+ au lieu de Na^+ .