

Verres 2023

Les verres existent naturellement (ils se sont formés lors du refroidissement brusque de lave fondue pour les obsidiennes ou par impact de météorites pour les 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 °C/s) de métal fondu. Ce chapitre ne les concerne pas. Il ne concerne pas également les verres organiques.

Matières premières

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'un 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

Élaboration

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

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

Na ₂ CO ₃	587 000 t	Gaz naturel	6 542 533 MWh
Calcin acheté	2 432 000 t	Électricité	2 298 179 MWh
Fuel	281 000 t	Propane, butane	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 étenderies.

Verre plat :

Le verre plat est principalement (à 90 % mondialement et à 97 % dans l'Union européenne) 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.

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 μm) 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](#) ($> 0,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), d'aluminium, d'or ou de chrome, de [cuivre](#) 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 près de 66 %, en tonnage, du verre produit dans l'Union européenne, avec 160 usines de fabrication. Le nombre d'usines aux États-Unis est de 49.

Il est formé par pressage, soufflage ou combinaison des deux. Une quantité déterminée de verre fondu (paraison) 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.

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 µm de diamètre et les vitesses d'étirage 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 AR, alcali-résistant, est destiné à être incorporé aux bétons spéciaux.

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	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 %

Fibres optiques : elles sont réalisées 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 dans un tube de silice de quelques centimètres de diamètre et de quelques mm d'épaisseur des précurseurs de silice plus ou moins dopés avec F, Ge et P obtenus 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 oxydes 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.

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

[Arc](#) (anciennement Verrerie Cristallerie d'Arques) est le n°1 mondial, avec, en 2018, un effectif de 10 565 personnes dont 5 265 en France. 5 sites de production : en France, à Arques (62), aux États-Unis, à Millville, dans le New Jersey, en Chine, à Nankin, en Russie, à Gus-Khrustalny et dans les Émirats Arabes Unis, à Ras Al Khaimah et une production de 4,3 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. Il existe 14 centres de traitement du calcin en France, en général proches de verreries.

Recyclage dans l'Union européenne à 27 du verre creux : tonnage collecté en 2020 et () taux de recyclage. Total : 11 957 693 t soit un taux de recyclage de 80 %.

en milliers de t et () en %

Allemagne 2 635 (84 %) Belgique 341 (102 %)

Italie	2 396 (88 %)	Autriche	270 (89 %)
France	2 289 (80 %)	Roumanie	236 (62 %)
Espagne	985 (73 %)	Suède	229 (98 %)
Pologne	912 (67 %)	République tchèque	195 (88 %)
Pays Bas	459 (90 %)	Portugal	194 (49 %)

Source : [FEVE](#)

Le taux de recyclage aux États-Unis est de 34 %.

Dans l'Union européenne, en 2013, 25 milliards de bouteilles ont été recyclés.

Productions

En 2016, la production mondiale de verre est de 140 millions de t dont 72 millions de t de verre plat produit à 50 %, en Chine, 15 % en Europe, 10 % en Amérique du Nord, 7 % dans le Sud-Est asiatique, 5 % au Japon, 4 % en Amérique du Sud. En 2010, sur une production mondiale de 56 millions de t, le verre plat de haute qualité représentait 33 millions de t, celui de faible qualité (principalement en Chine), 20 millions de t, le verre étiré représentait 1 million de t et le verre laminé, 2 millions de t.

Dans le monde il y a, en 2013, 435 lignes de floats en fonctionnement dont 243 en Chine et 55, en 2014, dans l'Union européenne.

Productions de l'Union européenne

En 2021, sur un total de 38,026 millions de t, hors fibres d'isolation.

en milliers de t

Verre creux	23 458	Fibres de renforcement	1 000
Verre plat	11 700	Verres spéciaux	552
Verre de table	1 185	Autres verres	131

Source : *Glass Alliance Europe*

[Carte des usines de production de verre en Europe](#) (Source : *Glass Alliance Europe*)

Production de verre creux dans l'union européenne, en 2014, sur un total de 20,859 millions de t.

en milliers de t

Allemagne	3 974	Espagne	2 099
Italie	3 467	Portugal	1 452
France	3 097	Pologne	1 078
Royaume Uni	2 246		

Source : *FEVE*

En 2018, dans l'Union européenne, la production est de 21,755 millions de t avec 78,662 milliards d'unités.

Dans l'Union européenne, en 2018, la production de verre flotté a été réalisées, à 25 % en Allemagne, 13 % en France, 10 % en Pologne, 9 % en Espagne, 9 % en Italie, 8 % en Belgique, 7 % au Royaume-Uni... Elle a lieu dans 60 usines réparties dans 12 pays.

[Carte des usines de production de verre plat dans l'union européenne](#) (Source : *Glass for Europe*).

Effectifs dans l'Union européenne, en 2021 : 181 063 personnes dont 53 935 en Allemagne, 32 000 en Pologne, 23 000 en France, 17 091 en République tchèque, 12 400 en Italie...

Commerce international du verre plat

Principaux pays exportateurs, en 2022 :

				en tonnes
Chine	1 290 005	Indonésie		364 905
Allemagne	1 071 633	République tchèque		319 843
France	455 449	Turquie		301 639
Pologne	446 155	Thaïlande		292 399
Belgique	422 834	Nigéria		126 368

Source : ITC

Les exportations chinoises sont destinées à 9 % à la Corée du Sud, 5 % aux Philippines, 5 % au Pérou, 4 % à la Tanzanie.

Principaux pays importateurs, en 2022 :

				en tonnes
Corée du Sud	631 274	Allemagne		228 695
Pologne	403 744	Autriche		226 480
Turquie	346 467	Belgique		185 888
France	279 997	Luxembourg		175 934
Chine	243 849	Pérou		175 121

Source : ITC

Les importations coréennes proviennent à 60 % de Malaisie, 20 % de Chine, 9 % de Thaïlande.

Commerce international du verre creux

Principaux pays exportateurs, en 2022 :

				en tonnes
Chine	1 865 850	Pays Bas		723 460
Allemagne	1 858 336	Pologne		564 482
Portugal	1 511 256	Italie		523 752
Espagne	777 662	Bulgarie		513 662
France	746 593	Turquie		456 934

Source : ITC

Les exportations chinoises sont destinées à 17 % aux États-Unis, 8 % au Vietnam, 8 % aux Philippines.

Principaux pays importateurs, en 2022 :

				en tonnes
France	1 924 111	Royaume Uni		479 276
Italie	1 219 715	États-Unis		446 418
Belgique	944 136	Pologne		413 148

Espagne, en 2021	943 214	Roumanie	370 075
Allemagne	497 855	Irlande	350 075

Source : ITC

Les importations françaises proviennent à 24 % d'Allemagne, 20 % d'Espagne, 11 % du Portugal, 9 % d'Italie.

Commerce international de l'Union européenne

En 2020.

	en milliers de t				
	Exportations	Importations	Exportations	Importations	
Verre creux	1 187	1 334	Fibres de renforcement	189	574
Verre plat	883	485	Verres spéciaux	20	11
Verre de table	307	327	Autres verres	595	914

Source : Glass Alliance Europe

Les exportations sont destinées pour 19 % au Royaume Uni, 13 % à la Suisse, 9 % aux États-Unis, 8 % à la Turquie...

Les importations proviennent à 24 % de la Chine, 14 % du Royaume Uni, 12 % de la Turquie, 8 % de la Suisse...

Principaux producteurs mondiaux

Principaux producteurs de verre plat : en 2019.

- [AGC](#) (Asahi Glass Company, Japon), n°1 mondial possède 13 % du marché du verre plat avec 36 floats, dont 3 en joint venture et des usines en France à Boussois (59) et Seingbouse (57), en Belgique à Moustier, en Allemagne à Osterweddingen, en Italie à Cuneo, en Espagne à Sagunto, en République tchèque à Refenice, en Russie à Nizhniy Novgorod et Klin, au Japon à Kashima et Aichi, en Chine à Dalian et Suzhou, en Indonésie à Jakarta et Surabaya, aux Philippines à Manille, en Thaïlande à Samut Prakarn et Chon Buri, en Inde à Taloja et Roorkee, aux États-Unis à Greenland, Richmond et Spring Hill et au Brésil à Guaratingueta.
- [Saint Gobain](#) (France), n°2 mondial exploite 37 floats dont 10 en joint venture, avec outre les usines françaises, voir plus loin, des usines, en Allemagne à Herzogenrath, Stolberg, Porz et Torgau, en Espagne à Avilés et Arbos, au Portugal à Santa Iria, en Italie à Pise, au Royaume Uni à Eggborough, en Pologne à Dabrowa, en Roumanie à Calarasi, en Russie à Yelabuga, en Argentine à Buenos Aires, au Brésil, en joint venture avec NSG à Caçapava, Jacarel et Barra Velha, au Chili à Lirquen, en Colombie, en joint venture avec NSG, à Soacha, au Mexique à Cuautla, en Égypte à Ain el Sokhna, en Inde à Bhiwadi, Chennai et Jhagadia, en Corée du Sud à Gunsan et en Chine à Qingdao.
- [NSG](#) (Japon), qui a acquis Pilkington en juin 2006, exploite 46 lignes de floats dont 15 en Chine, 6 aux États-Unis et au Brésil, 4 en Allemagne et au Japon, 3 au Vietnam, 2 en Malaisie et en Italie, 1 en Argentine, au Chili, en Colombie, en Pologne, en Russie et au Royaume Uni. Les lignes du Brésil à Caçapava, Jacarel et Barra Velha sont exploitées en commun avec Saint Gobain au travers d'une joint venture, [Cebrace](#) et celle de Colombie, à Soacha, avec Saint Gobain au travers de [Vidrio Andino](#).

- [Guardian](#) (États-Unis), acquis en novembre 2016 par [Koch Industries](#), exploite 25 floats dont 6 aux États-Unis à Kingdburg en Californie, à Carleton dans le Michigan, à Richburg en Caroline du Sud, à Dewitt dans l'Iowa, à Geneva dans l'état de New-York et à Corsivana au Texas, 2 en Espagne à Llodio et Tudela, au Brésil à Porto Real et Tatui, au Luxembourg à Bascharage et Dudelange, en Russie à Ryazan et Rostov-sur-le-Don et en Thaïlande à Nong Khae et Rayong, 1 en Egypte au Caire, au Royaume Uni à Goole, en Allemagne à Thalheim, en Inde dans le Gujarat, au Mexique à El Marques, en Pologne à Czestochowa, en Hongrie à Oroshaza, en Arabie Saoudite à Al Jubail, aux Émirats Arabes Unis à Ras Al Khaimach.
- [Sisecam](#) (Turquie), possède, en 2020, une capacité de production de 3,4 millions de t/an de verre plat dans 14 lignes de floats dont 7 en Turquie à Ankara, Lüleburgaz, Mersin et Bursa avec 1,795 million de t/an, deux en Bulgarie à Targovishe avec 470 000 t/an et une en Inde à Kolkata avec 220 000 t/an, en Italie à San Giorgio di Nogaro avec 410 000 t/an, en Russie à Alabuga dans le Tataristan avec 230 000 t/an et en Égypte au Caire avec 85 000 t/an et 30 % de participation dans le float exploité à 51 % par Saint Gobain.
- [Vitro](#), société mexicaine a acquis, fin 2016, les activités dans le verre plat de [PPG](#) (États-Unis), qui exploitait 5 lignes de floats aux États-Unis, dans 4 usines, à Fresno en Californie, Salem dans l'Oregon, Carlisle en Pennsylvanie et Wichita Falls au Texas. Au Mexique, exploite 4 lignes de float à Garcia et Mexicali.
- [Cardinal](#) (États-Unis), exploite 5 floats aux États-Unis, à Menomonie et Portage dans le Wisconsin, à Mooresville en Caroline du Nord, à Durant dans l'Oklahoma, à Winlock dans l'État de Washington.
- [Euroglass](#) (Suisse), exploite 4 floats dont 2 en Allemagne à Haldensleben et Osterweddingen de 700 et 800 t/jour, 1 en France à Hombourg (68) de 580 t/jour et en Pologne à Ujazd de 1 000 t/jour.

Principaux producteurs de verre creux :

- [O-I](#) (Owens Illinois, États-Unis), n°1 avec 72 usines dont 17 aux États-Unis, 2 au Canada, 34 en Europe dont 10 en Italie, 9 en France, 3 en Allemagne et aux Pays Bas, 2 en République tchèque, en Pologne, en Espagne, au Royaume Uni et 1 en Estonie, en Hongrie, 17 en Amérique Latine dont 5 au Mexique, 4 en Colombie, 3 au Brésil, 2 au Pérou, 1 en Argentine, en Bolivie et en Équateur, 2 en Chine. Par ailleurs, O-I exploite, en joint venture, des usines en Italie, aux États-Unis, en Chine, en Malaisie et au Vietnam. En 2015, a acquis les activités dans le verre creux du groupe mexicain Vitro avec 5 usines au Mexique et une en Bolivie.
- [Ardagh](#) (Irlande) exploite 34 usines de production de verre creux dont 14 aux États-Unis, 8 en Allemagne, 4 au Royaume Uni, 3 en Pologne, 2 aux Pays Bas, 1 en Italie, au Danemark et en Suède. En 2014, a acheté à Saint Gobain 4 usines de Verallia en Amérique du Nord.
- [Verallia](#) (France), ex société du groupe [Saint-Gobain](#), est n°3 mondial. Exploite 32 usines dont 7 en France, 6 en Italie et en Espagne, 4 en Allemagne, 3 au Brésil, 2 en Russie, 1 au Chili, en Argentine, en Algérie, en Ukraine, en Pologne et au Portugal. A produit, en 2020, 16,2 milliards de bouteilles et de pots, avec 57 fours.
- [Sisecam](#) (Turquie), exploite 10 usines dont 5 en Russie, 3 en Turquie, 1 en Géorgie et en Ukraine. La capacité de production est de 2,65 millions de t/an de verre creux dont 1,335 million de t/an en Turquie, 1,165 million de t/an en Russie, 85 000 t/an en Ukraine, 60 000 t/an en Géorgie.

- [Vetropack](#) (Suisse) exploite 9 usines dont 2 en Autriche et 1 en Suisse, République tchèque, Slovaquie, Croatie, Ukraine, Moldavie et Italie. En 2020, la production est de 1,416 million de t de verre creux avec 5,16 milliards de bouteilles et pots.
- [Vidrala](#) (Espagne) exploite 8 usines après l'acquisition, début 2014, de 2 usines de Encirc au Royaume Uni. Possède par ailleurs 3 usines en Espagne et une au Portugal, en Belgique et en Italie.

Principaux producteurs de fibre de verre :

Un petit nombre de producteurs de fibres de verre détiennent la majorité du marché dont notamment [Owens Corning](#), et Saint Gobain avec ses filiales [Vetrotex](#) pour les fibres de renforcement (avec une capacité de production de 1 milliard de km/an et des usines à Hodonice et Litomysl en République tchèque, à Gorlice, en Pologne et à Xicohtencatl, au Mexique) et [Isover](#) pour les fibres d'isolation ou encore [Owens Corning](#) et [Knauf](#) pour les fibres d'isolation.

Situation française

En 2013.

Productions :

Production de verre mécanique : 4 494 817 t dont :

- Verre plat : 777 922 t avec 7 floats : 3 pour Saint Gobain, 3 pour AGC, 1 pour Euroglas.
- Verre creux : 3 298 537 t (dont 2 574 747 t de bouteilles).
- Fibres : 381 686 t.
- Verre technique : 36 672 t (verres de lunettes, ampoules d'éclairage, écrans de télévision, verre de silice...).

24 entreprises exploitent 42 usines et emploient 18 558 personnes.

[Carte des usines françaises de production de verre creux](#) (document de [Verre Avenir](#))

A la production de verre mécanique il faut ajouter celle des cristalleries et du verre fabriqué à la main.

Commerce extérieur : voir ci-dessus.

Producteurs :

- [AGC](#) : exploite, en France :
Deux lignes de float à Boussois (59),
Une ligne de float à Seingbouse (57) avec une capacité de production de 250 000 t/an,
Une usine de vitrage automobile à Aniche (59),
Une usine de vitrages isolants à Hoerdts (67),
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).
- [Saint Gobain](#) exploite, en France :
Verre plat : 3 floats, à Aniche (59), Chanteraine (60) et Salaise-sur-Sanne (38). L'usine de Chanteraine 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). L'usine de Salaise-sur-Sanne est une joint venture entre Saint Gobain et le groupe français [Riou Glass](#).

Sa capacité de production est de 650 t/jour de verre soit 22 millions de m² de verre plat. 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).

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 Bagnaux/Loing (77).

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

- [Euroglas](#) : exploite un float, à Hombourg (68) avec une capacité de production de 580 t/jour.
- [Verallia](#) (France), ex société du groupe [Saint-Gobain](#), exploite 7 usines à Albi (81), Chalon sur Saône (71), Cognac (16), Lagnieu (01), St Romain le Puy (42), Oiry (51), Vauxrot (02).
- [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).
- [SGD pharma](#), à Saint Quentin-Lamotte (80) et à Sucy-en-Brie (94), avec 4 millions de flacons/jour.
- [Verescence](#), (ex-Saint Gobain Desjonquères et ex-SGD) produit des flacons pour la parfumerie et les cosmétiques à Mers-les-Bains (80).
- Les Verreries de Masnières, reprises, en 2015, par le groupe autrichien [Stoelzle](#), produisent 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.
- [Arc International](#) produit du verre de table à Arques (62) et Châteauroux (36).
- [Duralux](#) produit du verre de table à La Chapelle-Saint-Mesmin (45).

Utilisations

Consommations : dans l'Union européenne, en 2021, hors fibres d'isolation. Total : 38,532 millions de t.

en milliers de t

Verre creux	23 595	Fibres de renforcement	1 548
Verre plat	11 001	Verres spéciaux	546
Verre de table	1 197	Autres verres	546

Source : *Glass Alliance Europe*

Verre plat :

En 2014, la consommation mondiale de verre plat a été de 65 millions de t, à 50 %, en Chine, 15 % en Europe, 10 % en Amérique du Nord, 7 % en Asie du Sud-Est, 5 % au Japon, 4 % en Russie, 4 % en Amérique du Sud...

En 2018, dans l'Union européenne, la construction a représenté 80 % des utilisations, les transports, 15 % et le solaire, 2 %.

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 Orano à Marcoule et La Hague (voir le chapitre [uranium](#)).
- Vitrocéramiques : obtenues par cristallisation (environ 10¹⁶ 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'obscurcissant 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 longueur d'onde inférieure à 400 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 (Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+}) sont plus résistants chimiquement que ceux riches en cations modificateurs de réseau (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Par exemple, les vitraux riches en ions K^+ sont plus altérés que ceux riches en SiO_2 .

Les électrodes de verre :

Les propriétés échangeuses d'ions du verre sont mises à profit dans les électrodes de verre utilisées en pHmètrie. Le verre couramment utilisé (verre de Mac-Innes) a la composition, en masse, suivante : SiO_2 : 72 %, Na_2O : 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^+ .