

EXPOSITION

AVEC LE CONCOURS SCIENTIFIQUE DE :

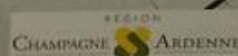
CEA Le Ripault
CEMHTI, CNRS-Université d'Orléans
IRAMAT, CNRS d'Orléans
LMP, Valenciennes-Maubeuge
Europlasma, Bordeaux
Saint-Gobain, Sully-sur-Loire
Musée du verre
et de ses métiers
de Dordives

LE VERRE DANS TOUS SES ETATS

réalisée par Centre•Sciences, CCSTI de la région Centre
Diffusion Accustica, CCSTI de la région Champagne-Ardenne
avec le soutien du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
de la Région Champagne-Ardenne et des Fonds européen de développement régional



Graphisme : Lu7design



QU'EST-CE

Le verre est un matériau à multiples propriétés, transparent et cassant. Les atomes qui le composent ne sont pas structurés. On pourrait le comparer à un «liquide figé» ; on parle d'état amorphe, ce qui donne au verre ses propriétés.

Le verre ordinaire est obtenu par fusion d'un sable de silice comme le sable dit «de Fontainebleau» et de fondants. Ce mélange devient pâteux lorsqu'on le chauffe à quelques centaines de degrés.

Lors du refroidissement, si la viscosité est trop importante ou le refroidissement trop rapide, la cristallisation n'a pas le temps de se produire et un liquide surfondu est obtenu, c'est le verre.

Cette transition vitreuse se produit lorsque la structure du mélange n'a plus le temps de suivre la variation de température.

La transparence du verre dépend de sa structure atomique. Les électrons sont liés aux atomes de silicium et la lumière visible ne met en vibration aucun électron. L'énergie qu'elle transporte n'est pas absorbée.

Dans la vie courante, le verre se présente sous des formes très variées : vitrage, bouteilles, vaisselle, fibres ou lentilles optiques et se laisse traverser par la lumière. Mais il n'est pas totalement transparent et bloque certains rayonnements infrarouge ou ultraviolet.

QU'UN VERRE ?

LE VERRE

Le sable ou silice est le composé de base pour la fabrication du verre, mais sa température de fusion, 1720 °C, est très élevée en comparaison des 600 °C d'une flamme d'un feu de bois !

Au 15^e siècle avant J.-C., l'apparition des fours et l'utilisation de matériaux réfractaires permettent d'atteindre des températures plus importantes. Comme dans la légende rapportée par Pliny l'Ancien, l'ajout de fondants tels la soude, la potasse abaisse la température de fusion pour couler le verre dès 1000 °C. La matière est mieux travaillée, le verre devient translucide. L'addition de chaux rend le verre plus stable, moins altérable à l'eau.

En Europe centrale, les fondants provenaient essentiellement des cendres de végétaux, des sels extraits des cendres ou de dépôts minéraux (natron, salpêtre). La cendre de fougère était particulièrement utilisée pour sa forte teneur en potasse. La chimie naissante du 19^e siècle permet d'élaborer la soude à partir du sel marin, fondant plus efficace que la potasse.

Au 18^e siècle, la cendre de fougère était d'autant plus appréciée qu'elle donnait au verre une légère coloration verte très à la mode à l'époque.

UNE HISTOIRE DE RECETTE !

UN VERRE

Il n'existe pas un verre, mais des verres.

Dans la vie courante, chaque verre présente une composition chimique différente adaptée à chaque utilisation.

Le verre au plomb pour la verrerie d'art, le flaconnage de luxe et des écrans de protection.

Le verre borosilicaté «pyrex» pour la verrerie de laboratoire, les plats culinaires, ce verre a une excellente résistance au choc thermique et à la corrosion.

Les vitrocéramiques pour les plaques de cuisson.

Le verre de chalcogénures est utilisé pour les optiques de caméra infrarouge et permet la propriété des DVD réinscriptibles. Le verre sodocalcique est le plus commun et représente plus de 90 % des verres grâce à son faible coût et est utilisé pour la fabrication de vitrage, de bouteilles... Les premiers verres du Proche-Orient et les verres de l'Antiquité appartenaient déjà à cette famille.

Le point commun de ces matériaux est le désordre des atomes qui les composent.

En cristallographie, le terme de cristal désigne un solide aux formes régulières qui présente une structure atomique ordonnée et périodique.

Dans la verrerie, le cristal répond à des critères stricts de composition chimique contenant au moins 24% d'oxyde de plomb qui lui donne un éclat supérieur.

Le cristal reste un matériau amorphe.

DES VERRES...

ORIGINE CREATION

Il y a plus de 100 000 ans, le verre est utilisé pour la première fois. Ce verre naturel d'origine éruptive, l'obsidienne, est utilisé pour fabriquer des outils tranchants, des bijoux et même des miroirs et des vases. Considéré comme semi-précieux, il a tenu une place importante dans les rituels magiques.

Les premiers verres fabriqués sont originaires de Mésopotamie, de Syrie ou d'Égypte. Ils ne sont pas encore transparents ou translucides mais opaques, de couleur verte ou bleue. Ce sont des perles, des éléments de décors ou des petites statuettes en pâtes de verre.

Apparue probablement vers la fin du 3^e millénaire avant J.-C., la production de verre ne semble se développer à grande échelle qu'au 16^e siècle avant J.-C. avec l'apparition de verres translucides par une fusion plus complète résultant de l'amélioration des fours. Les plus anciens documents relatifs au verre sont des tablettes mésopotamiennes à écriture cunéiforme qui donnent des recettes de fabrication de verre ou d'émail coloré (7^e siècle avant J.-C.).

Selon Pline l'Ancien (23-79 après J.-C.), le verre aurait été découvert sur une plage, près de l'embouchure du fleuve Belus (Phénicie). Les marins d'un bateau transportant du natron (carbonate de soude, utilisé pour la conservation des momies) en auraient utilisé des blocs pour caler leurs marmites dans le feu leur servant à cuire leur repas. Le sable et le natron auraient formé des perles de verre retrouvées le lendemain matin. Cette histoire n'est sans doute qu'une légende.

ET PREMIERS VERRES



DES TECHNIQUES

Les premières pièces en verre creux (vases, pots, flacons...) sont moulées sur un noyau de sable. Le verre soufflé apparaît autour du 1^{er} siècle avant J.-C. grâce à l'invention en Syrie de la canne à souffler. Cette nouvelle technique se répand en Occident par les légions romaines.

Cette découverte entraîne la naissance d'une forte industrie de verre creux.

Vers la fin du Moyen-Âge, le verre plat apparaît par deux techniques simultanées :

- le verre en plateau (cive) où l'on réalise d'abord un vase soufflé à fond plat que l'on tourne devant un four,
- le soufflage en manchon que l'on forme à partir d'un cylindre de verre préalablement réalisé. On place le cylindre sur une dalle de pierre dans un four à température modérée où il est ouvert et aplani à l'aide d'instruments en bois.

Le verre fut coulé pour la première fois en 1691.

Avec la révolution industrielle et le développement de fours plus performants, les techniques de mise en forme ont fortement évolué par des procédés semi-automatiques puis automatiques. Le flottage ou technique du «float glass» est un procédé de fabrication du verre plat par un écoulement de la matière sur un bain d'étain en fusion.

Le verre plat existait pendant l'Antiquité comme le montrent les nombreuses vitres découvertes sur les sites antiques où dans des épaves comme celle de l'île des Embiez.

Une découverte à Pompéi laisse penser qu'une technique de verre plat et coulé aurait été inventée en Italie pour réaliser des fenêtres à châssis en bronze ou en bois.

Ce procédé n'a pas été transmis au cours de l'histoire.

EN EVOLUTION

DU VERRE

Dans l'Antiquité, le climat du Proche-Orient n'incitait guère au vitrage. En Europe, on se protégeait du climat et des intempéries par du papier huilé, des toiles cirées, des grillages et des volets en bois. En France, sous l'impulsion de Louis XIV, la manufacture de Saint-Gobain développe le procédé de coulage des glaces sur table. L'apparition de grande surface de verre changea considérablement l'architecture. C'est à cette époque que les édifices se construisent avec des grandes ouvertures, amenant ainsi la lumière à l'intérieur des habitations.

L'utilisation du verre dans l'architecture séduit grâce à sa transparence et sa légèreté essentiellement comme élément passif pour les ouvertures et les baies vitrées. Le rôle de l'architecte est de dimensionner les ouvertures et tenir compte du bilan énergétique de la fenêtre.

Le verre provoque l'effet de serre en bloquant les infrarouges. Les verres semi-réfléchissants à couches d'oxydes métalliques permettent de le limiter et de jouer sur les reflets.

Le principe du vitrage isolant est d'intercaler une ou plusieurs lames de gaz entre des feuilles de verre.

Les verres sont de plus en plus techniques pour nos habitations : verres hydrophobes ou verres auto-nettoyants, verres chauffants, verres acoustiques, verres lumineux... Des verres à base de zirconium sont utilisés pour renforcer le ciment par des fibres. Aujourd'hui des recherches sont menées pour utiliser le verre comme élément porteur de la structure (poutre de verre).

A l'origine, les miroirs étaient de simples plaques de métal poli comme l'aluminium, l'argent ou l'étain. À partir du 13^e siècle, les premiers miroirs sont formés d'une plaque de verre recouverte d'un mélange de mercure et d'étain. Aujourd'hui on applique sur une des faces un dépôt de métal réfléchissant la lumière.

DANS NOS MAISONS

DES VERRES

Un verre organique est une matière plastique fabriquée selon un procédé entièrement synthétique. Il est formé de macromolécules de liaisons organiques constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène qui sont disposées les unes par rapport aux autres sans ordre périodique systématique.

Ces matières plastiques sont élaborées à partir de nombreuses molécules de base, les monomères, qui se lient en grandes chaînes moléculaires, les polymères. Cette réaction chimique est thermodurcissable, le polymère devient dur sous l'action de la chaleur. Le CR 39 développé en 1940 se distingue par les propriétés exceptionnelles de ses constituants qui lui ont valu de servir plus tard à fabriquer les verres de lunettes organiques.

Aujourd'hui, plus de deux paires de lunettes sur trois comportent des verres organiques car ils sont plus légers et plus confortables que les verres minéraux. Les verres ne sont pas utilisés à l'état brut, ils subissent un ensemble de traitements qui font du verre de lunettes actuel un matériau multicouche, couche durcissante, antireflet, anti-salissures.

Au delà de l'optique, les développements de recherches ont permis d'aboutir à de nouveaux produits organiques équivalents au verre. La plupart des vitrages organiques appartiennent à la famille des PMMA plus connue sous les noms commerciaux de «Plexiglas» ou de la famille des polycarbonates sous le nom de «Macrolon» ou «Lexan».

POUR VOIR

DES VERRES

Le verre investit le domaine des biomatériaux. Des équipes de recherche développent de nouvelles formes de verre dégradable qui doivent se dissoudre sans danger au contact des fluides corporels. Ces verres sont principalement composés d'oxydes de silicium, de sodium, de calcium et de phosphore. Au contact de tissus vivants, on assiste à une série de réactions physico-chimiques par dissolution et précipitation qui conduisent à la formation d'une couche minérale qui favorise les processus de repousse osseuse.

Ce verre «bio-actif» est une alternative aux substituts osseux dans de nombreuses parties du corps humain : les osselets de l'oreille moyenne, les dents, les rotules, la hanche...

La technique sol-gel est un exemple pour la synthèse des verres bioactifs, par opposition à la méthode classique de fusion dans un four porté à haute température. La méthode sol-gel présente l'avantage de créer des compositions chimiques auparavant impossibles à atteindre ou encore de créer des structures inhabituelles, par exemple avec une forte porosité.

La maladie des «os de verre» ou ostéogénèse imparfaite se traduit par une fragilité de la masse osseuse qui provoque de fréquentes fractures. C'est une maladie génétique héréditaire due à un défaut de fabrication des fibres collagènes qui forme la trame de l'os.

BIOACTIFS

LES FIBRES OPTIQUES DES VERRES POUR

Les fibres de verre, grâce à leur souplesse, leur transparence et leur capacité de transmission de la lumière, sont jointes en faisceaux et utilisées pour transmettre une information. L'endoscopie est une des applications : un canal permet d'éclairer un organe, tandis qu'un autre renvoie la lumière réfléchi vers le praticien ou à un support informatique.

Les fibres optiques sont principalement utilisées dans les télécommunications, grâce à des impulsions lumineuses. Les grandes distances exigent une pureté et une résistance mécanique parfaite pour limiter la dispersion de la lumière et une perte du message.

Un fil de cuivre ne peut supporter que quelques communications, contre 300 000 pour la fibre optique.

Un barreau cylindrique d'un mètre de long constitué d'un cœur de silice très pure et d'une gaine optique de plusieurs centimètres de diamètre est étiré par chauffage à 2000°C afin d'obtenir une fibre monomode pouvant atteindre plus de 100 kilomètres. La composition du cœur de barreau est adaptée de façon à modifier l'indice de réfraction du verre et les propriétés de la fibre. Le diamètre du cœur d'une fibre varie de 10 à 85 micromètres. La fibre est enfin recouverte d'une couche protectrice à base de résine. Un assemblage des fibres permet d'obtenir le câble final à un ou plusieurs brins.

Les fils de verre ont été utilisés depuis longtemps, tissés ils forment des fibres qui ont de multiples applications. Très résistantes et isolantes, les fibres de verre sont utilisées dans les matériaux, pour l'électronique, les pare-chocs, les coques de bateaux, les bétons, même dans le textile, pour des vêtements résistants à l'humidité et au feu.

COMMUNIQUER

DES VERRES

La vitrification est un traitement à haute température qui permet d'obtenir un verre à partir de la fusion de déchets toxiques comme les «REFIOM», les Résidus d'Epuraton des Fumées d'Incineration des Ordures Ménagères : cendres volantes, boues de traitements, amiante, laine de verre, métaux lourds...

Les vitrifiats obtenus permettent une réduction du volume des déchets initiaux. Ils peuvent être utilisés dans de nombreuses applications, sous-couche d'enrobages routiers, ballasts, bétons, dalles...

Les éléments polluants des déchets sont oxydés avec la matrice. La vitrification exige généralement que l'on chauffe les substances à très haute température à partir de plusieurs types de fours, thermiques ou électriques. Les fours à plasma permettent d'atteindre plusieurs milliers de degrés.

Le verre obtenu doit avoir une stabilité à long terme car même très lentement, le verre s'altère et se dissout au contact d'une solution aqueuse. Des études sont menées pour les déchets hospitaliers et les déchets industriels spéciaux.

Les déchets radioactifs sont plus complexes à traiter. Les résidus, après divers traitements alimentent un four avec des grains de verre. Le verre est coulé dans des fûts en acier inoxydable.

Ils sont ensuite insérés dans des conteneurs métalliques entreposés dans des fosses bétonnées. Un système de convection d'air froid permet de les refroidir.

POUR NOS DECHETS

LE VERRE

Le verre de récupération ou calcin est le matériau de base pour le recyclage. Ce verre récupéré a été produit avec des fondants lors de son premier façonnage, il fond à une température beaucoup plus basse que la silice. Il est donc plus économique en matière première, coûte moins cher en énergie et n'émet pas d'oxyde de carbone.

Le verre peut se recycler à 100% et ceci se reproduire à l'infini. La seule limite au recyclage est la couleur. Les verres bruns et verts ne permettent de refaire que du verre de couleur. Un tri poussé du verre incolore permet la fabrication de nouveaux verres de teinte claire.

Le verre de récupération fournit à 60 % le verre d'emballage.

Les déchets verriers peuvent également être utilisés en tant qu'additifs, sous forme de granulés à des matrices de béton ou de silicate destinés à la production de blocs de construction. Les blocs obtenus présentent des qualités d'isolation thermique et sonore élevées, une résistance accrue à l'écrasement et même des capacités ignifuges. Certains tissus sont constitués de fibre de verre. Le verre recyclé peut également servir dans des procédés visant à stabiliser des sols naturels ou la mise en place de sous-couches routières...

Les «verres culinaires» comme les assiettes et plats transparents ne sont pas des verres mais des céramiques transparentes. Ils ne peuvent être recyclés avec le verre. Ils ont une température de fusion supérieure et altèrent la qualité de production.

SE RECYCLE

L'ART VERRIER

Dès l'origine, le verre est une matière onéreuse, réservée aux bijoux et arts nobles. Toute une palette de techniques s'offre aux artistes verriers et l'on distingue principalement le travail à chaud ou à froid. Ces techniques ont traversé les siècles, améliorées, parfois oubliées puis redécouvertes.

Dès l'Antiquité, le verre fut aussi employé en couches minces sous forme d'émaux et glaçures conférant un intérêt décoratif et d'imperméabilisation des poteries.

L'enduction sur noyau et le moulage sont certainement les plus anciennes techniques pour des statuettes ou figurines animales. Le verrier peut mouler dans du sable, couler dans un moule ou presser-mouler.

La technique du soufflage consiste à introduire de l'air dans une masse de verre à l'état visqueux, en soufflant à la bouche dans une "canne". Le soufflage peut se faire à main levée ou dans un moule. Elle reste la plus développée chez les verriers afin d'obtenir des formes creuses.

La sculpture à chaud fait appel à une grande virtuosité des artistes verriers. Le travail est mené à partir d'une boule de verre qui sera peu à peu façonnée et augmentée d'apports de verre à chaud. Les températures élevées atteintes par les chalumeaux permettent aux artistes de créer des formes pleines ou creuses en manipulant des tubes ou des baguettes de verre.

La pâte de verre est un procédé de mise en forme à froid de verre concassé ou broyé en poudre, disposé dans des moules en matériaux réfractaires, puis recuit vers 800°C.

D'autres techniques viennent compléter le travail à froid comme la taille, la gravure, le sablage, la peinture, le collage.

Le vitrail est un art verrier basé sur le fractionnement de morceaux de verre plat insérés dans des gouttières de plomb. Les couleurs sont données par adjonction de mélanges d'oxydes métalliques comme «le bleu de Chartres» dû à l'emploi d'oxyde de cobalt pur au moment de la fabrication du verre au 12^e siècle.

