

VERRE ET LUMIERE

Claude Darras

Mardi 26 janvier 1993

Mardi 26 janvier, Claude Darras, professeur à l'Ecole Supérieure d'Optique, nous a parlé "du verre et de la lumière".

"Si j'ai associé le verre et la lumière dans le titre de cette conférence, c'est parce que parmi toutes les qualités du verre, la principale, c'est la transparence, cette capacité d'un corps de laisser passer la lumière".

Améliorer la transparence fut un souci constant des verriers et la technique actuelle permet d'obtenir des verres tellement purs que la transmission de la lumière blanche à travers un verre de faible épaisseur est de 99,98 % quand on supprime les réflexions par un traitement approprié appelé "anti-reflets multicouches".

Verre blanc -

Ce qualificatif "blanc" est à la fois ambigu et paradoxal car il est employé à toutes les sauces (sauce blanche par exemple !). Quoi de commun entre un verre et un papier, si ce n'est qu'ils sont tous deux qualifiés de blancs ? Certes, nous sommes habitués à placer le mot "blanc" dans bien des expressions où la couleur blanche, qui d'ailleurs n'est pas physiquement une couleur, est utilisée de manière approximative : la race blanche, le blanc de poulet, le vin blanc, le pain blanc, mais aussi les armes blanches, les nuits blanches..., on donne carte blanche, les gangsters essaient de blanchir leur argent qui, comme le linge, devient plus blanc que blanc !

La notion de **verre blanc** est très aisée à définir : il est dit blanc quand il ne change pas la couleur de la lumière. Si celle-ci est blanche, elle reste blanche après l'avoir traversé. De ce fait, le paradoxe entre le verre et le papier blanc n'est qu'apparent, car le même principe s'applique au papier qui est dit "blanc" parce qu'éclairé par de la lumière blanche, il la réfléchit intégralement sans la dénaturer.

Qu'est-ce que la lumière blanche ?

La lumière blanche n'est en fait qu'un mélange harmonieux et équilibré de plusieurs lumières colorées caractérisées par leur longueur d'ondes.

La difficulté vient du fait que la couleur a deux aspects : l'un physique donc objectif, l'autre physiologique et sensoriel donc subjectif. Ce que nos yeux et notre cerveau estiment comme de la lumière blanche n'est pratiquement jamais blanche pour les physiciens. Ni le soleil dont la lumière est trop jaune, ni les lampes incandescentes trop rouges, ni les tubes fluorescents trop bleus, nous adressent de la vraie lumière blanche, physiquement parlant.

On peut considérer que nous avons une lumière aussi blanche que possible, donc pouvant servir d'étalon, quand le soleil est haut sur l'horizon, mais caché par des nuages uniformément blancs.

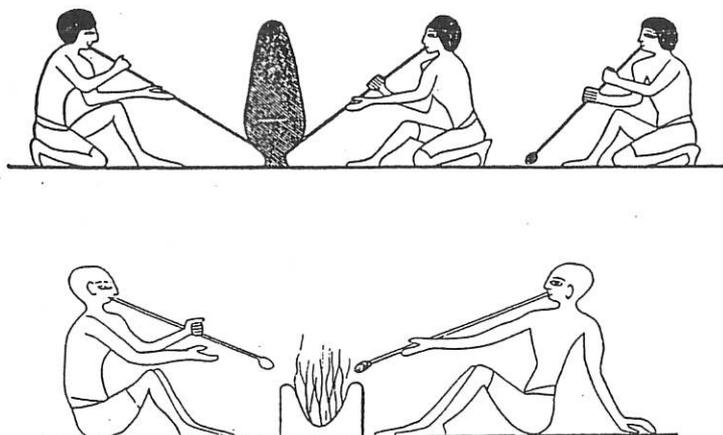
* * *

*

Historique du verre -

Au début, les morceaux de verre fabriqués par l'homme n'étaient pas transparents ou fort peu. L'apparition de ces premiers objets en verre remonte environ à près de 2000 ans av.J.C. La pièce de verre façonné, la plus ancienne que l'on possède daterait de 1550 av.J.C., à l'époque du Pharaon Aménophis 1er.

Un dessin qui représente deux verriers thébains soufflant le verre daterait selon certains auteurs, de Ousertasen 1er, soit 3500 ans avant notre ère. Cette datation est fautive, mais on a découvert des pièces de cette époque, en matière vitrifiée, sinon véritablement en verre.



On peut penser que des potiers, des fondeurs ou des forgerons soient à l'origine de la découverte de verre en Egypte ou en Mésopotamie. Evidemment ce fut le résultat du hasard et non pas celui d'une recherche délibérée.

Portés à haute température (environ 1000°), des matériaux qui peuvent être rassemblés dans des circonstances banales, comme le sable, le feldspath, la dolomite, le carbonate de soude, se transforment en une pâte dite vitreuse, qui se solidifie en refroidissant, lentement si possible pour ne pas éclater. Ces morceaux de verre étaient seulement translucides. Ils n'avaient aucune utilité pratique et servaient, par exemple, d'ornements, de pendentifs ou de décorations par incrustation. Les oxydes métalliques éventuels, mêlés au sable, pouvaient donner des couleurs variées à cette verroterie très grossière.

Un naturaliste romain, Pline l'Ancien, vers les années 50 de notre ère, raconte que les Egyptiens importaient du natrum, carbonate de soude naturel, qui leur servait à conserver leurs momies. Un de leurs navires fit naufrage sur les plages de Phénicie. Ne trouvant pas de pierres pour supporter leur chaudron sur le feu, les marins prirent deux blocs de natrum et ils virent au bout d'un certain temps un liquide rougeâtre se former dans les braises. C'était du verre incandescent.

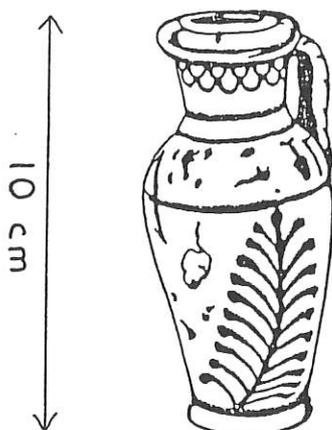
Les températures obtenues par ces feux de campements ne peuvent dépasser 650°, alors qu'il faut au moins 950° pour obtenir une vitrification. Quoiqu'il en soit, un fait semble certain : la Phénicie, avec ses villes Sidon puis Tyr, fut à l'origine du commerce des objets de verre dans l'antiquité pour tout le bassin méditerranéen, sous forme d'amulettes et de bibeloterie. On aurait même découvert de la verrerie phénicienne en Suède. Ce qui prouve que 1000 ans avant Jésus-Christ, l'industrie du verre était prospère.

Très vite on sut tailler le verre et le sculpter. Au Musée Corning à New York, l'un des musées les plus visités dans le monde, on voit une sculpture qui représente la tête, merveilleusement exécutée, du Pharaon Amenhotep II. Elle daterait de la 18ème dynastie, 15ème siècle av.J.C.



Amenhotep II

Les récipients en verre de cette époque, de petite taille (10 cm environ) étaient obtenus en trempant un agglomérat de terre et de sable dans du verre en fusion, de telle sorte que la pâte adhère à cette boule et se solidifie en se refroidissant. On usinait ensuite l'extérieur du verre pour le polir et le décorer, puis on sortait le noyau de sable. On modelait aussi des petits pots qui n'étaient que des blocs de verre creusés par abrasion. Ils servaient à conserver des matières précieuses, comme des onguents et des fards à maquillage fort utilisés par les Egyptiens.

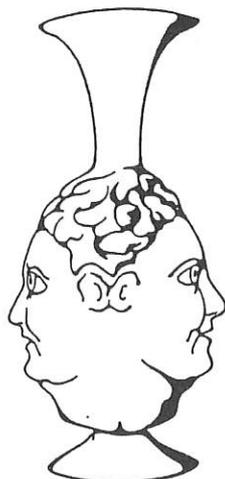


Pot en verre (Egypte - vers 1500 av J.C.)

L'imperméabilité parfaite, la stabilité extraordinaire du verre étaient déjà appréciées, mais il fallut une dizaine de siècles pour qu'il concurrence la poterie. Pour cela il fallait qu'il soit plus transparent et surtout plus facile à fabriquer. Les plus anciens objets en verre transparent qui nous soient parvenus datent du 5^{ème} siècle av.J.C.

Quant à sa fabrication, un progrès important permit au verre de devenir le plus beau et le plus utile des matériaux pour la conservation des liquides, c'est la technique du verre soufflé-moulé, mise au point vers 300 ans av.J.C, par des verriers d'Alexandrie.

Cette technique va permettre de faire des flacons en série, relativement bon marché, de toutes formes, tel ce flacon étonnant, appelé "carafe Janus", présentant deux têtes aux visages d'expressions différentes.



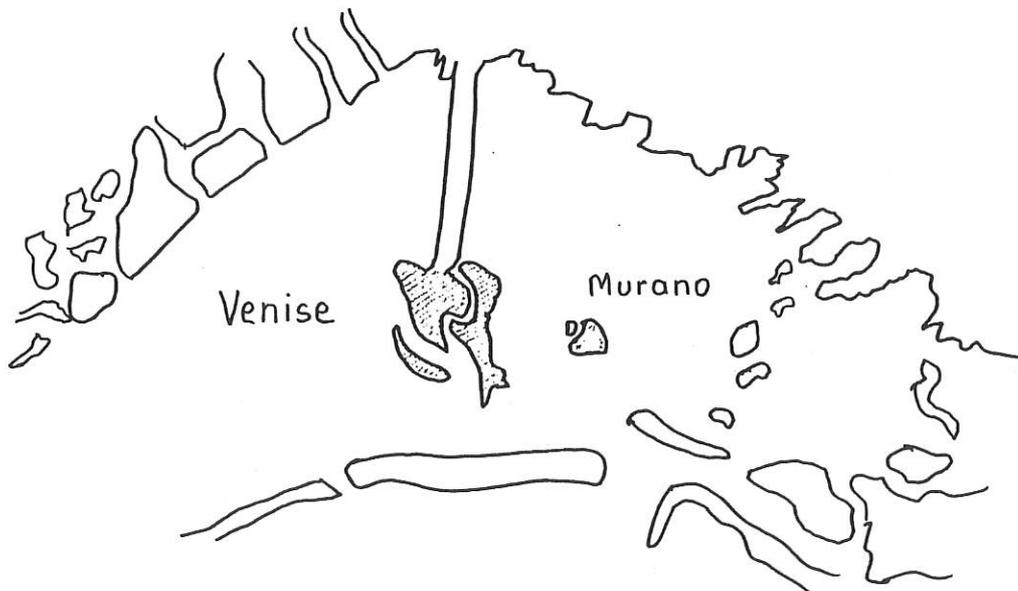
Carafe Janus

Un autre avantage de cette méthode, c'est de ne plus nécessiter une main-d'oeuvre très spécialisée, l'artiste étant celui qui conçoit et réalise le moule.

En soufflant à l'aide d'un tube dans une masse de verre en fusion, on obtient une bulle que l'on façonne à la main en la faisant tourner et que l'on place dans des moules ouverts que l'on peut sculpter en négatif, ce qui permet de reproduire des formes identiques, avec des décors aussi variés qu'on puisse imaginer. Cette méthode est toujours utilisée aujourd'hui.

Les Romains diffusèrent les productions du Moyen-Orient dans tout l'Empire, puis acquirent eux-mêmes le savoir-faire, souvent en faisant venir à Rome les verriers de ces pays. Ils surent fabriquer des objets d'une rare beauté, étonnants par leur qualité, leur finesse, leur élégance et leur originalité. Le verre transparent était un luxe réservé aux riches Romains. Pour l'usage domestique ordinaire, on se contentait de verre opaque et la poterie était utilisée pour les grandes amphores. De plus, on savait colorer le verre et obtenir de magnifiques objets polychromes.

Pendant la deuxième moitié du premier millénaire, période fortement troublée, l'industrie du verre fut en sommeil. Vers la fin du 10ème siècle, nous savons qu'à Venise, des verriers pratiquaient leur métier, mais nous disposons de peu d'informations sur les fabrications de cette époque. Par contre au 12ème et 13ème siècle, l'industrie verrière vénitienne est en plein essor. En 1271, le Grand Conseil de Venise décide d'installer les verreries dans l'île de Murano afin de mieux préserver les secrets de fabrication en se garantissant de "l'espionnage industriel".



Pour garder le monopole de production, la toute puissante Guilde des Verriers, employait des méthodes féroces. Les ouvriers n'avaient pas le droit de sortir du territoire vénitien et même de l'île de Murano, sous peine de mort.

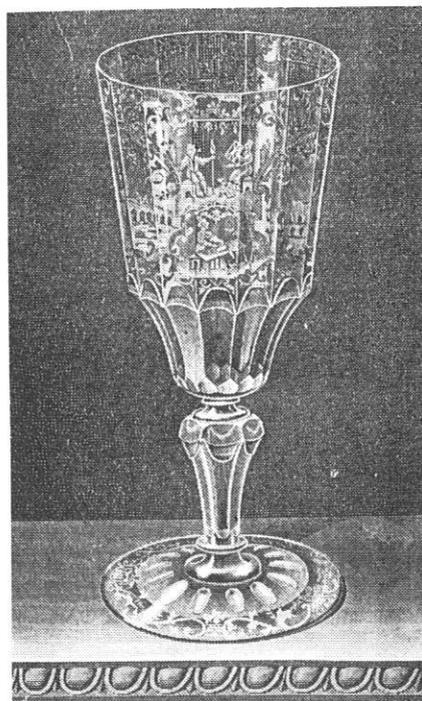
Quant aux espions qui venaient de toutes les capitales européennes pour tenter de découvrir les techniques de Murano, vous imaginez quel était leur sort quand ils étaient pris. Pendant près de trois siècles, les Vénitiens conservèrent l'exclusivité du commerce du verre.

La qualité de la production ne cessa de s'améliorer pour atteindre une perfection qui fut rarement égalée par la suite. Le verrier Beroverio, en 1463, inventa un nouveau verre qu'il appela le "cristallo" en référence au cristal de roche. Le choix de ce terme fut une erreur sur le plan scientifique, bien qu'il soit toujours utilisé. Beroverio obtint un verre d'une pureté et d'une transparence incomparable, d'une finesse, donc d'une légèreté extraordinaire, qui fit la fortune des négociants vénitiens.

On ne fabriquait pas que des flacons, des gobelets et des vases, mais aussi des miroirs magnifiques, des vitres de toutes les couleurs mais de petites dimensions, et des perles de teintes variées.

Les autorités vénitiennes ne purent empêcher la diffusion de leurs techniques et progressivement, dans l'Europe entière, on commença à faire du verre "façon Venise".

En Bohême, on mit au point des techniques destinées à améliorer encore les productions de Murano. Les verriers de Prague disposent, en effet, d'un verre aussi pur que le cristallo vénitien, mais plus dur et se travaillant plus difficilement à chaud. Par contre, il se prête parfaitement à la gravure dite "à la roue", permettant des décors à froid.



Verre de Bohême

Une considération que nous qualifierons aujourd'hui "d'écologique" va s'imposer. Les verriers étaient de grands consommateurs de bois pour leurs fours dont certains brûlaient en permanence. C'est l'une des raisons qui décida les verriers à s'installer à Murano afin que Venise ne soit pas constamment enfumée. Les immenses quantités de bois nécessaires entraînèrent des déboisements importants dont les conséquences, à l'époque, ne furent pas catastrophiques, au contraire. Elles permirent, non seulement d'améliorer les moyens de communication, mais surtout de livrer à l'agriculture et à l'élevage de grandes surfaces qui modifièrent considérablement l'économie des pays concernés, à l'exception de l'Angleterre.

Celle-ci ne voyait pas d'un bon oeil les verriers déboiser des forêts dont le bois était réservé à la construction navale. Au 17ème siècle, on imposa l'emploi du charbon comme combustible. Ceci posera des difficultés aux fabricants anglais qui, non seulement s'adapteront à cette nouvelle source d'énergie, mais ce sera pour eux, également, l'occasion de mettre au point un nouveau verre, en ajoutant une plus grande proportion d'oxyde de plomb.

Cette invention est attribuée à Georges Ravenscroft, en 1675, et ce verre fut aussi appelé "cristal". Plus lourd que le verre de Bohême, mais d'une pureté et d'un éclat inégalés, il se prêtait admirablement à la taille et au polissage. De plus, son fort indice de réfraction permettait à la lumière de jouer avec lui pour obtenir les plus merveilleux effets, tant en décoration que pour les services de table.

Un autre Anglais, à la même époque, a laissé son nom à l'industrie verrière : Sir Kenelm Digby qui inventa la bouteille moderne en verre fumé et solide pour la conservation du vin. C'est lui qui eut l'idée de réaliser le cul de la bouteille en creux pour lui assurer une bonne stabilité. Ces bouteilles dites "à l'anglaise" furent adoptées en France par les Champenois, (Dom Perignon est contemporain de Sir Digby) et surtout par les vignerons de la région de Bordeaux. Elles prirent le nom de "bordelaises". Ce n'est qu'au 19ème siècle que l'on adopta définitivement les bouchons en liège. Auparavant, les bouchons étaient en verre dépoli, usage largement encore répandu pour les flacons de parfums, par exemple.

La relation verre-lumière -

Elle s'imposa en France avec les vitraux de nos cathédrales romanes et surtout gothiques. En 1052, à l'abbaye de Sainte-Bénigne à Dijon, il y avait un célèbre vitrail racontant l'histoire de Sainte-Paschasie, vitrail que l'on venait admirer de loin.

Dès le 12ème siècle, la technique des fabricants va devenir d'une très grande qualité dont nous pouvons admirer des exemplaires à Saint-Denis et à Chartres entre autres. Au 17ème siècle, l'usage des vitraux, véritables bandes dessinées du Moyen-Age, fut en partie abandonné pour ne reprendre qu'au 19ème siècle, grâce à la réhabilitation des arts médiévaux, puis au 20ème siècle avec l'Art Déco.

Enfin, le mariage du verre et de la lumière a permis, sinon la naissance, mais certainement l'expansion d'une science très dépendante de ces deux éléments : l'optique.

L'optique -

Pourquoi a-t-il fallu attendre le 18^{ème} siècle pour qu'un moine franciscain britannique, Roger Bacon, vînt à Paris suivre des cours à la Sorbonne pour découvrir, vers 1270, qu'un morceau de verre de forme convexe pouvait améliorer les performances visuelles ?

Cependant, ce ne fut pas lui qui inventa les lunettes, mais un physicien florentin, Salvino Degli Asmati, en 1280. Il semble que ce soit lui qui ait inventé le mot "occhiali" qui se traduit par "lunettes" aujourd'hui.

Cela faisait 1500 ans qu'on savait fabriquer du verre transparent, plus de mille ans qu'on le façonnait et le polissait. Comment se fait-il qu'aucun verrier romain, à la technique déjà si sophistiquée, ne se soit pas rendu compte qu'en regardant à travers un morceau de verre bi-convexe, on voyait plus gros ?

L'effet de convergence était connu puisque les joailliers de l'époque, pour mieux s'éclairer, utilisaient une carafe remplie d'eau qui condensait sur travail la lumière d'une lampe à huile.

Aristophane explique qu'avec une lentille et les rayons du soleil on peut mettre le feu à des brindilles. Aristote vante les qualités des miroirs en verre, mais personne n'évoque d'éventuelles aides visuelles. Certes, Sénèque rapporte que Néron, dont la vue était mauvaise, regardait les jeux du cirque à travers une émeraude taillée.

Nous sommes au milieu du premier siècle de notre ère, Galien ne devait définir la myopie et en créer le terme que vers l'an 200, l'astigmatisme ne fut découvert qu'au 18^{ème} siècle et l'hypermétropie au 19^{ème} siècle. On ignore donc la nature du défaut de vision du sinistre empereur et, quand on connaît les piètres qualités optiques de l'émeraude au point de vue visuel, on se pose beaucoup de questions sur l'amélioration que Néron pouvait obtenir de cet usage.

C'est donc à la fin du 13^{ème} siècle que l'usage des lunettes apparut, corrigeant presque exclusivement la presbytie qui, elle, était connue depuis Aristophane. Elles servaient aussi de loupes. C'est à cette date que les verriers vénitiens s'installent à Murano. Pour cette raison ils détiendront pendant longtemps le commerce des lunettes qui restèrent chères et peu répandues.

En réalité, il faut attendre la fin du 16^{ème} siècle pour que l'optique fasse quelques progrès et que les lunettes se généralisent. On commença à corriger la myopie avec des verres concaves. Un Vénitien Barbaro, en 1568, plaça une lentille dans le trou d'une chambre noire pour avoir des images nettes et plus lumineuses.

Vers 1590, deux opticiens hollandais, Hans et Zacharie Jansen inventent le microscope et Galilée, en 1609 utilise pour la première fois une lunette pour observer le ciel et faire de nombreuses découvertes. Cette lunette d'approche porte désormais son nom quoiqu'il ne soit pas l'inventeur du système qui était de conception hollandaise.

A partir du 17^{ème} siècle, l'optique, en tant que science et en tant que technique, commença à faire de réels progrès avec Descartes et celui que l'on considère comme le plus grand génie de tous les temps : Newton.

Il faut bien comprendre que la qualité des instruments d'optique est liée à celle du verre. L'optique est très dépendante de ce matériau. C'est d'ailleurs pour cette raison que Newton inventa le télescope à miroir, car pour faire un objectif de dimensions suffisantes, il faut une lentille très pure, très homogène, ne présentant aucun des défauts qui sont tolérables pour tout autre usage, alors que pour obtenir un miroir parfait, il suffit d'une bonne surface taillée dans un bloc de verre quelconque.

Les verriers ne fabriquaient pas de matériaux réservés à l'optique. Ce n'est que vers le milieu du 19^{ème} siècle que nous pûmes disposer de verres dont la composition était destinée à notre usage et dont surtout l'indice de réfraction était prévu à l'avance.

* * *

*

L'industrie verrière -

L'industrie verrière française de haute qualité est née sur les bords du Loing, bénéficiant d'une inépuisable réserve de sable de très grande pureté, celui de Fontainebleau.

Dès 1753, des verriers se sont installés à Bagneaux et l'on peut encore voir les vestiges de la première verrerie créée par décret royal. Faut-il rappeler que le métier de verrier était une noble tâche puisque c'était une des rares activités manuelles que la noblesse pouvait exercer sans déchoir ? Est-ce pour cette raison que dans la haute société du 18^{ème} siècle et du début du 19^{ème} siècle, on s'intéressait beaucoup au verre et plus particulièrement à l'optique devenue, pourrait-on dire, un divertissement de salon où il était de bon ton de jouer avec le verre et la lumière. Cette curiosité mondaine amena à l'optique des personnages dont ce n'était pas la vocation.

Le plus célèbre de ces autodidactes fut peut-être le grand poète Goethe qui, comme tant d'autres, avait aménagé un véritable laboratoire de recherches et qui laissa de nombreux ouvrages sur la nature de la lumière et sur la vision. Goethe eut le tort de s'opposer violemment aux théories de Newton que nous avons évoquées. Sa célébrité n'est pas due à ses travaux scientifiques auxquels pourtant il attachait beaucoup d'importance.

Le 19^{ème} siècle fut le grand siècle des découvertes en optique. Là encore, verre et lumière sont inséparables. En effet, tandis qu'on améliorait sans cesse le verre, on commençait à mieux comprendre les effets du verre sur les rayons qui le traversent : la polarisation, la réfraction, le pouvoir filtrant, les couleurs, etc.

Pour les anciens, la lumière était un véritable mystère. Pendant longtemps, selon Aristote, lorsqu'on regardait quelque chose, la lumière allait de l'oeil à l'objet. Saint-Jean Chrysostome, sur ce principe, disait qu'ainsi les yeux étaient "la lanterne de l'âme". Pour Descartes, la lumière était faite de petits fragments de matière : c'est la théorie corpusculaire qui fit école jusqu'au 19ème siècle. Maxwell, en 1864, démontra que la lumière n'est autre qu'une onde électro-magnétique : c'est la théorie ondulatoire.

Cependant, chacune de ces théories présentait des lacunes. Certains phénomènes étaient expliqués par l'une mais pas par l'autre. Einstein et Louis de Broglie prouvèrent que cette lumière était à la fois corpuscules et ondes, se déplaçant par quanta, petits morceaux de lumière que l'on nomma photons. Ces photons naissent de l'atome lorsqu'un électron qui tourne autour du noyau change l'orbite sous l'effet d'une énergie particulière, la chaleur par exemple.

La connaissance de l'atome explique la lumière et apprend ce qu'est le verre, car c'est sa structure atomique qui le caractérise et le rend très différent du cristal avec lequel les anciens le confondaient. Le cristal est une matière naturelle solide et transparente que l'on sait produire actuellement sans aucun défaut, par exemple le quartz pour l'horlogerie et les rubis pour les lasers par exemple.

Dans une structure cristalline, les atomes sont rangés régulièrement dans un volume tridimensionnel selon une disposition propre à chaque cristal. L'ordre rigoureux de cet ensemble d'atomes font des cristaux des solides parfaits par leurs caractéristiques atomiques.

Dans le verre, il en est tout autrement et la dénomination "cristal" donnée depuis des siècles à nos plus beaux verres est une erreur scientifique. Le verre n'est pas une matière cristalline mais une matière dite "amorphe", ce terme, en l'occurrence n'est pas péjoratif. En physique, une substance est appelée "amorphe" quand sa structure est irrégulière et indéterminée : le verre est le matériau amorphe typique, lui aussi parfait dans son genre.

En effet, le désordre structural à l'échelle atomique disparaît complètement quand on considère un volume plus important supérieur à la longueur d'onde de la lumière visible qui est de l'ordre de 3 à 8 dixièmes de micron. Dans un cube de verre dont les côtés font 1 dixième de micron, il y a une telle quantité d'atomes que leur apparent désordre donne au contraire une impression d'homogénéité et est sans influence sur la qualité optique. Cette pagaille, à l'échelle atomique, présente un avantage considérable en permettant d'introduire dans sa composition d'autres atomes, pour le colorer ou lui donner des performances particulières, sans modifier son "isotropisme".

L'isotropisme qualifie un corps dont les propriétés physiques et optiques sont identiques dans toutes les directions, c'est d'ailleurs une des caractéristiques des structures amorphes. La perfection du désordre des atomes est telle que la lumière, à l'intérieur du matériau, subit toujours les mêmes effets quelle que soit la direction dans laquelle elle se déplace. Les matières cristallines, au contraire, sont "anisotropes". C'est pourquoi j'émetts un doute sur la qualité de vision que Néron pouvait obtenir de son émeraude qui modifie la marche des rayons lumineux selon la direction du regard, perturbation optique pouvant aller jusqu'à la vision double. Mais peut-être est-ce l'effet qu'il recherchait à doubler son plaisir sadique ?

Le verre est un matériau extraordinaire. Il réunit à lui seul six qualités essentielles : la transparence, la stabilité chimique, la stabilité dimensionnelle, la dureté, l'aptitude au formage et à l'usinage, le pouvoir d'isolation électrique. Avec de telles performances, il n'est pas étonnant que le verre ait des utilisations les plus diverses.

Deux industries se partagent la fabrication du verre. D'abord ce qu'on appelle la grande industrie verrière comme Saint-Gobain en France. Elle fournit des produits de très grande consommation comme le verre plat et le verre creux. Le premier concerne les vitrages et, dans la relation verre-lumière, imaginez ce que pourraient être nos fenêtres sans vitres, de même que les trains et les autos. Le verre creux sert à fabriquer les bouteilles, les flacons et toute la gobeletterie. Cette industrie réalise aussi des dalles de verres pour le bâtiment, la laine de verre pour l'isolation, etc.

Curieusement, la composition du verre employé par ces industriels est pratiquement identique à celle des verriers égyptiens, syriens et romains d'il y a vingt siècles.

Les performances du verre furent quand même améliorées. Je n'en citerai qu'une : le verre trempé. Le premier brevet est déposé en 1874 par le français Royer de la Bastie, mais ce n'est qu'en 1929 que Saint-Gobain crée le célèbre verre Sécurité.

L'autre volet de l'industrie verrière est celui des verres spéciaux, dont le leader mondial est la Corning Glass, avec sa principale filiale, Corning France dont le siège est à Avon, à côté de Fontainebleau et ses sables de haute qualité. Ces verres spéciaux, qui eux, sont infiniment variés, nous les retrouvons dans tous les domaines scientifiques et techniques : électronique, chimie, agro-alimentaire, biotechnique, optique, et plus récemment l'opto-électronique avec cette merveille technique qu'est la fibre de verre.

Plus banalement, ces verres spéciaux, nous les employons dans nos cuisines. Le plus ancien est le pyrex, inventé en 1909 par Corning pour répondre à la demande des chemins de fer américains, qui voulaient disposer d'un verre très résistant pour les lanternes des lampistes. Dès 1913, on l'utilisa pour la cuisson des aliments et depuis 1915 sa composition n'a jamais changé. Le pyrex est devenu un produit universel.

Malgré la concurrence du plastique, le développement des produits en verre dans notre vie quotidienne est tellement important que je n'hésiterais pas à affirmer que le verre est un élément essentiel de notre civilisation.

Monsieur Darras répondit, avec ses amis et confrères qui l'avaient accompagné, aux nombreuses questions que les adhérents lui posèrent.

* * *

*