

LA MISE EN ŒUVRE DU VERRE

ET SES ORIGINES

par Michel RIFFÉ

Nul ne peut dire qui a inventé le verre. Son industrie, comme celle des émaux est plusieurs fois millénaire. Les Egyptiens maîtrisaient bien cette technique. On en a la preuve par l'existence de colliers en pâte de verre trouvés dans certains tombeaux et aussi par les fresques de Beni-Hassah, près de Thèbes(1). Ces fresques nous montrent, entre autres, toutes les phases du soufflage du verre : des ouvriers assis cueillent le verre fondu dans un pot avec une canne creuse et soufflent avec la bouche pour former un vase.

Mais avec les Egyptiens, on est déjà dans une phase de production d'objets bien élaborés. Avant eux, on savait déjà réaliser quelques modestes perles en pâte de verre. Comment s'y prenait-on ? Pour tenter d'y répondre, nous allons voir d'un peu plus près ce qu'est un verre, et voir qu'il demande une maîtrise du feu déjà bien sérieuse.

Pour le scientifique, le verre est une substance amorphe présentant un état solide transparent, translucide ou opaque, sonore doué d'une cassure brillante, caractéristique, d'où cet aspect connu sous le nom d'éclat vitreux. Ce qui distingue le verre des autres matériaux solides, c'est son absence de structure cristalline : si on étudie la structure des roches, on s'aperçoit que les molécules et atomes ne sont pas disposés n'importe comment, mais au contraire sont rangés pour former des réseaux appelés réseaux cristallins de formes cubiques, tétraédriques, rhomboédriques, etc... jusqu'à former parfois ces merveilleux cristaux que l'on rencontre dans la nature et qui sont le résultat de l'alignement parfait de milliards de molécules ou atomes (cristal de roche... etc). Mais avec le verre, il n'y a pas d'organisation de ce genre ; les molécules sont disposées en vrac, d'une manière désordonnée comme dans un liquide. On dit parfois que le verre est un liquide surfondu c'est-à-dire que l'on a maintenu à l'état solide la structure d'un liquide. Une des conséquences est l'absence de fusion franche. Avec un cristal ou un métal (qui est formé de la juxtaposition de cristaux) il existe une température de fusion, où l'on passe brusquement de l'état solide à l'état liquide.

Alors pour faire du verre que faut-il ? Eh bien, il suffit de broyer finement certaines roches, de les mélanger dans de bonnes proportions et de faire fondre le tout dans un creuset. Le chimiste nous dira que l'on retrouve presque toujours les mêmes constituants, qui sont des oxydes minéraux. Par exemple : il faut :

- de l'oxyde de silicium SiO_2 (silice)
- oxyde de sodium Na_2O
- oxyde de calcium CaO (chaux)
- oxyde d'aluminium Al_2O_3 (alumine)

De nombreux autres oxydes sont utilisés, mais généralement en très petites quantités pour donner au verre des propriétés particulières (colorations,

propriété optiques, dilatation, etc...).

Voyons comment on peut trouver tous ces constituants dans la nature : l'oxyde de beaucoup le plus important pour faire du verre est la silice SiO_2 . C'est un des éléments les plus abondants de la nature, et sous une forme des plus facilement exploitable : le sable. Mais certains sables contiennent des impuretés gênantes ; principalement les oxydes de fer, tandis que certains gisements sont très purs en silice. Les plus beaux sables français sont situés près de NEMOURS et sont souvent appelés "sables de FONTAINEBLEAU".

L'alumine Al_2O_3 existe également d'une manière très abondante dans la nature : dans les roches éruptives ou volcaniques, sous forme de silicates plus ou moins complexes dans les bauxites. Les roches naturelles riches en alumine possèdent souvent une quantité d'oxydes de fer assez importante, ce qui a conduit en bouteille, à la fabrication de verre colorés.

Les oxydes de sodium Na_2O et potassium K_2O sont les "fondants" les plus actifs. On trouve le premier sous forme de Carbonates dans la cendre de varechs, et le deuxième dans la cendre de bois. Ces deux types de cendre ont été utilisés depuis l'Antiquité et jusqu'à la fin du XVIII pour la constitution de tous les verres. De plus le bois qui était le combustible exclusif employé pour chauffer les fours, fournissait sur place une partie de ces fondants.

La chaux CaO se trouve à l'état naturel sous forme de carbonate dans la craie, les calcaires et les marbres. Elle est associée sous forme de carbonate double avec la magnésie dans les dolomies. Dans la plupart des pays, on trouve des gisements de calcaire et de dolomie suffisamment purs pour assurer une bonne composition des verres.

Nous voici en présence des différents constituants du verre. On s'aperçoit rapidement que si l'on veut un verre assez facile à fondre, homogène, transparent, facile à travailler, les constituants de base finalement, sont toujours mélangés dans les mêmes proportions et les pourcentages varient dans des limites relativement étroites :

- silice	68 à 74 %
- oxyde de sodium	12 à 16 %
- chaux	7 à 14 %
- alumine	0,3 à 3 %
- magnésie	0 à 4,5 %
- oxyde de potassium	0 à 1 %

Et ces proportions furent trouvées tôt dans l'Antiquité. Plus tard, les Romains ont affiné cette composition : la preuve est faite si on regarde l'analyse par CLAUDET (2) d'un verre à vitre (A) trouvé à POMPEI et celle d'un verre à vitre moderne (B) :

	A	B
- SiO_2	69,4	69,6
- Na_2O	17,2	15,2
- CaO	7,3	13,4
- Al_2O_3	2,6	1,8
- Fe O	1,2	
- MnO_2	0,4	

Voyons maintenant la technique de fusion, telle qu'elle s'est pratiquée depuis l'époque Egyptienne, durant toute l'Antiquité, durant le moyen-âge et jusqu'au XIX Siècle.

On commence par fabriquer un pot, fait de céramique : l'argile cuite à haute température a la propriété d'être peu attaquable par le verre fondu, et lorsque ce silicate est relativement pur, il ne commence à perdre sa rigidité qu'à température élevée, de l'ordre de 1500 ° C.

Le mélange vitrifiable est introduit dans le pot, en général on y ajoute un peu de calcin, c'est à dire des déchets de verre cassé+. Les matières premières ne s'échauffent rapidement qu'en surface, car elles sont mauvaises conductrices de la chaleur. La vitrification va donc s'amorcer au contact soit de l'atmosphère du four, soit des parois du creuset, soit du verre déjà fondu dans le pot. Les réactions démarrent rapidement au-dessus de 800° C, lorsque les matières les plus fusibles (carbonate et sulfate de sodium, calcaire) commencent à fondre. Il y a attaque du sable et dégagement du gaz carbonique résultant de la décomposition des carbonates.

Mais si la température restait relativement basse, par exemple, au-dessous de 1000° C, la réaction se ralentirait très vite, car au fur et à mesure de la dissolution du sable dans les carbonates, le liquide devient de plus en plus visqueux. Si l'on maintient le feu au-dessus de 1400° C, les couches de surface atteignent rapidement cette température, et comme le verre devient d'autant plus liquide qu'il est plus chaud, la réaction peut se poursuivre jusqu'à digestion complète du sable. La couche de surface étant fondue, les couches sous-jacentes s'échauffent à leur tour et la fusion se poursuit progressivement.

Toute cette phase qui correspond à la vitrification des matières premières s'appelle la fusion du verre. Mais ce verre fondu est encore loin d'être homogène. Il reste en particulier de nombreuses bulles de gaz prisonnières de la pâte, parce que le verre, même à température de 1500° C, est encore visqueux, il a la consistance d'une huile épaisse. Et nous avons vu que la fusion se fait par digestion progressive du sable, donc l'homogénéité chimique du verre est loin d'être parfaite. Aussi la fusion doit être suivie d'une phase d'homogénéisation que l'on appelle l'affinage.

Ceci consiste d'abord à élever la température jusqu'au maximum admissible : 1450 à 1430 ° C(+) de façon à diminuer le plus possible la viscosité du verre. Chaque bulle en s'élevant vers la surface entraîne dans son mouvement une petite quantité de verre fondu des couches inférieures, ceci permet d'homogénéiser le verre. On peut accélérer ce phénomène en créant artificiellement d'autres bulles, par exemple en essayant d'immerger un morceau de bois imprégné d'eau qui dégage aussitôt de grosses bulles de vapeur.

Revenons un peu sur le problème du pot d'argile. Si la technique du verre a pu se développer très tôt, c'est parce que l'industrie de la céramique, plus vieille encore, a su mettre tout de suite à sa disposition les matériaux nécessaires à la construction des fours et des récipients indispensables à la fusion du verre.

L'argile crue hydratée a une structure lamellaire particulière qui lui permet, au contact de l'eau, de former des pâtes qu'il est facile de mettre en forme. Toutefois, cette pâte, lorsqu'elle est ensuite séchée et cuite, prend un "retrait" c'est à dire une diminution de volume qui correspond à celui de l'eau éliminée : l'eau de la pâte d'abord, pendant le séchage, l'eau de constitution ensuite, pendant la cuisson. Ce retrait très important, aurait pour résultat, s'il n'était atténué artificiellement, de provoquer des déformations et des fissures qui rendraient l'argile cuite inutilisable. Le moyen employé pour le réduire consiste à mélanger à l'argile crue broyée, avant de la gâcher avec de l'eau, une quantité importante de "charmotte", constituée par de l'argile cuite sans précaution et broyée. La proportion de charmotte est très importante, car elle est d'environ 50 % lorsque la pâte molle doit être travaillée à la main et peut atteindre 90 % dans des briques ou grès réfractaires façonnés par des techniques industrielles utilisant de fortes pressions.

Mais revenons aux origines du verre. Nous avons vu que :

- les matières premières nécessaires à sa fabrication ont toujours été abondantes et facilement exploitables
- + Le verre fond plus vite que ses composants, il en est de même pour les alliages de métaux : leur point de fusion est inférieur aux métaux qui les composent.
- + Au delà, le pot en céramique serait endommagé.

- l'industrie de la céramique a dû logiquement précéder la fabrication des verres
- une température de 850° C minimum est nécessaire pour amorcer les processus de vitrification, mais pas pour fabriquer des objets
- une température de 1400° C minimum est nécessaire pour obtenir un verre homogène transparent, mais une température plus faible (1000 à 1200° C) a été suffisante pour produire une qualité de verre inférieure (pâte de verre).

Reste la technique du feu. L'apparition du verre va dépendre des progrès de l'art du feu. Plusieurs études ont été faites sur l'histoire de la céramique en relation avec la maîtrise du feu.

Nous allons reprendre celle faite par A.M. ANTHONY (3), tenter d'extrapoler cette chronologie aux techniques verrières (voir fig. 1).

Le feu de bois permet facilement d'atteindre des températures de 250° C. Mais 850° C et au-delà nécessite autre chose. Il faut construire une voûte (un four) et aussi probablement connaître le soufflet (type soufflet de forge) ou utiliser un creuset dans lequel les parois chauffées fortement de l'extérieur vont rayonner à l'intérieur, donc dans un petit volume, une importante quantité de chaleur.

A l'âge des métaux, ces problèmes là sont résolus. A. ANTHONY (3) estime que la température de 1100° C a été atteinte avec la métallurgie du bronze et 1300° C avec celle du fer. On commence à cerner un peu mieux l'époque de l'apparition des objets en pâte de verre.

PLINE DANS SON "Histoire Naturelle" rapporte aux Phéniciens la découverte du verre. Il dit que des marchands de ce pays ayant relâché sur les rives sablonneuses du fleuve Bélus, employèrent pour réhausser leurs marmites, des pains de Natron (carbonate de sodium hydraté) de leur cargaison, et que par suite de la combinaison de ce natron avec le sable de la rive sous l'action du feu, ils virent couler des ruisseaux d'un liquide inconnu, brillant transparent, qui n'était autre que de verre incandescent. Le fait est très douteux, car il est probable que la réaction à l'état solide entre les deux corps doit être difficile à réussir dans ces conditions. Nous venons de voir que les températures minimum nécessaires sont bien trop élevées pour être atteintes par un simple foyer. Par contre, il est plus logique de penser qu'un homme faisant cuire ses poteries dans un four essayant d'améliorer la composition de ses céramiques ait pu faire apparaître quelques traces de vitrification contre la paroi des pots, ou du four.

Il suffisait de la présence d'un peu de sable, de la cendre, peut être de l'alumine amenée par l'argile impure, ceci combiné par des surchauffes locales dues à l'effet de creuset, et les premières traces de surface vitrifiées apparurent. On pourrait donc retrouver ces traces de vitrification datant de la fin du néolithique, lorsque les fours de cuisson des poteries devaient se perfectionner. Les perles en pâte de verre seront plus récentes. Dans nos régions on a retrouvé quelques perles en pâte de verre datant de l'âge du bronze et du fer ; par exemple sur le site des Pichelots (Dr. GRUET) de l'époque de la Tène.

Mais la diffusion de la technique de fabrication des objets en verre dans l'antiquité est mieux connue. De l'Egypte elle gagna Sidon dont les sables étaient renommés. Sydon et Tyr furent, avec Thèbes les principales cités qui se sont livrées à l'industrie du verre. Plus tard, lorsque César eut soumis l'Egypte, il imposa les bijoux de verre comme tribut de guerre. La date de - 31 av. J.C. (2) est avancée comme début de la fabrication du verre à Rome.

Les Romains savaient déjà corriger la couleur due au fer par le bioxyde de Manganèse. La disposition des bulles dans ces verres indique qu'ils opéraient par coulage. Après l'envahissement de la Gaule, l'industrie du verre artistique devint prospère.

Nos musées vendéens de Fontenay le Comte et la Roche-sur-Yon possèdent de remarquables pièces et méritent le détour.

Les prospections de plusieurs sites du Bas-Poitou, notamment à Nalliers ont fourni des échantillons de verre "millefiori", mosaïques ou à filigranes, issus d'une technique remarquable, et preuve supplémentaire des relations commerciales importantes entre la Gaule et le Bassin Méditerranéen. A Nalliers également, on découvrit au siècle dernier la tombe d'une jeune fille accompagnée d'un mobilier funéraire important, comportant une cinquantaine de verreries, datant du milieu du I^{er} siècle. Parmi celles-ci des bouteilles de section cylindrique, carrée ou hexagonale, constituant de véritables séries de tailles croissantes, qui nous invite à nous interroger sur le système de mesures utilisées à cette époque. Il y avait également des récipients ayant trait à la toilette féminine, notamment plusieurs balsamiques et quelques ampoules à onguents (4).

A St Médard des Près, la fouille de B. Fillon a fourni une série de balsamiques, dont l'un en verre jaune à décor de marbrures blanches et un autre en verre incolore dont la panse fort aplatie n'a pu contenir qu'une fort petite quantité de liquide.

Dans la nécropole de Bouillé-Coudault datant du II - III Siècle, on retrouva de magnifiques verres à pied, ornés de filets bleus et blancs décrivant des motifs abstraits propres aux ateliers de Cologne. Il y avait également parmi les pièces les plus spectaculaires, deux assiettes en verre incolore décorées d'applications vermicellaires bleues et blanches.

Sur ce sujet, il faut absolument lire l'article remarquable fait par C. GENDRON sur les verres gallo-Romains (4).

- (1) - *Le verre* - Clément DUVAL - *Presse Universitaire de France*
N. 264 - 1974
- (2) - *Les Industries Verrières* - P. PIGANIOL
Dunod - PARIS 1966
- (3) - *La céramique* A.M. ANTHONY - *Revue du Palais de la Découverte*
Volume 11 N. 101 - Octobre 1982
- (4) - *Les verres Gallo-Romains* - C. GENDRON. *Archéologia*
N. 62 - Mars 1974
- *La verrerie Gallo-Romaine sur le golfe des Pictons*
POITIERS 1970.

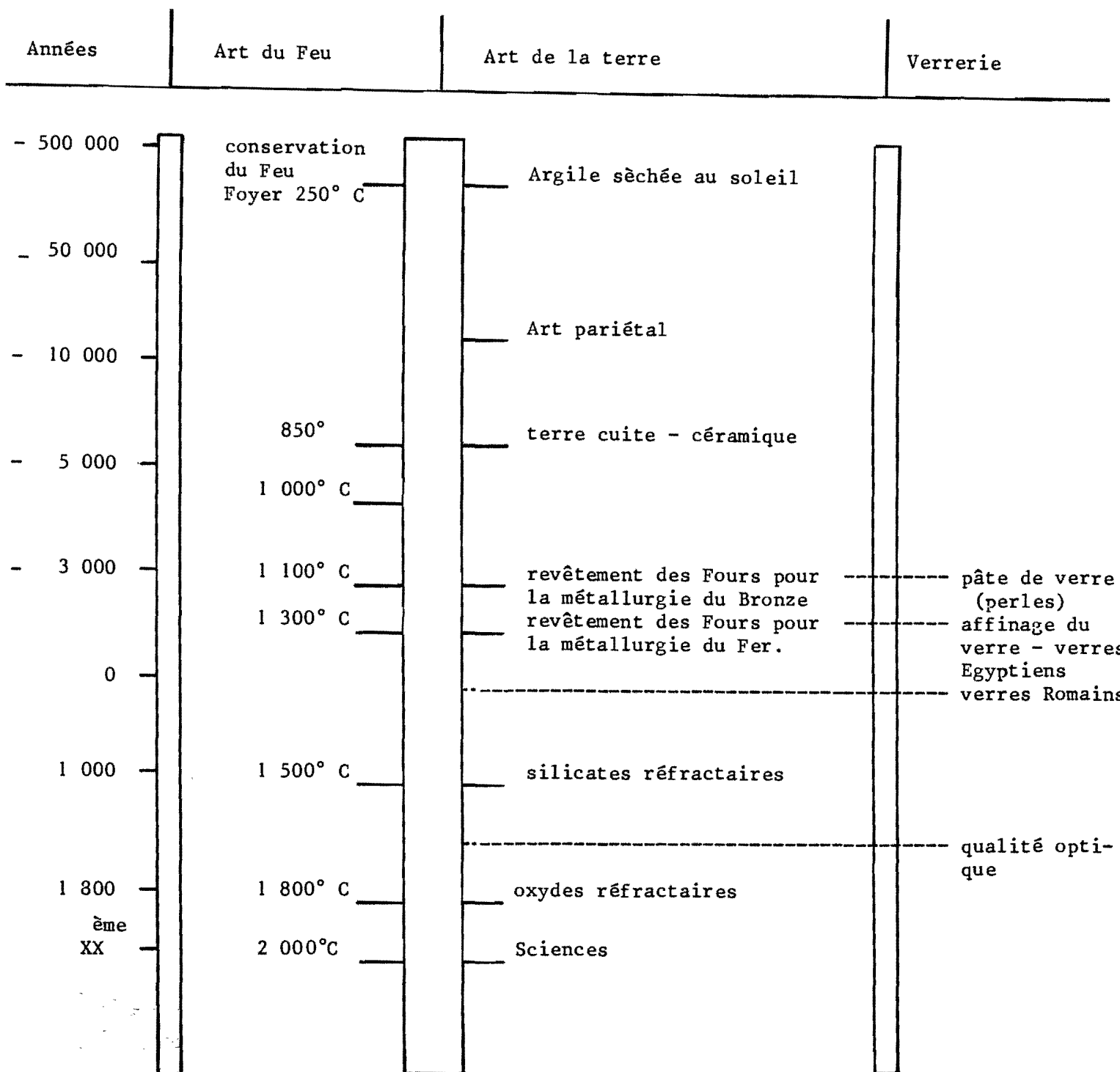


Fig. 1

Evolution de l'art de la terre et de la verrerie en fonction de l'évolution de l'art du Feu.