

Déchets de verre et verre de rebut

Que vous utilisiez une fritte de votre composition ou que vous vous contentiez de fondre des déchets de verre, cela dépendra avant tout de l'intérêt que vous porterez à la chimie des silicates, de l'étendue de vos connaissances et de l'importance de votre production.

Le débutant préfère généralement utiliser des déchets de verre qu'il est facile de se procurer à bon compte, voire même gratuitement, et qui permettent de se livrer sans plus attendre aux joies du souffleur.

Du même coup vous pourrez, si le cœur vous en dit, prendre part à la campagne pour le recyclage des matières premières, en participant au ramassage des centaines de tonnes de bouteilles qui chaque jour sont jetées dans les décharges publiques. Les épiciers, eux aussi, seront enchantés de se débarrasser des vieilles bouteilles. Le nettoyage des bouteilles représente bien sûr un gros travail et le verre obtenu n'est pas de très grande qualité. Par contre, son prix de revient pratiquement nul compense bien ces inconvénients.

Les déchets de verre sont presque toujours de compositions différentes et un sérieux brassage de la pâte est absolument nécessaire, si l'on veut éviter des traces de couleur inesthétiques ou des craquelures dues à des différences de tension à l'intérieur du verre. D'un autre côté, la fonte de déchets de verre est facilitée du fait qu'il s'agit de verre déjà fondu une première fois et épuré; la température de fusion dépassera rarement 1200 à 1300°C. Il est important de bien écraser et surtout de bien mélanger les déchets de verre avant de les fondre.

D'habitude, les verreries fournissent des déchets de verre classés par catégorie; ce qui permet, la composition du verre étant connue, de prévoir les qualités et de préparer des frites différentes.

Si l'on ajoute à une fritte donnée une certaine quantité de déchets de verre, d'importance variable selon les cas, la fonte de l'ensemble sera grandement facilitée et la température de fusion abaissée dans des proportions considérables. Les petits ateliers ont donc intérêt à utiliser de tels mélanges.

Avec un four d'une capacité de 40 à 50 kg, en utilisant une fritte comprenant 50% de déchets de verre, on pourra obtenir une pâte convenable en 24 heures. En général, la température de fusion d'une fritte atteint 1400 à 1500°C, à condition d'utiliser d'excellents brûleurs dans un four bien isolé; même dans ces conditions, il faut bien compter 48 heures avant d'obtenir une pâte malléable.

Naissance du verre

La silice est l'élément principal du verre. C'est un élément *vitriifiant*. Sa formule chimique est SiO_2 . En général, on l'utilise sous forme de sable, de quartz ou de silix. La plupart des frites contiennent entre 40 et 80% de silice, mais comme, tout de suite après l'oxygène, c'est l'élément le plus répandu sur la terre — plus d'un quart du poids total —, le risque n'est pas grand d'en manquer un jour.

On peut fabriquer du verre uniquement à base de quartz, mais son utilisation présente de nombreux inconvénients : point de fusion élevé (1713°C) et faible malléabilité. Par contre, son faible coefficient de dilatation et sa grande résistance le rendent particulièrement propre à la fabrication du matériel de laboratoire.

Une bonne fritte doit avoir un point de fusion entre 1300 et 1500°C, et la pâte conserver une malléabilité suffisante pour être façonnée jusqu'à 900 -

1100°C, afin d'éviter des réchauffements trop fréquents.

Ces qualités s'obtiennent grâce à divers *fondants* comme la soude ou la potasse. Il s'agit là de substances alcalines ayant un point de fusion inférieur à 900°C. Ajoutée à la fritte, la soude ou la potasse abaisse le point de fusion mais influence également le coefficient de dilatation, la transparence et la solidité. Un verre qui se composerait uniquement de quartz et de soude, ou de potasse, serait trop fragile et trop facilement attaqué par les acides et les produits chimiques; il pourrait même se dissoudre dans l'eau bouillante. Ce genre de verre est appelé *verre soluble*. Si de nombreux objets de fouille sont aujourd'hui en partie dévitrifiés, cela tient à leur composition trop alcaline qui ne leur a pas permis de résister à l'humidité. Ils sont atteints de *l'incurable maladie du verre*.

Pour compenser les effets néfastes des fondants, pourtant indispensables pour abaisser le point de fusion, on est amené à utiliser d'autres éléments : craie, minium, oxyde de zinc, carbonate de baryum ou oxyde de magnésium. Tous ces éléments sont des *stabilisants*. En ajoutant l'un d'entre eux à la fritte, on obtient un verre solide et stable.

Un verre de qualité comprendra donc nécessairement trois composants :

- un *vitriifiant*, élément de base
- un *fondant*
- et un *stabilisant*.

Le plus souvent, on ajoute encore d'autres éléments qui auront une influence sur le point de fusion, la couleur ou l'opacification.



Les éléments de base

La silice

La silice — SiO_2 , oxyde de silicium — est l'élément fondamental de toute fabrication de verre. On l'utilise sous forme de sable, de quartz ou de silix.

Le sable est le plus souvent utilisé. On le trouve largement répandu sur toute la terre. Mais tous les sables ne sont pas propres à la fabrication du verre. Pour que la pâte obtenue soit de bonne qualité, il faut un sable fin et ne contenant qu'un minimum d'impuretés, pour éviter une coloration inesthétique du verre. Une teneur infime en oxyde de fer suffirait pour donner au verre des reflets verdâtres ou jaunâtres, ce qui obligerait à utiliser un décolorant. Bien qu'apparemment efficace, celui-ci diminue toujours la transparence. Le sable doit donc être choisi avec un soin particulier : les meilleurs sables européens proviennent de Hollande, de Belgique et de France.

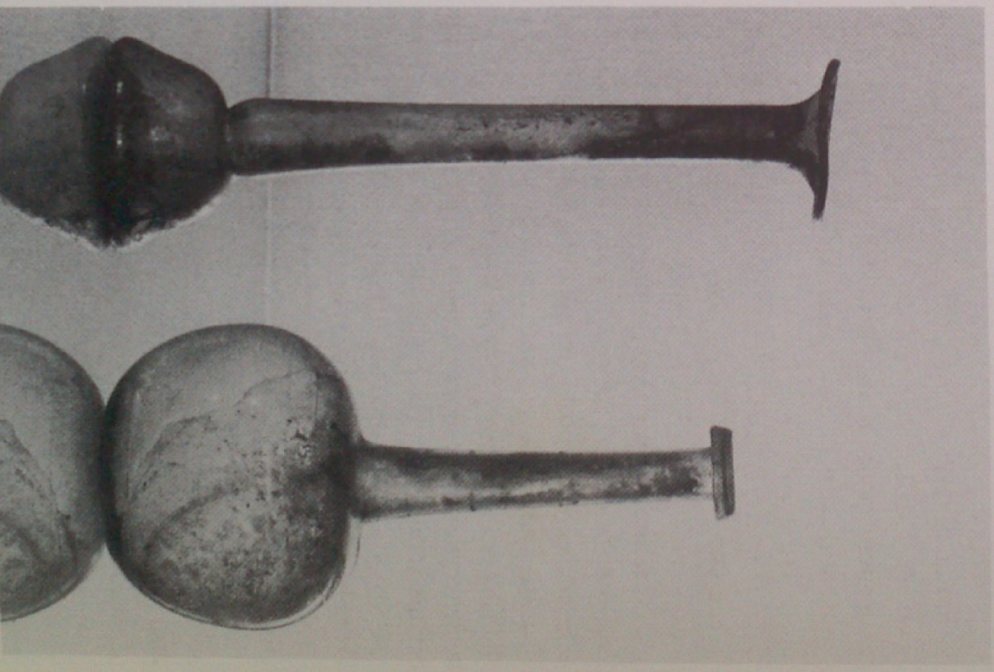
Autrefois, on n'attachait guère d'importance aux éléments utilisés ; c'est pourquoi la plupart des petites verreries prenaient le sable là où elles le trouvaient : sur place. Le verre produit était presque toujours plus ou moins verdâtre. Un sable de bonne qualité ne doit pas contenir plus de 0,01 % d'oxyde de fer et ses grains doivent varier entre 0,1 - 0,3 mm ; plus gros, ils fonderaient mal.

Le borax

Le borax — B_2O_3 , oxyde borique — fait également partie des éléments de base dans la fabrication du verre ; de surcroît, il a un effet de fondant. On l'utilise généralement sous forme d'acide borique dont le point de fusion est très bas, ce qui permet de diminuer la quantité de fondant proprement dit. La pâte ainsi obtenue aura une température de fusion

acceptable et le verre, grâce au faible coefficient de dilatation du borax, présentera de bonnes qualités thermiques. C'est pourquoi les verres au borax sont généralement utilisés dans les laboratoires.

*Flacons de verre. Damas, Syrie. Époque romaine, 1^{er} siècle de notre ère.
Musée de Smaland, Växjö, Suède.*



Les fondants abaissent la température de fusion de la fritte, qui ne devrait jamais dépasser 1400-1500°C; ils lui donnent les qualités alcalines indispensables pour l'utilisation de colorants comme l'oxyde de fer, l'oxyde de cobalt, l'oxyde de cuivre etc.

La soude

La soude — Na_2CO_3 , carbonate de sodium — est le fondant le plus employé. Autrefois, le verre se composait toujours de quartz et de soude. Les Egyptiens, les Syriens et les Romains ne connaissent pas que le verre sodique. C'est un verre fragile. Les objets de fouille appartenant à ces époques nous parviennent pour la plupart dévitrifiés ou pour le moins iridescents, par suite de l'oxydation des substances alcalines.

Les matières premières étaient exportées du Proche-Orient vers les pays méditerranéens producteurs de verre. Les cendres d'algues constituaient une des principales sources de soude; comme tous les éléments sodiques naturels, elles contenaient de nombreuses impuretés, parmi lesquelles le calcium. C'est ce qui explique que certains verres de ces époques ont pu nous parvenir absolument intacts — la chaux, dont on ignorait encore les effets, ayant agi comme stabilisant.

Ce n'est qu'au milieu du XIX^e siècle que la soude artificielle remplace petit à petit la soude naturelle. Très pure, elle permet une production homogène de verre stable et solide.

Comme fondant, la soude est très efficace : il suffit de 15 à 20% de soude pour abaisser le point de fusion d'une fritte à 1400 - 1500°C. On utilise généralement un granulé à gros grains qui dégage moins de vapeur pendant la fonte et qui ne se met pas aussi facilement en grumeaux que ne le ferait un granulé plus fin.

On utilise également :

Le sulfate de sodium — Na_2SO_4 , sel de Glauber.
Le nitrate ou azotate de sodium — NaNO_3 , salpêtre du Chili.

Le borate de sodium — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, borax.

Le fluosilicate de sodium — Na_2SiF_6 — fabrication d'opaline.

Le feldspath sodique — $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ — que l'on utilise s'il faut ajouter de l'oxyde d'aluminium à la fritte.

Le verre sodique s'emploie couramment dans la fabrication de bouteilles et de pots ordinaires. Ce genre de fabrication se fait à la machine, si bien qu'un long intervalle de façonnage n'est pas nécessaire. Bien au contraire, un verre « sec » permettra d'augmenter la vitesse de fabrication. Par contre, un verre sodique « sec » n'est pas apprécié par les artisans; il demande de nombreux réchauffements et il se façonne moins facilement que le verre au plomb.

La potasse

La potasse — K_2CO_3 , carbonate de potassium — est, avec la soude, le fondant le plus souvent utilisé dans la fabrication du verre.

Son coefficient de dilatation est moins élevé que celui de la soude. Mais le verre de potasse résiste moins bien à l'humidité de l'air et se dévitrifie rapidement.

Son intervalle de façonnage est long, ce qui permet de le travailler longtemps sans avoir à le réchauffer; c'est une de ses qualités marquantes. De plus, il sonne bien, possède un beau brillant et permet d'obtenir de belles couleurs en utilisant des oxydes métalliques.

Dans l'Antiquité, la potasse se trouvait sous formes de cendres végétales, qui contenaient également d'autres éléments agissant comme stabilisants.

Ces cendres provenaient des fours chauffés au bois et toujours construits, à l'époque, dans les régions forestières.

Le verre de potasse de Bohême est célèbre. C'est un verre qui sonne bien et qui est connu sous le nom de « cristal de Bohême ». Mais il ne faut pas le confondre avec ce que nous appelons aujourd'hui cristal qui est, en fait, un verre au plomb.

Les Scandinaves, eux aussi, utilisèrent longtemps la cendre de bois pour la fabrication du verre. Quand les forêts commencèrent à s'épuiser, ils eurent recours à des cendres provenant des poêles et des cheminées, qu'ils se procuraient dans les villes.

Malheureusement, la qualité de ces cendres était plutôt médiocre.

De nos jours, on emploie un carbonate de potassium calciné et, selon le stabilisant utilisé, le pourcentage de potasse dans la fritte varie entre 5 et 15.

On utilise également :

Le bicarbonate de potassium — KHCO_3

Le nitrate de potassium — KNO_3

Le feldspath potassique — K_2O . Al_2O_3 . 6SiO_2 .

mais uniquement si l'aluminium entre dans la composition de la fritte.

Les stabilisants

Pour qu'un mélange composé d'un vitrifiant et d'un fondant demeure stable, il faut y ajouter un stabilisant. Autrefois, comme nous l'avons déjà vu, les stabilisants étaient fournis par les impuretés contenues dans la soude et dans la potasse. Ainsi, sans le savoir, on ajoutait au mélange de petites quantités d'oxyde de calcium. C'est seulement beaucoup plus tard qu'on devait comprendre l'importance de cet apport, quand on commença à produire artificiellement la soude et la potasse. Et l'on fut bien obligé alors d'utiliser la craie comme stabilisant.

La craie

La craie — CaCO_3 , carbonate de calcium — est un des stabilisants les plus fréquemment utilisés. C'est une matière première très répandue dans la nature; elle entre dans la plus grande partie des verres de fabrication courante. L'oxyde de calcium est un stabilisant puissant, qui rend le verre résistant à l'attaque des produits chimiques et à l'humidité. Toutefois, il est important que la teneur en fer de la craie employée soit aussi faible que possible.

La dolomie, qui est un carbonate double de calcium et de magnésium — $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ — peut également être utilisée. Le magnésium ainsi introduit dans la fritte, en plus de son effet stabilisant, augmentera sensiblement l'intervalle de façonnage de la pâte, et rendra le verre plus dur et moins sujet à la dévitrification.

Le carbonate de magnésium

Le carbonate de magnésium naturel — MgCO_3 — est utilisé dans les frites qui ne doivent pas contenir de chaux ou qui demandent une teneur en magnésie plus importante que celle que pourrait fournir la dolomie.

Carbonate de baryum

Le carbonate de baryum — BaCO_3 (souvent confondu avec la barytine, qui est un sulfate de baryum BaSO_4) — entre en petites quantités dans la composition de certaines frites. Il abaisse le point de fusion et augmente la réfraction du verre. Dans une fritte à forte teneur en plomb, il peut remplacer une partie de celui-ci, sans que la qualité du cristal en soit affectée. Le carbonate de baryum augmente également l'intervalle de façonnage de la pâte.

Le nitrate de baryum — $\text{Ba(NO}_3)_2$ — ne sert qu'à épurer le verre en fusion.

Tous les produits contenant du baryum sont toxiques et il est préférable de porter un masque pendant le mélange et pendant la fusion.

Le minium

Le minium — Pb_3O_4 , oxyde de plomb — est pour l'artisan le plus important de tous les stabilisants. Le cristal présente tous les avantages : il est facile à souffler, son point de fusion est bas et l'intervalle de façonnage est long, il sonne bien et clair, son pouvoir de réfraction est excellent et il se taille facilement. Tous les services taillés de grand luxe sont en cristal. L'inconvénient majeur du cristal est sans doute la toxicité du minium de plomb qui entre dans sa composition. Certaines précautions sont indispensables pendant le mélange et pendant la fusion de la fritte.

Le saturnisme, ou *coliques de plomb*, est une maladie grave. Il est cause de troubles de la circulation et du système nerveux, de constipation chronique et de nombreux autres accidents tous infiniment désagréables. Le plomb pénètre dans l'organisme par les voies respiratoires, par le système digestif et directement par la peau. Il faut toujours porter un masque pour manipuler du minium et ne pas oublier de bien se laver les mains une fois la manipulation terminée.



Flacon décoré d'un motif émaillé. Ulrika Vallien, Aafors.

Les silicates de plomb sont une combinaison de minium et de quartz. Ils contiennent ces deux éléments en proportions différentes selon les cas. Par exemple :

PbO. SiO₂, silicate simple

PbO. 1,5 SiO₂, silicate

PbO. 2 SiO₂, silicate double
etc.

Les silicates de plomb sont plus propres à travailler et surtout moins toxiques que le minium de plomb, parce qu'ils dégagent moins de vapeurs nocives pendant la fusion.

Bien que le minium de plomb soit avant tout utilisé comme stabilisant, son point de fusion très bas fait qu'il agit également comme fondant et permet d'obtenir un mélange stable à des températures

relativement peu élevées. Les particules de plomb sont les premières à fondre dans le four, entraînant du même coup les particules environnantes. La température de fusion est ainsi abaissée et l'on peut obtenir plus rapidement une pâte de verre bien claire et prête à l'usage.

En utilisant le minium de plomb, il est possible de diminuer les quantités de substances alcalines, mais en règle générale on note toujours certaines quantités de soude ou de potasse avec le plomb, comme par exemple dans le demi-cristal.

Oxyde de zinc

L'oxyde de zinc — ZnO, ou *blanc de zinc* ou *blanc de neige* — ne s'emploie que dans des frites destinées à la fabrication du verre pour matériel de laboratoire (thermomètres et autres) qui doit avant tout ne pas être attaqué par les produits chimiques et offrir de bonnes qualités thermiques. Le point de fusion est élevé et en rapport direct avec la quantité d'oxyde de zinc utilisée. Quant à l'artisan, il n'emploiera le blanc de zinc que dans des circonstances particulières (fabrication d'opaline, dont l'apparence laiteuse augmente avec la quantité de zinc) ou s'il désire obtenir des jaunes de cadmium ou des rouges séléniques.

Oxyde d'aluminium

L'oxyde d'aluminium — Al₂O₃, alumine — utilisé en très petites quantités, de l'ordre de 1 %, abaisse le point de fusion. En quantités plus importantes, le point de fusion serait plus élevé et la pâte de verre deviendrait moins malléable.

L'aluminium est généralement fourni par le feldspath — Na₂O ou encore K₂O. Al₂O₃. 6SiO₂ — qui agit à la fois comme fondant, comme stabilisant et comme vitrifiant.

Utilisé en quantités appropriées, l'aluminium augmente la solidité du verre et diminue les dangers de dévitrification.

Le feldspath, produit naturel, contient de nombreuses impuretés qui risquent de donner au verre une coloration regrettable. L'hydrate d'aluminium — Al(OH)₃ —, plus pur, entre dans la fabrication du verre blanc. On peut également se servir d'oxyde d'aluminium à l'état pur, mais alors on éprouvera quelques difficultés à le fondre avec les autres composants de la fritte.

Agents de clarification

Bien qu'il soit suffisant de mélanger un vitrifiant, un fondant et un stabilisant pour obtenir une pâte de verre, il n'est pas aussi facile d'éliminer complètement les bulles d'air qui se forment dans la pâte. La fusion est lente et les bulles d'air et de gaz qui proviennent des différents composants s'échappent difficilement. Il faudrait attendre trop longtemps et monter à de très hautes températures pour obtenir une pâte homogène, entièrement liquide et sans trace de bulles d'air.

C'est pourquoi on utilise divers agents de clarification comme le salpêtre, l'arsenic, l'antimoine et le sulfate de soude. En fondant, ces produits dégagent de grandes quantités d'oxygène et autres gaz, qui assurent le brassage de la pâte et entraînent les bulles d'air vers la surface.

Le salpêtre

Le salpêtre — KNO_3 , azotate de potassium — est l'agent de clarification le plus souvent employé dans la fabrication du cristal. En général, on le mélange avec de l'arsenic. A haute température, il dégage de l'oxygène et contribue au brassage de la masse pendant la fusion.

Le salpêtre a tendance à former des grumeaux en absorbant l'humidité environnante. Il faut donc le conserver dans des boîtes fermant hermétiquement.

Le salpêtre du Chili

Le salpêtre du Chili ou caliche — NaNO_3 , azotate de sodium — présente à peu près les mêmes qualités que le salpêtre. Cependant, il dégage de l'oxygène à une température plus basse, ce qui oblige à ne l'utiliser qu'avec de l'arsenic. En effet, l'arsenic emmagasine l'oxygène provenant du salpêtre et le restitue en fin de fusion.

A conserver dans des boîtes fermant hermétiquement.

En règle générale, tous les produits solubles dans l'eau auront tendance à absorber l'humidité ambiante et ils doivent être conservés dans des emballages hermétiques. Dans le cas contraire, il deviendrait impossible de procéder à des pesées précises. Quand il s'agit de petites quantités, de simples pots à confiture, munis de couvercles hermétiques, feront très bien l'affaire. Même chose pour les sels métalliques.

L'arsenic

L'arsenic — As_2O_3 , anhydride arsénieux ou vulgairement *arsenic blanc* — est un excellent clarifiant qui absorbe l'oxygène produit par les autres composants dès le début de la fusion, pour le libérer plus tard en grande quantité et à haute température quand la pâte est presque liquide, ce qui assure le meilleur brassage possible.

Une trop forte proportion d'arsenic risquant d'opaliser le cristal, on ne l'utilise le plus souvent qu'avec un autre agent de clarification, comme par exemple le salpêtre.

C'est un produit extrêmement toxique qui ne peut s'acheter qu'avec une autorisation spéciale et qu'il faut toujours garder sous clef.

L'antimoine

L'antimoine — Sb_2O_3 , oxyde naturel d'antimoine ou *sénarmontite* — n'est que fort peu utilisé comme agent de clarification. C'est un *poison violent*.

Le sulfate de soude

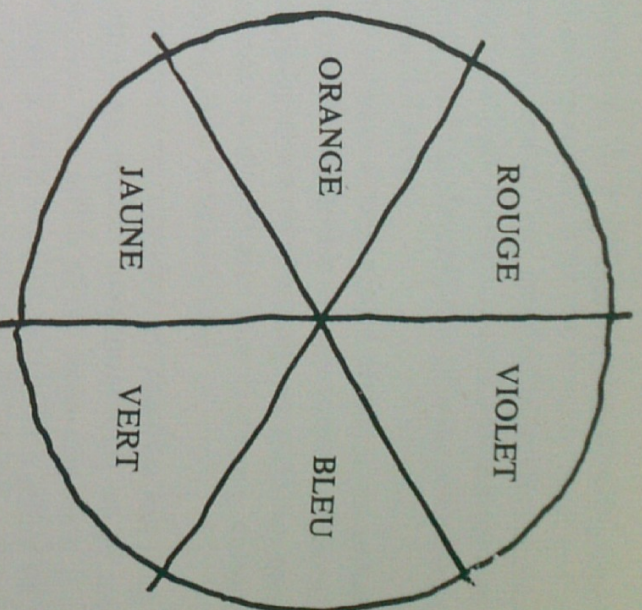
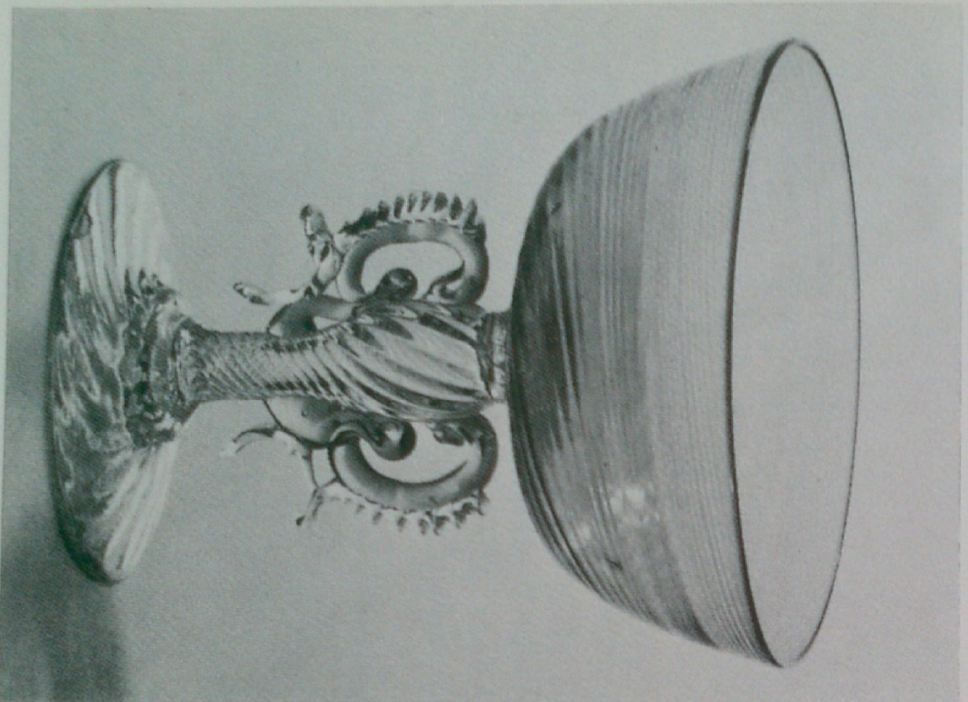
Le sulfate de sodium — Na_2SO_4 , sel de Glauber — n'est plus utilisé de nos jours que par la grande industrie.

Blanchiment

Étant donné que la plus grande partie des composants de la fritte sont des produits naturels tels que le sable ou la craie, il est inévitable d'introduire dans la pâte un certain nombre d'impuretés qui sont en général des combinaisons de fer, de chrome ou de manganèse.

Dans l'Antiquité, le verre était produit exclusivement à base de matières premières naturelles, si bien qu'il n'était jamais pur et présentait toujours des reflets verts, jaunes ou violets. Il fallut attendre que la technique permit d'épurer les matières premières pour produire un verre presque blanc. Les Romains, émerveillés par la transparence de ce verre nouveau, lui donnèrent le nom de *crystallum* par opposition au verre ordinaire nommé *vitrum*.

Verre vénitien du XVIII^e. Jambe et pied torsadés. Effet optique dans le pied et dans la coupe.



Couleurs du spectre disposées de façon à opposer les complémentaires.

Ce n'est qu'au XVII^e siècle, sous le règne de Venise, qu'on eut l'idée d'utiliser de petites quantités de manganèse pour neutraliser le jaune ou le vert de l'oxyde de fer.

Cette méthode est encore utilisée de nos jours. Elle consiste à neutraliser une couleur par une autre qui lui est complémentaire.

Neutralisation des couleurs

La théorie dite « des couleurs complémentaires » est à la base de ce procédé. Le croquis ci-contre, où nous avons placé les couleurs du spectre dans un cercle, montre les complémentaires :

rouge — vert
jaune — violet
bleu — orange

Elles sont opposées une à une et, si on les mélange par paire, elles donnent une lumière blanche, c'est-à-dire qu'elles se neutralisent l'une l'autre.

En pratique, cela signifie qu'une pâte de verre légèrement jaunâtre sera blanchie par une petite quantité de manganèse, laquelle a une coloration violette. De la même manière, une légère quantité d'oxyde de fer neutralisera les reflets violets d'une pâte à teneur en manganèse.

En réalité, le verre perd toujours un peu de sa transparence et demeure légèrement gris.

Cette neutralisation s'effectue généralement à l'aide de :

Bioxyde de manganèse — MnO_2 ou pyrolusite, appelé *savon des verriers* — ou de permanganate de potassium — $KMnO_4$ — quand il s'agit de blanchir une pâte contenant du fer.

Sélénite. Il existe divers sélénites qui tous donnent à la pâte de verre un reflet rose ; on les utilise donc pour des pâtes à reflets verts. Les plus couramment employés sont les sélénites de sodium et de baryum.

En ajoutant de l'arsenic à la fritte, on contrebalancera l'effet rose du sélénite, mais la réaction produite est alors d'ordre chimique. Voir plus loin.

Oxyde de nickel. Les oxydes de nickel — protoxyde NiO ou sesquioxyde Ni_2O_3 — s'utilisent de la même manière que le manganèse pour blanchir une pâte contenant du fer. Ils produisent des reflets violet-rouge qui neutralisent les reflets jaune-vert du fer. On ne les emploie que pour les pâtes au plomb.

L'oxyde de cobalt — protoxyde CoO — s'utilise en très petites quantités, de l'ordre de 0,1 - 0,3 gramme pour 100 kg de sable, pour neutraliser l'effet d'un jaune très pâle que peuvent produire parfois les différents oxydes — cités plus haut — employés pour neutraliser l'oxyde de fer.

Certains éléments rares et fort coûteux comme le *néodyme* (effet violet-rouge), le *praséodyme* (jaune-vert), la *molybénite*, sulfure naturel de molybdène (rouge-orange) ne sont employés que très rarement.

Blanchiment chimique

En plus de ces méthodes de neutralisation des couleurs, qui sont certainement les plus faciles à utiliser pour un artisan, il existe des procédés chimiques de blanchiment des pâtes de verre.

La plupart des impuretés susceptibles de teinter les pâtes de verre proviennent des oxydes de fer ou de manganèse, qui se trouvent dans le sable ou la craie ou dans les différentes argiles utilisées dans la fabrication des pots ou la construction du four.

L'oxyde de fer peut avoir des valences différentes, par exemple l'oxyde ferreux FeO et l'oxyde ferrique Fe_2O_3 . Le premier produira un effet bleu-vert, alors que le second ne donnera que 1/15 de l'effet du premier. Le problème sera donc de transformer la plus grande quantité possible de FeO en Fe_2O_3 . Ce qui est possible : d'une part en contrôlant

l'atmosphère du four, d'autre part en ajoutant à la fritte des éléments oxydants comme le salpêtre ou l'arsenic — ce dernier élément servant à la fois d'agent de clarification et d'agent de blanchiment. En fin de processus, on neutralise les effets du nouvel oxyde, Fe_2O_3 , par les méthodes indiquées plus haut.

Sculpture. Opaline noire irisée d'argent.
Joel Myers, U.S.A. 1974.

