ArcheoSciences
Revue d'archéométrie

37 | 2013
Varia

Le verre aventurine (« avventurina ») : son histoire, les recettes, les analyses, sa fabrication

Goldstone of Aventurine Glass: History, Recipes, Analyses and Manufacture

Cesare Moretti, Bernard Gratuze et Sandro Hreglich

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/archeosciences/4033>
DOI : 10.4000/archeosciences.4033
ISBN : 978-2-7535-2755-3
ISSN : 2104-3728

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 17 avril 2013
Pagination : 135-154
ISBN : 978-2-7535-2757-7
ISSN : 1960-1360

Référence électronique

Cesare Moretti, Bernard Gratuze et Sandro Hreglich, « Le verre aventurine (« avventurina ») : son histoire, les recettes, les analyses, sa fabrication », *ArcheoSciences* [En ligne], 37 | 2013, mis en ligne le 17 avril 2015, consulté le 31 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/4033> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeosciences.4033>

Le verre aventurine (« *avventurina* ») : son histoire, les recettes, les analyses, sa fabrication

Goldstone of Aventurine Glass: History, Recipes, Analyses and Manufacture

Cesare MORETTI (†), Bernard GRATUZE* et Sandro HREGGLICH**

Cesare Moretti est décédé le 25 avril 2012 à l'âge de 79 ans. Originaire de Murano, il était l'un des héritiers d'une dynastie de quatre générations de verriers. Chimiste de formation, il a été pendant de nombreuses années directeur technique d'une verrerie. Président du Comité Italien de l'Association Internationale de l'Histoire du Verre (AIHV) et membre de l'Association Française de l'Archéologie du Verre (AFAV), il a su communiquer, partager et transmettre sa passion pour l'histoire du verre et du monde des verriers à un grand nombre d'entre nous. Toujours à l'écoute, il a initié et accompagné de nombreuses recherches et a souvent été l'élément moteur de collaborations internationales. Parmi ses nombreuses publications techniques et historiques, on citera plus particulièrement les traductions et interprétations de différents recueils et cahiers de recettes de verriers vénitiens, datant du ^{xv}^e au ^{xix}^e siècle. Grâce à lui, ces documents inestimables ont ainsi été accessibles au public et à l'ensemble de la communauté des chercheurs qui travaillent sur ce sujet.

L'aventurine au cuivre est un verre de la famille des verres rouge au cuivre. Il est issu de procédés de fabrication compliqués dans lesquels le hasard prend une part importante.

Dans l'« *Arte Vetraria* » de A. Neri, ce type de verre n'est pas mentionné, alors qu'il l'est en 1626 dans l'inventaire des biens d'un orfèvre. Comme l'a signalé Luigi Zecchin, l'aventurine a donc probablement été découverte par hasard au début du ^{xvii}^e siècle dans une verrerie de Murano.

De nombreux écrits ont été consacrés à ce verre si particulier et aux acteurs de sa production. L'objectif de cet article est de confronter la partie documentée des recettes avec les analyses chimiques, dans le but d'une interprétation technique du procédé et des difficultés de sa mise en œuvre.

Goldstone or aventurine glass, which belongs to the large family of copper coloured red glasses, is obtained through a complicated manufacturing processes where fate takes an important part.

In the « Arte Vetraria » from A. Neri, this type of glass is not mentioned, while it is named in 1626 in the inventory of the possessions of a silversmith. As indicated by Luigi Zecchin, goldstone was probably discovered accidentally at the beginning of the 17th century in a Murano's glass factory. Several papers have already been dedicated to this particular glass and to the actors of its production.

The objective of this article is to confront ancient recipes and chemical analyses of this material, with the aim of proposing a technical interpretation of its making process and highlighting the difficulties of its production.

Mots-clés : Aventurine, verres rouges, coloration au cuivre, recettes, analyses chimiques, Murano, Venise, ^{xvii}^e-^{xix}^e siècles.

Keywords : Goldstone, Aventurine glass, copper red glasses, glass recipes, chemical analysis, Murano, Venice, 17th-19th centuries.

* Institut de Recherche sur les Archéomatériaux / Centre Ernest-Babelon, UMR 5060 CNRS, Université d'Orléans – 3 D rue de la Férrollerie, F 45071 Orléans cedex. (gratuze@cns-orleans.fr)

** Stazione Sperimentale del Vetro, Murano – Calle Briati, I 30141 Venezia. (shreglich@spevetro.it)

LE VERRE AVENTURINE AU CUIVRE

L'aventurine au cuivre est un type de verre rouge très singulier, dont la beauté provient des reflets métalliques des cristaux de cuivre, dispersés dans toute la masse. Elle est le fruit d'opérations très compliquées, dont la réussite était souvent liée au hasard.

Les recettes pour son obtention ont eu une diffusion très limitée, confidentielle, et restreinte au point d'être parfois tombées dans l'oubli au fil du temps (fig. 1).

Figure 1 : (Voir planche couleur) Bloc d'aventurine brute, Pietro Bigaglia, avant 1858, Musée du verre de Murano, inv. Classe VI, n. 36.

Figure 1: (See colour plate) Raw chunk of copper aventurine glass, Pietro Bigaglia, before 1858, Murano Glass Museum, inv. Classe VI, n. 36.

Dans l'« *Arte Vetraria* » de A. Neri, ce type de verre n'est pas mentionné : Luigi Zecchin en conclut que 1612, date de publication du livre, constitue un terminus post quem pour l'invention de cette pâte vitreuse.

L'aventurine est citée pour la première fois, quatorze ans plus tard, en 1626, dans l'inventaire des biens laissés par l'orfèvre D. Rimondo Rimondi : au milieu de diverses pierres dures, des boucles d'oreilles et des boutons sont mentionnés, non seulement en « *pasta venturina* » mais avec la précision « *pasta venturina in tocchi* » c'est-à-dire en morceaux.

Dans un autre inventaire de 1630, fait à la mort de D. Esdras Galatin, on trouve encore, avec diverses autres pierres naturelles et fausses perles, des pendentifs de « *piera venturina* » (Zecchin, 1956, 1981)¹.

1. Les deux réimprimés dans « *Recueil Darduin* » (Zecchin 1986, p. 42-50) et dans « *Vetro e Vetrai di Murano* », vol. II, (Zecchin 1989 p. 329-332 et 332-336).

Comme le souligne Luigi Zecchin dans l'un de ses articles (Zecchin, 1986, p. 46), l'aventurine a probablement été découverte par hasard au début du XVII^e siècle dans une verrerie de Murano, par le lent refroidissement aléatoire d'un verre rouge au cuivre. Le verrier qui l'observa pour la première fois fut poussé par un élan de curiosité au point de vouloir en tenter la reproduction. Il essaya et il réussit, en effet, à l'obtenir, mais difficilement, et l'appela aventurine (« *venturina* ») : non seulement parce que ce fut une trouvaille hasardeuse, mais parce que sa fabrication, incertaine et difficile, était une aventure (« *ventura* »).

Luigi Zecchin (Zecchin, 1987, 1989 et 1990) d'abord, et plus récemment Vettore Zaniol (Bova et al., 2004), Paolo Zecchin (2005) et Cristina Tonini (2008) ont parfaitement décrit la saga et l'univers des verriers vénitiens, qui durant trois siècles ont été les acteurs de la production de ce verre si particulier.

Ces écrits nous renvoient à un historique détaillé alors qu'ici, ce qui nous intéresse est l'analyse de la partie documentée des recettes. Nous désirons faire une interprétation technique du procédé et des difficultés de sa mise en œuvre.

LA COLORATION DU VERRE AVEC L'OXYDE DE CUIVRE

L'utilisation du cuivre, sous forme d'oxyde ou de métal pour colorer le verre, remonte aux origines de la technologie verrière. L'oxyde de cuivre sous forme oxydée (Cu⁺⁺) colore le verre en bleu (turquoise ou aigue-marine). Il n'y a pas de difficulté particulière pour l'obtention de cette couleur, que le verre soit transparent ou opaque. Elle s'obtient par l'introduction dans la recette d'oxyde cuivrique (CuO, oxyde de cuivre noir) à condition que l'opération ait lieu en atmosphère oxydante. Dans une atmosphère réductrice, par contre, le cuivre est réduit sous sa forme cuivreuse Cu⁺ (Cu₂O – cuprite ; Turner et Rooksby, 1959) ou sous sa forme métallique (Weyl, 1951, p. 420-435), qui précipitent dans le verre sous forme colloïdale ou microcristalline (Brun, 1991 ; Brun et al., 1991 ; Brun et Pernot, 1992)². À ce stade, la couleur passe au rouge. Les rouges transparents sont nommés « Rubis au cuivre » ou en vénitien, « *Rosechiero* », les opaques « Hématinone », « Sang de bœuf », « *Sealing wax* » ou en vénitien, « *Rosso coppo* ». Si on fait refroidir très lentement un verre rouge opaque contenant des cristaux de

2. Des mesures faites par Nathalie Brun (Thèse 1991) démontrent que dans les verres celtiques du IV^e-I^{er} siècle avant J.-C., la coloration rouge est due à des microcristaux de cuprite, alors que dans les verres gallo-romains produits à partir du IV^e siècle après J.-C., l'élément colorant est constitué de microcristaux de cuivre métallique.

cuivre métallique, on peut faire croître ces cristaux: c'est ce processus qui est à l'origine de la formation du verre aventurine, caractérisé par la présence d'étoiles brillantes, dans un ensemble de couleur rouge-brun-caramel. C'est de cet aspect que dérive le nom d'« étoilé » (« *stellaria* ») donné à ce verre dans certaines recettes.

Les recherches faites en 1870 par P. Ebell à Braunschweig sont fondamentales pour la compréhension des différences entre le verre rouge transparent, le rouge opaque et l'aventurine. Elles établissent que la précipitation du cuivre métallique est responsable de la couleur du verre rubis dans l'hématinone et dans l'aventurine, et attribuent les différences entre ces trois verres à la dimension et au nombre de particules présentes (Ebell, 1874; Weyl, 1951, p. 423).

Le mécanisme de formation des microcristaux de cuivre est particulièrement complexe, car la réduction de l'oxyde de cuivre en cuivre métallique se déroule lors de la phase finale de la fusion. Pour l'aventurine, suit ensuite une longue phase de refroidissement du verre jusqu'à température ambiante; c'est pendant cette phase que les microcristaux de cuivre grossissent et deviennent presque visibles à l'œil nu.

L'action réductrice sur l'oxyde de cuivre est due aux oxydes de fer, d'étain et d'antimoine, ou à d'autres éléments réducteurs spécifiques comme les battitures de fer, le tartre, la semoule de blé, le carbone, etc. Le fer, l'étain et l'antimoine réduisent le cuivre, (en fonction de leurs potentiels standards d'oxydo-réduction respectifs) et donc le transforment d'abord en protoxyde puis en métal. La réduction peut également être obtenue par la combustion de substances organiques dans le creuset.

L'aventurine entre donc dans la catégorie des verres rouges au cuivre, car l'agent colorant formé est bien le cuivre métallique. La différence réside dans les dimensions des cristaux colorants, qui sont à un niveau colloïdal dans les verres rouges, alors qu'ils se trouvent sous forme de cristaux, dispersés dans toute la masse, dans l'aventurine. En outre, les verres rouges n'ont pas besoin d'un lent refroidissement, le verre peut être prélevé directement après la fusion, et ne nécessite qu'un léger traitement thermique lors de la phase de travail pour révéler sa couleur.

On peut se questionner ici sur les difficultés rencontrées par les verriers pour produire le verre rouge par rapport à l'aventurine: est-ce que la partie la plus délicate de l'opération réside dans la phase de nucléation des cristaux de cuivre ou bien dans celle de leur croissance contrôlée? Si l'on se reporte aux périodes antiques et médiévales, on observe qu'à une même époque, plusieurs recettes de coloration faisant intervenir le cuivre métallique ou la cuprite ont été développées par les verriers, pour produire des verres allant du jaune orangé au rouge foncé (Nenna et Gratuze, 2009; Barber

et al., 2009; Brill et Cahill, 1988). La quantité de verre rouge utilisé varie aussi selon les aires géographiques et les périodes étudiées. C'est ainsi que si les verres rouge orangé à la cuprite restent peu fréquents dans le monde méditerranéen, c'est l'une des variétés de verre les plus fréquemment rencontrées au sein des productions Indo-pacifiques (Dussubieux *et al.*, 2010b). Il en est de même pour les perles rouges au cuivre métallique connues sous le nom de mutisalahs (Dubin, 2009; Dussubieux *et al.*, 2010a). La réduction du cuivre à l'état de cuivre métallique semble même se produire assez facilement, de façon accidentelle, pour des perles de verre bleu chauffées en milieu réducteur. On observe en effet fréquemment la présence de verre rouge produit de cette façon dans les crémations de l'Âge du Bronze (Gratuze, 2010), ou au sein de creusets issus d'opérations métallurgiques (Bayley, 2001). Comme le fait remarquer Brill (Brill et Cahill, 2008), l'oxydation du cuivre pendant la mise en forme du verre rouge, qui se traduit par la présence de zones sombres (verre oxydé de couleur verte) au sein de celui-ci, pouvait être problématique. Cependant, on peut raisonnablement penser que sa production était parfaitement maîtrisée et ne posait pas de problème technique particulier. Le présence de ce type de verre au sein d'un large corpus d'objets (perles, vaisselles, millefiori, tesselles, etc.) et la grande gamme de compositions rencontrée pour ce type de verre sont là pour l'attester. Le recyclage des verres rouges antiques dans les productions de perles mérovingiennes (Sablerolles *et al.*, 1997; Heck et Hoffmann, 2000) ainsi que le chemisage des verres rouges avec du verre incolore, que l'on rencontre dans les nombreux vitraux médiévaux de cette couleur, pourraient illustrer, là encore, la maîtrise de ce type de production et de leurs mises en oeuvre par les verriers. On peut donc conclure que la phase de réduction et de nucléation du cuivre ne posait pas de problème aux verriers antiques et médiévaux. Par contre, comme dans le cas de l'aventurine, la maîtrise de la nuance du rouge obtenu, liée à la taille et à la répartition des cristaux, devait être plus délicate et s'avérer plus aléatoire: la production de verres rouges transparents « *rosechiero* » en est un cas typique (Moretti et Toninato, 2011, p. 28). Comme le signale, aussi, Brill (Brill et Cahill, 1988) pour les verres à la cuprite: les petits cristaux confèrent au verre une teinte jaune tandis que les plus gros lui donnent une teinte rouge.

Contrairement aux verres rouges, il est par contre certain que le verre aventurine ne peut pas être travaillé en le prélevant dans le creuset avec les outils ordinaires du verrier; les cristaux de cuivre ne se forment en effet que pendant la longue phase de refroidissement du verre. L'observation au microscope d'un bloc d'aventurine montre, de plus, que les cristaux de cuivre formés au sein du verre ont tendance à se

Figure 2: (Voir planche couleur) Zone superficielle d'un bloc d'aventurine rouge, les cristaux de cuivre présents dans la zone proche de la surface ont été partiellement dissous (microscope x100).

Figure 2: (See colour plate) Surface of a red copper aventurine glass chunk: copper crystals present in that area are partially dissolved (microscope x100).

dissoudre dans la zone d'oxydation à la surface du creuset. La présence d'oxyde de cuivre (Cu^{++}) au sein de cette couche est mise en évidence par la couleur verte cette zone superficielle (fig. 2, Zone superficielle d'un bloc d'aventurine, les cristaux de cuivre présents dans la zone proche de la surface ont été partiellement dissous).

Si tout va bien, on obtient donc l'aventurine sous forme de blocs en brisant le creuset une fois qu'il a refroidi ; les morceaux sont ensuite découpés, meulés et utilisés pour fabriquer des pierres de bijouterie et d'autres objets (fig. 3, Tabatière faite avec des plaques meulées d'aventurine). On peut aussi l'utiliser à chaud en recouvrant d'aventurine broyée une paraison de cristal, et ainsi obtenir un décor de surface ou une couche superficielle d'aventurine (fig. 4, coupelle en verre blanc opaque décorée avec des applications en surface de grains de verre bleu, rouge et d'aventurine et fig. 5, petite amphore travaillée à la main).

Figure 3: (Voir planche couleur) Tabatière formée de plaques d'aventurine meulée, Murano XVIII^e siècle, Musée du verre de Murano, inv. Classe VI, n. 2403.

Figure 3: (See colour plate) Snuffbox made with cut aventurine glass plates, Murano 18th century, Murano Glass Museum, inv. Classe VI, n. 2403.

Figure 4: (Voir planche couleur) Coupelle en verre blanc opaque décorée avec des inserts de verre bleu, rouge et aventurine, Murano, *xvii^e-xviii^e siècle*, Musée du verre de Murano, inv. Classe VI, n. 1174.

Figure 4: (See colour plate) White opaque small glass dish decorated with blue, red and aventurine glasses, Murano, 17th-18th century, Murano Glass Museum, inv. Classe VI, n. 1174.

Figure 5: (Voir planche couleur) Petite amphore en aventurine avec des anses en « rigadin » décorées par des « morise » incolores, Murano, Salviati doc. Antonio, 1878 (?), Musée du verre de Murano, inv. Classe VI, n. 3458.

Figure 5: (See colour plate) Small amphora in aventurine glass with handles in "rigadin" decorated with colorless "morise", Murano, Salviati doc. Antonio, 1878 (?), Murano Glass Museum, inv. Classe VI, n. 3458.

Selon Luigi Zecchin (1986, p. 49), cette technique est à attribuer à Pietro Bigaglia de Murano (1786-1876) qui, après avoir redécouvert la façon de faire l'aventurine, « réussit aussi à la refondre pour la tirer en baguettes... » (fig. 6, cruche faite avec des baguettes contenant de l'aventurine), « plus tard la société Salviati put obtenir des objets soufflés d'une certaine valeur ».

Il existe une autre sorte d'aventurine, dans laquelle les cristaux de cuivre sont immergés dans une masse de couleur bleue; c'est une variante qui a été découverte à la fin du *xix^e siècle* (Bova *et al.*, 2004, p. 27; Zecchin, 2005, p. 106).

Figure 6: (Voir planche couleur) Cruche « à canne » en aventurine, avec poignée, Murano 1875, Collection Rossella Junck.

Figure 6: (See colour plate) Jar with handle made of glass stick of aventurine glass, Murano 1875, Rossella Junck's collection.

LES RECETTES D'AVENTURINE DANS LES RECUEILS DE RECETTES DE MURANO

Les recettes du XVII^e siècle : Darduin, Miotti et Brunoro

Les recueils de Darduin et Miotti

Les premières recettes du XVII^e siècle connues à ce jour se trouvent dans le recueil de recettes de Darduin (ms 17/04) de 1644 (recettes 149 et 150), et furent publiées et commentées pour la première fois par Luigi Zecchin en 1956 et en 1986.

Ce chercheur dissipe une série de malentendus entourant l'histoire de la production de ce type de verre si particulier ; peut-être faudrait-il rechercher les causes de l'interruption de la production d'aventurine (au début du XVIII^e siècle³ et au début du siècle suivant) dans la mort de Stefano Miotti (1754-1811), ainsi que dans le coût élevé de ce type de verre et dans sa difficulté d'élaboration.

La production d'aventurine redémarrera vers 1825, grâce à Pietro Bigaglia (Zecchin, 1986, p. 49).

Les études de Zecchin ont aussi analysé les rapports qui unirent Giovanni Darduin avec des membres de la famille Miotti. Elles lèvent l'équivoque selon laquelle les Miotti furent, à tort, identifiés dans un premier temps en tant qu'inventeurs du verre aventurine, car ils la citent dans leurs recettes datées de 1669 : il a été certifié en effet que le recueil de recettes de Vincenzo et Daniele Miotti (ms.17/05) dérive de celui de Darduin, dont il est en grande partie une copie⁴.

Darduin appelle l'aventurine « pâte étoilée ou aventurine » (recette 149) et avant d'en donner la recette, il fait une introduction en disant : « On ne peut jamais être sûr et certain que les ingrédients vont permettre de fabriquer une belle aventurine. C'est pour cette raison qu'on l'appelle venturina puisque son obtention dépend plutôt de la chance que de la science. Toutefois je pense, par expérience, que le moyen le plus sûr de la faire est celui qui est noté ci-dessous. » Suit

3. Dans un document de 1721, il est écrit que « Vincenzo Miotti aurait fait renaître en cette "Augusta Dominante" deux Arts déjà morts, celui de fabriquer la "Venturine", un matériau si prisé à l'heure actuelle en Europe, et celui de pétrir le verre mosaïqué, qui pourront protéger des préjudices du temps, la somptueuse Basilique du Vénérable San Marco ». Le document, conservé aux Archives d'Etat à Venise, (Inquisiteurs d'Etat b.819) est cité par L. Zecchin, (1986, p. 48, note 12).

4. A propos des liens entre les recueils Darduin et Miotti, Luigi Zecchin (1986, p. 45) dit : « Le recueil Darduin, à la mort de Giovanni en 1654, passe probablement à son fils Nicolò et donc, à la mort de ce dernier en 1655, à sa fille Angela qui en 1638 avait épousé Daniele Miotti, fils de Vincenzo (1579-1637). Ce Daniele (1618-1673) propriétaire d'une verrerie, fit une copie du manuscrit de son beau-père ; le manuscrit fut transcrit de nouveau en versions successives, comme celle que l'abbé Vincenzo Zanetti examina, nommée "Libro Segreti di Smalti e Paste et altri colori di me VM ricopiato in altro libro Maestro". »

donc l'indication de fondre en un creuset 150 livres de groisil de verre commun ou de déchets de découpe de vitres ; à cette matière fondue, tenue à bonne température, on ajoute peu à peu, en mélangeant souvent, 8 livres de plomb et d'étain calcinés, 8 livres d'oxyde de cuivre rouge et, pour finir, 2,5 livres de battitures de fer⁵. Il faut garder le four à la même température pendant 8 ou 10 heures, puis mélanger encore pour bien homogénéiser le verre ; fermer alors la porte du four, éteindre le feu et laisser refroidir naturellement le tout, sans plus y toucher.

Dans la seconde recette de Darduin, la n° 150, il fait une introduction dans laquelle il répète que le procédé de production de l'aventurine est extrêmement aléatoire et incertain : il cite une année durant laquelle près de 40 creusets de ce verre ont été fondus sans succès. Il prescrit ensuite de partir de la fusion de débris ou groisil (« *cottizzi* ») de verre rouge opaque dans laquelle on insère du plomb et de l'étain calcinés, de l'oxyde de cuivre rouge, des éclats de fer, et de l'acier brûlé (oxydes de fer) ; on mélange bien pour homogénéiser, on éteint le feu et on laisse refroidir lentement.

Le manuscrit de Brunoro

Dans le manuscrit de Brunoro (ms. 17/09), on trouve trois recettes pour l'aventurine ou pierre étoilée, la 107, la 130 et la 339 (Moretti *et al.*, 2004), qui sont étrangement classées dans les recettes de la fin du XVI^e siècle. Il y a deux recettes presque identiques, mis à part quelques petites subtilités dans le texte. Ce qui surprend, c'est la brièveté de ces trois recettes par rapport à celles de Darduin en particulier et, en général, par rapport à celles d'autres recueils de recettes postérieurs.

La recette 339 est celle qui ressemble le plus à celles de Darduin. Les matières premières sont les mêmes, mais dans des proportions différentes. Dans la 107, qui manque toutefois d'indications sur les quantités à utiliser, on part d'un verre teinté avec du manganèse, auquel on ajoute de l'oxyde de fer et du safre (« *zaffaro* », mélange d'oxyde de cobalt et de sable de silice) en parties égales, sans ajouter l'oxyde de cuivre, qui est indispensable : ceci doit être une erreur du copiste. Mais ce qui est particulièrement intéressant dans cette recette, même incomplète, c'est la phrase finale où il est dit que quand le verre finit de bouillir, on enlève du four le petit creuset contenant le verre fondu et on le laisse refroidir lentement sur la « *era* », c'est-à-dire

5. L'écaille « *scaglia* » ou « *scagia* », comme l'écrit Boerio, c'est ce « qui tombe des métaux chauffés au rouge quand ils sont frappés au marteau » ; nous verrons plus tard que, à Murano, on utilisait les battitures, dénommées « marogna », provenant de Maniago où des « batafiers » battaient l'acier pour fabriquer des lames de couteaux, pour cette même fonction d'agent réducteur.

Référence	Année	Auteur	Titre du recueil	Section	Page-folio	Numéro de la recette	Nom de la recette
1704	1644	Giovanni Darduin	Copie de tutti i segreti di smalti		36	149	Per far la pasta stellata ovvero venturina
1704	1644	Giovanni Darduin			36	150	Per stellata ovvero venturina
1708	1669	Vinc. e Daniele Motti	Libro secreti di smalti e paste e vini colori di me VM. ricopiato in altro libro Massino		43	144	Per far la pasta stellata ovvero venturina
1708	1669	Vinc. e Daniele Motti			43a	145	Per stellata ovvero venturina
1709	1645	Gasparo Brunoro	"L'aus Deo i di 13 gennaio 1645 in Genova Libro de segreti cavato da molti mastri di cristali et da altri homini literati. Spelimentato da Gasparo Brunoro detto 3 Corone da Murano di Venezia Maestro di Cristali e di colori famosissimi da lui molto lodato"		26	107	Per far la pasta venturina ovver paste con alcuni di loro
1709	1645	Gasparo Brunoro			31a	130	A far la venturina
1709	1645	Gasparo Brunoro			72a	239	A far pasta stellata
1801	1711-1815	Andrea P. Bartoli	[Recette varie e secrets Briati]				Venturina
1801	1711-1815	Andrea P. Bartoli	[Recette varie e secrets Briati]				Venturina
1819		Anonyme	Composizioni avventurina, paste varie	libretto n. 11	1	1	Partita vergine per far stellata cioè senza cottura d'altra stellata
1826-II	1772-1780	Anonyme	(Copie de recettes du XVII et XVIIIème siècle)- Partie H Pag.104-114 "Mem. di Dom.Fontanella" "Secreti Briati"	Secreti di Giuseppe Briati, ricevuti da Z. Antonio Vettore per smalti	108	a	Per far venturina (1)
1826-II	1772-1780	Anonyme	(Copie de recettes du XVII et XVIIIème siècle)- Partie H Pag.104-114 "Mem. di Dom.Fontanella" "Secreti Briati"	Secreti di Giuseppe Briati, ricevuti da Z. Antonio Vettore per smalti	108	b	Per far venturina (2)
1826-L	1767-1780	Anonyme	(Copie de recettes du XVII et XVIIIème siècle)- Partie L Pag. 115-122		121		Per far la venturina bella di Venezia
1826	1759-1774	Anonyme	Si cavi detto smalto il 12 novembre 1759				Recette per far venturina A, B, C, D
1810	1847	Anonyme	Ricettario anonimo del 1847		97	84	Partita avventurina con pedefato alla fissa della ditta P. Bartolini di Murano
1810		Anonyme	Ricettario anonimo del 1847		98	85	Partita avventurina con pedefato alla fissa della ditta P. Bartolini di Murano
1810		Anonyme	Ricettario anonimo del 1847		99	86	Metodo per ridurre l'avventurina se dopo levata ruoli calca
1810		Anonyme	Ricettario anonimo del 1847		100	87	Partita Avventurina della ditta S. Motti di Murano
1913	1863	DOM Y	Li 15ao marzo 1863. Composizione conosciuta				Partita venturina
1931	1859	Lorenzo Radi	Registro delle partite avventurina che si va fabbricando con questo giorno 19 settembre 1859	L'aus Deo al Nomini Virginia Mariae. Prima colla avventurina			L'aus Deo al Nomini Virginia Mariae. Prima colla avventurina
1931		Lorenzo Radi			simple papier		Li 26 febbraio 1844 altra prova di venturina
1931		Lorenzo Radi			simple papier		Li 10 febbraio 1848
1931		Lorenzo Radi					Prima colla avventurina posta fuoco alla fiamma il giorno 19 settembre 1859
1931		Lorenzo Radi					Lunedì 10 ottobre 1864 ho posto fuoco nella fiamma da un vaso di onice 20
1940	XIX	DOM Y	Preparazioni per far la porpora		43	1	Venturina fatta da DOM Y
1940	XIX	DOM Y	Preparazioni per far la porpora		45	2	Venturina di DOM Y

Tableau 1 : Recueils de verriers vénitiennes contenant les recettes d'aventurine.

Table 1: Venetian glassworkers manuscripts with aventurine glass recipes.

au dessus de la zone du four utilisée pour la re-cuisson des verres ; mais, autrement, pour avoir un résultat plus sûr, il vaut mieux laisser le petit creuset à l'intérieur du four, et à la fin de l'ébullition éteindre le four en laissant refroidir ainsi le tout lentement. Cette méthode est certainement la technique la plus usitée.

Nous avons retrouvé une vingtaine de recettes d'aventurine en consultant les nombreux recueils de recettes ou cahiers de verrerie⁶ découverts depuis quelques dizaines d'années dans des archives privées (Moretti 1982, Toninato et Moretti 1992) dans des circonstances parfois fortuites. En effet, en plus des trois recueils déjà cités (Darduin, Miotti et Brunoro), on trouve aussi des recettes d'aventurine dans une quinzaine d'autres livres de recettes des deux siècles suivants (voir la liste dans le tableau 1).

6. Les copies d'une grande partie des recueils manuscrits de recettes sont déposées à la Bibliothèque de la Stazione Sperimentale del vetro à Murano.

Les recettes des XVIII^e et XIX^e siècles

Après ces recettes du XVII^e siècle, nous en avons trouvé quelques-unes dans des manuscrits anonymes datés entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle. Il y en a aussi dans quelques recueils de recettes importants du XIX^e siècle, comme celui de 1847, anonyme (ms19/10) et publié en 2001 (Moretti et Toninato, 2001). On peut conclure en mentionnant les recettes de Lorenzo Radi (ms 19/31), habile verrier de la première moitié du XIX^e siècle (Moretti, 2008 ; Zecchin, 2009).

Les différents ingrédients employés (colorants et réducteurs) et leurs modes d'introduction

Nous avons effectué une synthèse des ingrédients et de leurs proportions à partir de la description de toutes ces recettes (tableau 2, recettes de l'aventurine), de manière à pouvoir les comparer.

Référence du recueil	Darduin cm 1704	Darduin cm 1704	Brunoro cm	Ré Anon. cm	A. Barbini cm 1801	A. Barbini cm 1801	A. Barbini cm 1801	An. cm 1826H	An. cm 1826H	Rec. 1847 cm 1910 P. Beroloni XIX	Rec. 1847 cm 1910 Beroloni XIX	Rec. 1847 cm 1910 S. Mossi XIX	Rec. DDM cm 1913 DDM p. 39-50	DDM 1	DDM 2	Giov. Barb. 1	Lor. Radi cm 1931	Lor. Radi cm 1931	Lor. Radi cm 1931	Frequences
Recette attribuée à	XVII	XVII	XVII	XVIII	XVIII-XIX	XVIII-XIX	XVIII-XIX	1	2	1	84	85	163	1844	1846	1846	1846	1846	1846	1846
Numéro de la recette	149	150	130 e 339	1	37	37	37	1	2	1	84	85	163	1844	1846	1846	1846	1846	1846	1846
Grosil d'aventurine non réussi																				
Grosil rouge		100			30.0	30.0	30.0													
Grosil ordinaire					96.0	96.0	96.0													
Verre commun-grosil					125.0	125.0	125.0													
Tot débris	150.0	100.0	12.0	200.0	250.0	250.0	250.0	0.0	700.0	12.0	560.0	114.0	414.0	400.0	400.0	150.0	34.0	52.0	225.6	21
Cuivre rouge	8.0	1.5	0.5	10.3	25.0	20.0	21.0	21.0	20.0	0.7	14.3	20.8	14.5	11.0	14.5	60.0	8.0	0.6	2.8	12.0
PbSn calcinés	8.0	1.0	1.0	5.0	25.0	25.0	25.0	13.3	2.3	0.7	1.8	2.3	7.0	11.5	20.2	20.0	8.0	0.3	2.8	3.8
Bastitures (marogna)					0.2	0.2	0.2	9.0	9.0	12.6	18.3	18.7	11.5	1.0	15.0	2.5				
Oxyde de fer					0.3	1.0	1.0		6.0	7.7	9.8	7.0	1.5							
Acier brûlé					0.0	0.0	0.0	3.0	3.0											
(oxydes de fer/azal brusado)	2.7	0.7	0.3	3.3																
Bastitures Acier/fer					10.0	10.0	10.0	1.5	4.0											
Nitrate de Sodium																				
Manganèse																				
Semoule					0.1	0.0	1.2	x	2.0											
somme mat.	18.7	5.2	2.1	21.7	27.0	31.3	65.0	47.8	32.0	1.7	36.3	51.0	41.2	31.0	36.0	115.3	21.2	2.3	7.1	18.8
total	168.7	105.2	14.1	221.7	277.0	157.3	190.0		732.0	13.7	596.3	165.0	821.2	445.0	436.0	1115.3	171.2	36.3	99.1	244.4
Résumé																				
Débris fondus	150.0	100.0	12.0	200.0	250.0	250.0	250.0	0.0	700.0	12.0	560.0	114.0	414.0	400.0	400.0	150.0	34.0	52.0	225.6	264.0
Cuivre rouge	8.0	1.5	0.5	10.3	25.0	20.0	21.0	21.0	20.0	0.7	14.3	20.8	14.5	11.0	14.5	60.0	8.0	0.6	2.8	12.0
PbSn calcinés	8.0	1.0	1.0	5.0	25.0	25.0	25.0	13.3	2.3	0.7	1.8	2.3	7.0	11.5	20.2	20.0	8.0	0.3	2.8	3.8
Bastitures et débris					0.2	0.2	0.2	9.0	9.0	12.6	18.3	18.7	11.5	1.0	15.0	2.5				
débris de fer et d'acier	2.7	0.7	0.3	3.3	1.0	10.2	16.0	10.5	4.0	0.0	12.6	18.3	19.2	11.5	20.2	20.0	2.7	0.7	0.8	0.1
Oxydes de fer	0.0	2.0	0.3	3.6	1.0	0.0	3.0	3.0	6.0	0.3	7.7	9.8	7.5	1.5	1.0	20.0	2.5	0.7	3.0	4.5
Semoule					0.1	1.2	1.2	x	x											
Pour 100 parties de verre																				
Cuivre rouge	5.3	1.5	0.5	5.1	10.0	15.9	16.8		2.9	5.6	2.6	18.2	1.9	2.7	3.6	6.0	5.3	1.6	5.4	5.9
PbSn calcinés	5.3	1.0	1.0	2.5		20.0	20.0		5.6	5.6	0.3	2.0	1.7			5.3	1.0	5.4	1.7	4.1
Bastitures et débris					0.4	8.1	12.8		0.6	0.0	2.2	16.0	2.5	2.8	5.0	2.0	1.8	2.1	1.5	0.0
de fer et d'acier	1.8	0.7	0.3	1.4	0.4	0.0	2.4		0.9	2.8	1.4	8.6	1.0	0.4	0.3	2.0	1.7	2.0	1.3	1.7
Oxydes de fer	0.0	2.0	0.3	1.8	0.4	0.0	2.4		0.9	2.8	1.4	8.6	1.0	0.4	0.3	2.0	1.7	2.0	1.3	1.7
Semoule					0.1	0.9	0.9									0.1	0.03			0.3

Tableau 2 : Les recettes de verre aventurine et leurs ingrédients.

Table 2: Aventurine glass recipes and their ingredients.

L'opération initiale pour la préparation de l'aventurine est la fusion de débris de verre, nommés sous le terme générique de « *cotizzi comuni* » (verre commun obtenu par fusion d'une fritte élaborée avec des cendres en blocs ou de la soude), c'est-à-dire des débris de verre commun, venant de rebuts de travail secondaire, comme les brisures de vitres (« *gasegadure* »). Dans certains cas, ces débris, que l'on suppose en verre non coloré, sont refondus, mélangés aux déchets de verre rouge au cuivre, ou même à de l'aventurine « ratée » lors de précédentes tentatives de production (« *corpo avventurina non riuscita* »).

Ensuite, les colorants et les réducteurs sont ajoutés au verre fondu, par petites doses. Ces mélanges de matériaux se présentent sous forme de petits sachets (appelés papillotes, « *carte* », ou cornets, « *scartocci* », dans les manuscrits). Ils sont mis à l'intérieur du four avec un outil (une petite pelle métallique à long manche) appelé en vénitien « *spignauro* », puis immergés dans la masse fondue, et ensuite remués de façon adéquate afin d'homogénéiser le tout.

L'opération d'insertion des papillotes se répète plusieurs fois (jusqu'à sept à huit parfois) à différents intervalles de temps, et leur contenu change à chaque fois. Les critères concernant le choix des matériaux utilisés et les intervalles de temps sont cependant absents des comptes-rendus de fournées. Bien évidemment, le secret de production de l'aventurine réside dans la connaissance de ces détails.

L'oxyde fondamental de la recette est l'oxyde de cuivre rouge, Cu_2O , qui est habituellement ajouté et mélangé aux ingrédients ayant une fonction réductrice. Parmi ces derniers, figurent les fragments ou battitures de fer (« *marogna* », en jargon de Murano) ainsi que l'oxyde de fer (« *croco* » ou « *azzal brusado* » – acier brûlé) et la semoule (apport de matière organique sous forme de céréales écrasées). On ajoute aussi presque toujours (14 fois sur 21) du plomb et de l'étain calcinés : le plomb facilite la dissolution du cuivre et l'étain a une fonction réductrice sur le cuivre, ce qui est fondamental pour le développement de la couleur rouge, comme le souligne largement W.A. Weyl (1951, p. 427). Dans deux cas, pour des raisons obscures, du dioxyde de manganèse est ajouté (ou alors on prend au départ du verre coloré par le manganèse, voir recette 130 de Brunoro). Une seule fois, du safre, c'est-à-dire de l'oxyde de cobalt, est employé.

Le verre aventurine à fond noir (Zecchin, 2005, p. 104) est aussi cité : le manganèse, combiné à l'oxyde de fer, peut avoir la fonction de colorer en noir la matrice de verre dans laquelle sont dispersés les cristaux de cuivre.

Le cobalt, quant à lui, servirait à donner la coloration bleue à la matrice de verre, mais l'ajout du safre dans la recette de Brunoro anticiperait de plus de cent ans l'invention

de l'aventurine à fond bleu foncé, qui est attribuée à Vincenzo Moretti, vers 1885 (Zecchin, 2005, p. 106).

À partir des vingt-et-une recettes reportées dans le tableau 2, on peut dire que pour 100 parts en poids de verre fondu, on ajoute en moyenne 5,9 parts d'oxyde de cuivre rouge, 4,1 parts de plomb et d'étain calcinés (utilisé dans 14 cas), 3,1 parts de battitures ou d'écailles d'acier, 1,6 part d'oxyde de fer et, dans les six cas où elle est utilisée, 0,3 part de semoule de céréales. Il est intéressant de noter aussi que la quantité fondue varie, dans les différentes recettes, de quelques livres à 1 000 livres (c'est-à-dire 301 kg, si ce sont des livres vénitiennes légères, 477 kg si ce sont des livres grosses) (ms. 19/40, ric. 2).

Les notes, insérées dans les recettes, à la fin de l'explication de la technique de production, sont intéressantes, même si elles sont synthétiques.

Par exemple, la fréquence des ajouts des papillotes varie du terme générique « peu à peu » (ms. 17/04, Darduin) à « toutes les douze minutes » (ms. 19/13, DDM⁷), jusqu'à « toutes les demi-heures » (ms. 19/40, ric. 1), et dans d'autres cas, laisse passer des heures entre deux ajouts, jusqu'à nécessiter 54 heures pour ajouter tous les ingrédients (ms. 19/10 – Recueil de recettes de 1847) ; après chaque ajout, il est recommandé de bien mélanger le verre fondu pour l'homogénéiser.

Une annotation est importante dans le recueil de recettes de la fin du XVIII^e siècle (ms. 18/26-H, rec. 2, Segreti Briati) : il y est observé que quand le verre vient juste d'être fondu, avant les ajouts, le « *filo della provola era verde* » ce qui signifie que le prélèvement effectué avec un fer mince ou « *speo* » est de couleur verte, soit la couleur donnée par l'oxyde de cuivre (différente de celle donnée par l'oxyde de fer) dans un environnement oxydant. Le but des différents traitements est donc bien de donner au verre une couleur rouge comme le dit Brunoro (ms. 17/09) « *prima si fa il rosso in corpo* » (d'abord, on fait le verre rouge). Dans un autre recueil de recettes (ms. 18/26-L), il est répété « *che prima sarà bel rosso in corpo* » (que d'abord il sera bien rouge opaque). Mais il faut faire attention car le rouge doit être d'une tonalité précise : en effet, dans un recueil de recettes du XVIII^e siècle, il est dit : « *Se ti paresse che il rosso non fosse a tuo modo* » (s'il te semble que le rouge ne te convient pas) (ms. 18/19). Il est également précisé dans celui d'Andrea Barbini (ms. 18/01) que « *la provola... non sia troppo rossa* » qui signifierait peut-être que la couleur ne doit pas être trop vive mais légèrement bilieuse (ce qui serait la couleur typique du rouge opaque), précision répétée pratiquement telle quelle dans un autre

7. Dans le manuscrit 19/13, une des recettes est citée sous l'appellation « recette de DDM ». Ces trois lettres sont probablement les initiales d'un verrier de Murano que nous n'avons pu identifier.

recueil (ms. 18/26-H, Secrets de Giuseppe Briati recueillis par Z. Gio. Antonio Vistosio). Cependant, aucune instruction n'est donnée dans les recettes sur ce qu'il fallait faire au cas où le rouge obtenu n'était pas de la tonalité recherchée.

Arrêt du four et refroidissement contrôlé du verre

L'autre point fondamental pour la réussite de l'opération est la maîtrise du moment où il faut arrêter les ajouts de réducteurs, et de celui où il faut commencer le refroidissement du four et de son contenu. Brunoro (ms. 17/09, rec. 107) préconise simplement d'éteindre le feu « *quando vedrai che haverà levato il boglio* » (quand on verra que le verre a fini de bouillir) c'est-à-dire quand les réactions seront terminées entre le verre et les réducteurs ajoutés. Il s'agit là d'une affirmation très vague, à relier à cette autre, fondamentale, de se réguler « *secondo che si conoscerà con la pratica* » c'est-à-dire selon ce qu'on en saura par expérience (ms. 19/40, rec. 2).

Dans le recueil de recettes plus détaillé de 1847 (ms. 19/10), on rappelle que : « *Prima di imbocar la fornace si levò la provola per conoscere il colore del corpo* » (rec. 87), c'est-à-dire que, avant de commencer le refroidissement, il faut faire un prélèvement sur la surface de la matière fondue pour en contrôler la couleur, c'est-à-dire l'état de réduction. Dans ce cas, il n'est pas clairement dit comment doit être le verre à la fin des opérations.

Lorenzo Radi fait une remarque intéressante (ms. 19/31 rec. 4) : « *Prima di chiudere [il fuoco] la prova era chiara, dopo un'ora che ho chiuso, la prova era in corpo rosso* » c'est-à-dire qu'avant d'éteindre le feu, l'essai était clair, et qu'une heure après avoir éteint, l'essai était sous forme de rouge opaque. Donc Radi éteindrait le four avant même que le verre soit rouge, mais lui-même ajoute qu'il aurait peut-être dû maintenir le verre chaud pendant deux heures encore, afin de le mélanger ; donc le résultat n'a pas dû être satisfaisant, même si l'aventurine obtenue était « *tutto stelle* » c'est-à-dire remplie de cristaux de cuivre, peut-être trop petits.

Une autre recette (n.5, datée de 1864) du même Radi, relate qu'après les ajouts et un fort réchauffement pendant deux heures, une boule de verre soufflé (« *suppion* »), était rouge opaque ; les fils des prélèvements faits avec le « *speo* », qui étaient initialement de couleur jaune verdâtre, deviennent rouges même dans leur partie la plus fine.

Dans la recette n° 1 de DDM déjà citée (ms. 19/40, rec. 1), une note révèle peut-être, mais de façon un peu ambiguë (« pour faire ensuite les petites étoiles et le rouge ») que le verre devrait contenir les premières petites étoiles, c'est-à-dire les premiers cristaux de cuivre, à la fin des ajouts.

Les « éprouvettes » de Vincenzo Moretti : témoins d'un refroidissement réussi

Au musée du Verre de Murano, nous avons pu examiner les échantillons d'aventurine dont parle Vettore Zaniol dans son article (Bova et al., 2004, p. 27). Il se réfère, ici, au don fait au musée en 1909 par le directeur de la Compagnie Venezia-Murano : des prélèvements effectués (sous forme de « *speada* » selon le jargon de Murano) lors d'une production de 500 kg d'aventurine, réalisée avec succès en 1892, par le technicien de la Compagnie Vincenzo Moretti. Ils nous permettent de connaître l'état du verre à la fin des ajouts et donc pendant les premières phases du refroidissement.

À l'examen de ces échantillons⁸ (il n'en reste que 4 car il manque le premier et le dernier – fig. 7), nous constatons que le verre a un aspect rouge brique opaque dans le second échantillon prélevé, en surface, 18 heures après l'extinction du feu. Le troisième échantillon prélevé, après 4 autres heures (22 heures au total) a également cet aspect, alors que de nombreux petits cristaux de cuivre métalliques sont présents dans le quatrième prélèvement, fait 3 heures plus tard (25 heures au total), ainsi que dans le cinquième, effectué après 4 heures supplémentaires (soient 29 heures au total).

Figure 7 : (Voir planche couleur) Échantillons d'aventurine prélevés dans le même creuset après l'arrêt du four, Vincenzo Moretti, 1892.
Figure 7: (See colour plate) Samples of aventurin glass taken in the same melting pot after the end of the heating, Vincenzo Moretti, 1892.

Il a été possible de faire des prélèvements sur ces 4 échantillons et de les analyser ; l'analyse globale moyenne est reportée dans le tableau 5. Il s'agit d'un verre sodo-calcique qui contient 1,9 % d'oxyde de potassium, 2,6 % d'oxyde de plomb, 3,4 % d'oxyde de fer (exprimé en Fe_2O_3), 4,3 %

8. Les échantillons sont rassemblés sur un carton, en partie abîmé, sur lequel est écrit : « *Sei Proveni delle fasi per le quali passò la pasta vitrea Avventurina in un crogiolo nel giorno 12/2/1892 e seguente in Fabbrica della Compagnia Venezia Murano Tecnico Vzo Moretti – N1) Provino al momento della chiusura del crogiolo, N2) 18 ore dopo, N3) 4 ore dopo le precedenti, N4) altre 3 ore dopo, N5) 4 ore dopo, N6)...* »

d'oxyde de cuivre (cuivre total exprimé en oxyde $[\text{CuO}]$ = cuivre cristallisé + cuivre dissout) et de faibles pourcentages d'oxyde d'étain (0,36 %) et d'oxyde d'arsenic (0,47 %).

Il est intéressant de noter qu'à plusieurs reprises, les recettes insistent sur la façon de procéder à l'arrêt du four et donc au début du refroidissement du verre: « *Si dà ultima polvere e poi si stropia la castra e bocha col copergio in meso buco* » (ms. 18/01, Segreti Briati), c'est-à-dire qu'on ajoute la dernière poudre, puis on arrête le feu et on bouche les trous d'accès du four avec un couvercle. Elle est aussi explicitée d'une manière plus détaillée dans une autre recette du même manuscrit: « *Imboca la fornasa tutte le boche e castra, lasciar solamente un piccolo buco in meso con poco di respiro* » c'est-à-dire qu'il faut boucher avec des couvercles tous les trous d'accès à l'intérieur du four y compris l'entrée de l'avant four (où l'on introduit le bois) – et ne laisser qu'un seul petit trou pour en observer l'intérieur.

Succès ou échec? Deux phases clés à contrôler: ajouts et refroidissement

L'opération, au total, demandait plus d'une semaine. Le recueil de recettes de 1847 précise que 54 heures avaient été nécessaires pour la fusion et les ajouts, et 5 jours pour le refroidissement, soit un total de 7 jours. Le résultat est décrit avec cette phrase enthousiaste: « *Dopo sette giorni si cavò il padellato che riuscì di buon colore, con stelle fisse e grosse, che parevano tacche d'oro* », c'est-à-dire qu'après sept jours on a sorti le creuset et le verre était de la bonne couleur, avec de nombreux gros cristaux qui ressemblaient à des étoiles dorées, répartis uniformément. Et l'exclamation finale: « *Laudato sempre e ringraziato Dio, riuscita bellissima sì di stella come di colorito* » (ms. 18/36) signifie: « Que Dieu en soit toujours loué et remercié, très belle réussite tant pour les étoiles que pour la couleur. »

Mais l'opération finit souvent par un échec inexplicable et amer, comme on le trouve, toujours dans le même ms. 18/36: « *Non riuscì per quello mostrava aver troppo corpo* », c'est-à-dire que cela n'a pas réussi car le verre était probablement trop opaque. Une autre recette constate: « *Avendo cavato prove bellissime eppur mi falò* » c'est-à-dire qu'il y a eu échec alors que les différents prélèvements faits avant l'arrêt du four étaient encourageants.

Dans une troisième recette, il est écrit: « *Non riuscì neppure una oncia per esser stata la stella troppo minutissima. Fiat voluntas Tua* » c'est-à-dire: « Pas une once n'a été réussie car les étoiles étaient trop minuscules. Que Ta volonté soit faite. » On voit dans ce cas que les cristaux de cuivre ne se sont pas suffisamment développés.

Pour conclure, on peut donc dire que le procédé de production de l'aventurine consiste en l'ajout de protoxyde de cuivre rouge et d'éventuels autres colorants (oxydes de fer et, parfois, oxydes de manganèse ou de cobalt), d'oxydes de plomb et d'étain et de réducteurs (acier brûlé, c'est-à-dire oxydes de fer, éclats de fer partiellement oxydé, semoule, etc.) directement à l'intérieur du creuset dans le verre fondu, jusqu'à ce que l'oxyde de cuivre arrive au point idéal de réduction. Le repérage de cet état constitue la première difficulté majeure pour obtenir un résultat satisfaisant.

À ce moment-là, on éteint le four et on le laisse refroidir naturellement pendant plusieurs jours. L'absence d'instruments de contrôle de la température durant les phases d'ajout des éléments réducteurs, et surtout pendant la phase de refroidissement du four, est un facteur déterminant sur l'incertitude du résultat: une fois la flamme éteinte, la température du four était en chute libre et sa vitesse de refroidissement dépendait de son isolation thermique, ce qui ne pouvait qu'augmenter l'incertitude du procédé.

C'est lors de cette longue phase de lent refroidissement que les microcristaux de cuivre grossissent jusqu'à former les cristaux de grande taille caractéristiques de l'aventurine.

On peut situer le moment propice pour l'extinction du four grâce à quelques allusions rencontrées dans certaines recettes, et à un raisonnement logique: le moment où l'on peut éteindre le four pour laisser refroidir lentement le verre devrait être celui où les premiers microcristaux de cuivre se sont développés et colorent le verre en rouge opaque. Ces cristaux grossiront ensuite pendant la phase de lent refroidissement.

La nucléation de la cuprite dans les verres rouges: analogies avec la production de l'aventurine?

Dans un article publié en 1981, les chercheurs égyptiens A.A. Ahmed et G.M. Ashour (1981, p. 24-33) décrivent une recherche expérimentale sur un type différent d'aventurine. Celui-ci contient des cristaux dendritiques de protoxyde de cuivre (la cuprite) au lieu des cristaux de cuivre présents dans celle des Vénitiens (cette aventurine ne semble pas avoir eu de développements commerciaux). En partant d'une composition totalement différente de celle utilisée par les Vénitiens – leur composition est en effet très riche en oxyde de plomb (19,06 % PbO) et en oxyde de cuivre (14,64 % Cu_2O), mais avec une teneur basse en silice (48,78 % SiO_2) –, fondue à 1 400 °C, ils ont observé l'évolution de la formation des cristaux de cuprite au sein de la masse du verre, à la suite de divers traitements thermiques: diminution et augmentation successives de la température.

Cette étude nous semble très intéressante (même si elle ne fait pas directement référence à l'aventurine vénitienne), pour la méthodologie utilisée. Grâce à cette dernière, les chercheurs ont pu déterminer les températures de nucléation (500 °C) et de croissance maximale (850-1 000 °C) des cristaux dendritiques rouges de cuprite (cristaux dont le diamètre est supérieur à 0,15 mm).

En 1987, M. Cable et J. W. Smedley (Cable et Smedley, 1987, p. 151-163) ont fait une série de fusions afin de reproduire un verre rouge opaque à la cuprite trouvé sur une plaque à Nimrud (daté de 350 av. J.-C.) et qui avait une composition similaire à celle synthétisée par Ahmed et Ashour. Lors de ce travail, ils ont étudié les effets obtenus en changeant les matières premières utilisées pour introduire le plomb et le cuivre, puis les effets produits en faisant varier les teneurs en cuivre, antimoine et étain, ainsi que les conditions de fusion et de traitements thermiques, toujours dans le but d'obtenir un verre rouge opaque à base de cuprite.

Selon ces auteurs, les verres rouges d'une belle couleur cire de scellement (sealing-wax), caractérisés par des teneurs élevées de cuivre et de plomb, apparaissent dans le milieu du premier millénaire avant J.-C., ce qui est confirmé par M. Bimson et I. Freestone (Bimson, 1987, p. 165-171; Freestone, 1987, p. 172-191).

LES TENTATIVES VISANT À REPRODUIRE L'AVENTURINE DE MURANO

Au XIX^e siècle, de nombreux verriers et universitaires, italiens ou non, ont tenté de produire ce verre si spécial vendu à un prix très élevé. On peut citer par exemple les « Notes sur la production artificielle de l'aventurine » publié par les français Frémy et Clémandot (Frémy et Clémandot, 1846).

Dans ce document, on trouve à la fois des analyses effectuées sur des échantillons d'aventurine vénitienne, et de grandes similitudes avec la technique de Murano : à savoir la fusion de 400 parties de déchets de verre avec l'ajout de 40 parties de protoxyde de cuivre et 80 parties de battitures de fer, suivie d'un lent refroidissement de la matière fondue. Ces expériences de fusion ont été réalisées à la Cristallerie de Clichy. Les résultats en terme de production industrielle n'étaient pas satisfaisants à cause de la petite taille des cristaux de cuivre et de leur répartition hétérogène dans le verre.

D'autres expériences de production d'aventurine sont attribuées au chimiste E. Hautefeuille (Hautefeuille, 1861, p. 609-617), qui en 1860-1861, publie ses résultats dans les Comptes-rendus de l'Académie des sciences, comme le

rapporte Eugène-Melchior Péligot dans son manuel de 1877 (Péligot, 1877, p. 425-459).

Des études sur la structure et la production de verre rouge au cuivre ou hématinone et donc sur l'aventurine qui lui est implicitement liée, sont encore rapportées par E.M. Péligot, M. Pettenkofer (Pettenkoffer, 1857) et plus particulièrement par M. P. Ebell (Ebell, 1874) puis V. Auger (Auger, 1907).

P. Beyersdorfer a publié en 1943 (Beyersdorfer, 1943) une étude approfondie qui reprend les analyses effectuées précédemment par les chercheurs mentionnés ci-dessus. Ces anciennes analyses effectuées sur l'aventurine sont données dans le tableau 3.

L'AVENTURINE AU CHROME

Parmi les recettes du recueil anonyme de 1847, que nous avons reportées en annexe, il y en a une qui se réfère à une aventurine au chrome. C'est un texte en français, évidemment repris par d'autres sources, qui fait référence à un verre aventurine vert au chrome inventé en 1865 par Théophile-Jules Pelouze (1807-1867)⁹. Parmi ses diverses activités scientifiques, ce dernier a été consultant de la fabrique de verre Saint Gobain au Creusot (dont son père était le directeur) et a, à ce titre, produit de l'aventurine au chrome.

Il s'agit d'une aventurine différente de la vénitienne au cuivre. En effet, elle est issue de la précipitation de cristaux verts d'oxyde de chrome trivalent (Cr_2O_3) dans la masse fondue. La différence, mise à part sa couleur et son absence de brillance (fig. 8, bloc d'aventurine au chrome) réside dans le fait que les cristaux d'oxyde de chrome précipitent par sursaturation, alors que le verre est encore fondu, si la concentration en chrome dépasse un certain pourcentage. Le refroidissement lent qui est utilisé pour la formation de l'aventurine au cuivre n'est donc pas nécessaire ici.

Cette aventurine peut se travailler comme n'importe quel verre, en la prélevant directement à partir de la masse fondue : c'est donc un matériau un peu différent, beaucoup plus facile à réaliser et à travailler, mais qui a cependant une apparence moins spectaculaire que l'aventurine au cuivre.

La composition de ce verre, calculée à partir de la recette (correspondant au troisième essai), est la suivante : 67,3 % de

9. Théophile-Jules Pelouze est un grand scientifique français (1807-1867) ; il débute sa carrière scientifique comme pharmacien, devient ensuite assistant du chimiste Louis Joseph Gay Lussac et de J.-L. Lassaigne. En 1830, il est professeur à l'Université de Lille, puis à l'Ecole polytechnique et au Collège de France. Il fait des études de chimie organique avec Liebig, en Allemagne, et devient membre de l'Académie des sciences de France. Son père était directeur de l'usine de verre de Saint Gobain au Creusot ; lui-même était consultant chimiste dans la même verrerie. En 1850, il introduit l'utilisation du sulfate de sodium comme constituant de la recette du verre. Consultant verrier, il produit ensuite l'aventurine au chrome (d'où la présente recette). Il étudie les effets de la lumière sur les verres colorés et travaille ensuite aussi sur les vernis vitreux.

Production	Murano A	Murano B	Murano C	Murano D	Murano E	Murano F	Teneurs moyennes
Citée par :	P.Beyersdorfer	P.Beyersdorfer	P.Beyersdorfer	P.Beyersdorfer	P.Beyersdorfer	P.Beyersdorfer	
Analysée par :	Pellogot 1847	Wholer-Scen.	Kersten	Levol	Haute-Feuille	Schwarz	
	3	1	2	4	5	6	
SiO ₂	67,70	65,20	67,30	60,50	60,39	61,90	63,83
Al ₂ O ₃				2,20	3,71	1,43	2,45
MgO		4,50			0,08	1,42	2,00
CaO	8,90	8,00	9,00	6,80	8,61	9,80	8,52
BaO							
PbO	1,10		1,00		0,69	2,28	1,27
ZnO							
Na ₂ O	7,10	8,20	7,00	14,00	11,31	11,49	9,85
K ₂ O	5,50	2,10	5,30	8,00	5,70	4,46	5,18
SnO ₂	2,30		2,30		2,48	0,30	1,85
Fe ₂ O ₃	3,50	6,50	3,70	3,70	2,50	2,67	3,76
Cu ₂ O				4,80	4,05	3,61	4,15
CuO	3,90	3,00	5,00				3,97
MnO					0,21		
	100,00	97,50	100,60	100,00	99,73	99,36	
Teneurs correspondantes							
Cu	3,12	2,40	3,99	4,26	3,60	3,21	3,43
Cu ₂ O	3,65	2,81	4,68	4,80	4,05	3,61	3,93
CuO	3,90	3,00	5,00	5,34	4,50	4,01	4,29

Tableau 3 : Analyses faites au XIX^e siècle sur le verre aventurine de Murano.Table 3: 19th century chemical analysis of Muranese aventurine glass. Figure 8: (Voir planche couleur) Bloc brut d'aventurine au chrome.
Figure 8: (See colour plate) Raw chunk of chromium aventurine glass.

silice, 15,8 %, d'oxyde de sodium 3,5 % d'oxyde de potassium, 7,6 % d'oxyde de calcium et 5,6 % de sesquioxyde de chrome. Une analyse effectuée sur un échantillon¹⁰ (voir tableau 5), donne pour les principaux agents colorants : 2,25 % d'oxyde de chrome et 1,57 % d'oxyde de cuivre.

10. Échantillon fourni par Bruno Profilo.

LES ANALYSES EFFECTUÉES SUR L'AVENTURINE VÉNITIENNE

Comme nous l'avons déjà mentionné, certaines analyses sur des échantillons d'aventurine vénitienne ont été réalisées au XIX^e siècle par des chercheurs français et allemands (tableau 3). Ces analyses, faites avec les techniques disponibles au milieu du XIX^e siècle, donnent cependant une idée de la composition des verres produits à cette époque-là par les Vénitiens.

Ce sont six analyses du verre dans sa globalité, qui prennent en compte le pourcentage de cuivre sous forme de cristaux. Nous pouvons voir qu'il s'agit dans tous les cas de verres alcalins mixtes, sodo-potassiques avec un pourcentage élevé d'oxyde de calcium (CaO 8,6 % en moyenne). Le plomb et l'étain ont été détectés dans seulement quatre des six échantillons analysés (teneurs moyennes de 1,2 % PbO et de 1,94 % SnO₂). L'oxyde de fer a une teneur moyenne de 3,75 %, tandis que celle du cuivre, exprimée en CuO, est d'environ 4,4 % (3,96 % exprimée en Cu₂O, ou 3,52 %, exprimée en Cu).

Dans les documents vénitiens anciens, nous n'avons pas trouvé d'analyse chimique du verre aventurine. Les seules analyses disponibles ont été faites dans la seconde moitié du siècle dernier par les laboratoires de la Stazione Sperimentale del Vetro de Murano, sur des échantillons produits entre la fin du XIX^e et la fin du XX^e siècle. Elles portent sur l'ensemble

Production	V. Moretti	Italm1	Italm2	
Source	CM	CM	CM	
Calcul	1982			
Analysée par :	SSV	SSV	SSV	moyenne
SiO ₂	69,10	69,40	61,75	66,75
Al ₂ O ₃	1,14	0,15	0,85	0,71
MgO	1,13	0,04	0,16	0,44
CaO	6,30	3,11	7,00	5,47
BaO	0,15			
PbO		0,34	0,17	0,26
Na ₂ O	12,03	18,53	17,50	16,02
K ₂ O	2,56	0,18	0,77	1,17
SnO ₂		1,58	4,35	2,97
Fe ₂ O ₃	3,16	2,88	3,26	3,10
Cu ₂ O	3,20	3,72	2,65	3,19
F			0,85	
	98,77	99,93	99,31	
Teneurs correspondantes				
Cu	2,84	3,30	2,35	2,83
CuO	3,56	4,14	2,95	3,55

SSV : Stazione Sperimentale del Vetro

Tableau 4 : Analyses faites au xx^e siècle sur le verre aventurine de Murano.
Table 4: 20th century chemical analysis of Muranese aventurine glass.

de l'échantillon, sans préciser les proportions de cuivre dissous et de cuivre précipité dans la phase vitreuse.

Certaines de ces analyses sont présentées dans le tableau 4; en tenant compte des compositions moyennes des trois échantillons analysés, nous pouvons dire que tous les verres sont de type sodo-calcique, avec un faible pourcentage d'oxyde de potassium (1,17 % en moyenne de K₂O) et d'oxyde de plomb (0,28 % de PbO en moyenne). Les concentrations en oxyde d'étain (SnO₂) sont de 2,97 %, et celles en oxyde de fer de 3,1 %. L'oxyde de cuivre exprimé en Cu₂O a une teneur moyenne de 3,19 % (ce qui correspond à 3,55 %, exprimé en CuO ou à 2,83 % exprimé en Cu).

Des analyses plus récentes ont été réalisées au Centre Ernest-Babelon (IRAMAT, UMR 5060, CNRS/Université d'Orléans, voir tableau 5) sur des échantillons d'aventurine fabriqués au xx^e siècle. Pour l'aventurine au cuivre, couleur caramel, elles confirment qu'il s'agit de verres alcalins (Na₂O 14,28 % K₂O 6,32 %) avec seulement des traces d'oxyde de plomb, environ 4,9 % d'oxyde de calcium et des teneurs moyennes de 3,7 % d'oxyde de cuivre (exprimée en CuO), 3,1 % d'oxyde de fer et 1,7 % d'oxyde d'étain (valeurs moyennes d'analyse sur cinq échantillons différents).

Avec les méthodes d'analyses modernes, il a été également possible d'analyser séparément, pour l'un des échantillons, la phase vitreuse, et de déterminer la quantité de cuivre non dissous.

Référence	CMA	CMA	
Analysé par :	IRAMAT CEB	IRAMAT CEB	
Méthode analyses	ANRC	SEM-EDX	
Type d'analyse	Méthode globale	Analyse ponctuelle	Différence
Oxydes %			
SiO ₂	61,1	65,9	4,8
As ₂ O ₃	0,10		-0,1
MgO	0,000		
CaO	4,6	4,0	-0,6
SrO	nd		
BaO	0,011		
PbO	0,004	nd	
ZnO	0,006		
Na ₂ O	16,3	16,3	
K ₂ O	7,62	5,50	-2,12
TiO ₂	0,024		
SnO ₂	2,87	3,10	0,23
Fe ₂ O ₃	2,20	2,80	0,60
Cl	0,00	0,01	
CuO	4,12	2,70	-1,42
MnO	nd	nd	
Total Oxydes %	98,95	100,31	

Tableau 6 : Analyses comparatives des quantités de cuivre dissous et précipité, avec des méthodes globales et sélectives, dans un verre aventurine.

Table 6: Determination of crystalline and soluble copper amount in aventurine glass using global and selective chemical analysis.

Figure 9: (Voir planche couleur) Cristaux de cuivre dans un bloc d'aventurine rouge (microscope x100).

Figure 9: (See colour plate) Copper crystals in a copper aventurine glass chunk (microscope x100).

Figure 10: (Voir planche couleur) Inclusion de cuprite dans l'aventurine à base de cuivre (microscope x200).

Figure 10: (See colour plate) Cuprite inclusion in copper aventurine glass (microscope x200).

En comparant les résultats obtenus par analyse par activation neutronique (composition globale du verre comprenant les cristaux de cuivre) et par *spectrométrie des rayons X* couplée à un *microscope électronique* à balayage (MEB-EDX, analyse de la phase vitreuse uniquement, voir tableau 6) il a été possible de calculer que l'aventurine contient dans son ensemble 4,1 % de cuivre exprimé en CuO. La phase vitreuse en contient 2,7 % sous forme dissoute et le reste, 1,4 % (égal à 1,1 % exprimé en Cu), est cristallisé sous la forme de cuivre métallique.

Figure 11: (Voir planche couleur) Cristaux hexagonaux de cuivre dans l'aventurine à fond bleu (microscope x100).

Figure 11: (See colour plate) Hexagonal copper crystals in cobalt coloured copper aventurine glass (microscope x100).

Figure 12: (Voir planche couleur) Cristaux d'oxyde de chrome dans l'aventurine à base de chrome (microscope x100).

Figure 12: (See colour plate) Chromium oxide crystals in chromium aventurine glass (microscope x100).

ANALYSE AU MICROSCOPE

Nous avons examiné au microscope trois échantillons d'aventurine: une au cuivre, couleur caramel, une avec un fond bleu et une verte au chrome. L'aventurine au cuivre est constituée d'un verre incolore transparent contenant des cristaux de cuivre de forme triangulaire, hexagonale ou plus rarement polyédriques, avec des reflets métalliques. La taille des cristaux varie de un micromètre à plus de trente micromètres. L'examen de l'échantillon en diffraction X confirme

la présence du cuivre métallique (Lafiton, 1998). L'examen par micro-fluorescence des rayons X, avec le microscope électronique à balayage (MEB) donne le même résultat. L'aventurine est donc composée de deux phases: une phase cristalline de cuivre métallique et une matrice vitreuse, qui semble incolore et transparente. Les figures 9, 10 et 11 montrent les cristaux de cuivre observés sous divers grossissements au microscope. Il est intéressant de noter la présence d'un agrégat de cristaux de cuprite sur l'image de la fig. 10, ce qui prouve la coexistence de cuivre sous forme de protoxyde et de métal dans l'aventurine. La coexistence de ces deux espèces au sein de ce type de verre est consistante avec les observations effectuées pour des verres rouges au cuivre de compositions variées: tesselle de mosaïque de la villa d'Hadrien (Barber *et al.*, 2009) et verres rouges antiques de différentes provenances (Brill et Cahill, 1988).

Sur la figure 11, on observe des cristaux de cuivre à l'aspect gris métallique, au sein d'une aventurine à fond bleu (aventurine au cobalt), tandis que la figure 12 montre les cristaux d'oxyde de chrome précipités dans une aventurine verte au chrome.

CONCLUSIONS

La difficulté rencontrée pour produire l'aventurine (qui dans certaines recettes est mise en évidence avec des invocations finales significatives comme « le nom du Seigneur soit béni – nous verrons le résultat » ou bien « que Dieu soit loué – [mais] rien de bon ») résulte de deux facteurs principaux:

- le premier est la difficulté d'identifier le moment où, suite à la réduction de l'oxyde de cuivre en cuivre métallique, les microcristaux qui doivent grossir lors de la phase de refroidissement lent, se sont formés au sein de la masse vitreuse;

- le second élément est certainement dû à l'absence d'instruments de mesure de la température du verre, qui auraient permis un contrôle des conditions optimales de température dans lesquelles survient la croissance des cristaux. Le fait de laisser refroidir naturellement le four et donc le verre, après avoir éteint la flamme, était un procédé non contrôlé, difficile à reproduire et qui dépendait de l'isolation thermique du four ainsi que des conditions environnementales.

Grâce à certaines études spécifiques faites sur les verres rouges et sur l'aventurine à la cuprite, on voit qu'il existe, pour chaque type de verre, une température optimale pour

la formation du plus grand nombre possible de germes de cuivre métallique et pour la croissance maximale de ceux-ci.

Dans les siècles passés, il n'était guère envisageable d'identifier et de reproduire ces températures optimales pour la production industrielle d'aventurine: un résultat satisfaisant et reproductible (cristaux de grande dimension distribués de façon homogène dans toute la masse vitreuse) aurait, en effet, demandé la maîtrise des aléas et de l'imprévisibilité du processus d'obtention de ce type de verre.

En ce qui concerne l'identification de la nature des cristaux présents dans l'aventurine, nous avons vu que l'observation au microscope optique est confirmée, tant par l'examen en diffraction X que par la micro-fluorescence des rayons X couplée à la microscopie électronique à balayage.

Nous avons aussi relevé, selon toute probabilité, comment s'établit dans le verre un équilibre entre le cuivre oxydé, le protoxyde, et le métal ($\text{CuO} > \text{Cu}_2\text{O} > \text{Cu}$): en effet, nous avons identifié dans un des échantillons observé au microscope, l'existence d'un agrégat de cristaux dendritiques de cuprite. On sait aussi que dans le creuset après refroidissement, la surface du verre (croûte) est de couleur verte par oxydation au contact de l'air ambiant.

Dans les verres rouges opaques, la matière colorante et opacifiante est toujours le cuivre métallique, si l'on fait exception de certains verres antiques dans lesquels l'élément colorant est la cuprite. Les analyses effectuées au microscope électronique à balayage permettent en effet une identification indiscutable de la matière colorante.

Grâce à la comparaison des analyses effectuée par deux méthodes d'analyses différentes (activation neutronique et MEB-EDX), il a été possible, en outre, de déterminer la quantité de cuivre non dissous dans l'aventurine (environ 34 % pour l'échantillon étudié).

En comparant les résultats obtenus pour l'aventurine avec les compositions des verres rouges à base de cuivre produits à Murano du *xv^e* au *xix^e* (Moretti et Gratuze, 1999), nous pouvons dire que la teneur en cuivre est généralement le double dans l'aventurine, et que celle du fer est à un niveau comparable. L'étain est présent dans l'aventurine avec des teneurs de l'ordre de 1,50 à 3,0 %, ces dernières sont souvent supérieures à celles mesurées au sein des verres rouges.

On notera toutefois que les analyses chimiques ne relèvent pas de grosses différences de composition entre l'aventurine et les verres rouges; apparemment, le principal facteur déterminant pour obtenir l'aventurine est le traitement thermique différent en phase de refroidissement.

SOURCES

Recueils de recettes cités

Neri

Antonio Neri, *L'arte Vetraria del Neri* – par Rosa Barovier Mentasti - Éditions « Il Polifilo », Milan, 1980.

Darduin

Giovanni Darduin, In nomine Domini Nostri Jesu Christi Beataeque Virginis Matris Mariae, anno a Nativitate Domini Millesimo Sexcentesimo Quadrigesimo Quarto, die secunda mensis Martii, Joannes Darduin quondam Nicolai: Copie de tutti li secreti de smalti cavate dalli libri et altre carte della buona memoria di mio padre..., Archives d'État, Venise (mélange d'actes divers manuscrits, F. 41).

Brunoro

In Laugener-bibliographys Deo il di 12 gennaio 1645 in Dancica. Libro de' segreti cavato da molti mastri di cristali et da altri homeni literati, Sperimentato da Gasparo Brunoro detto 3 Corone da Muran di Venezia Mastro di Cristali e di colori famosissimi, da lui molto lodato, Bibliothèque Casanatense, Rome, manuscrit n. 5461, « Registre chronologique d'entrée », p. 159.

Miotti

Miotti V., Libro secreti di smalti e paste e vivi colori di me VM ricopiato in altro libro Maestro. Cahier manuscrit, collection privée, inédit.

Recueil anonyme de 1847

1847 Libro partite ou composizioni dei colori in vetro. Servibile pel lavoro della Canna da Margaritteri, per Conterie e Collane; pella Canna da Perleri e pegli Smalti in Pani e lastre colorate; nonche' di varie partite di Avventurina. Cahier manuscrit, collection privée.

RADI 1859

Registro delle partite avventurina che si va fabbricando con questo giorno 19 settembre 1859. Cahier manuscrit, propriété privée.

BIBLIOGRAPHIE

AHMED, A.A., ASHOUR, G.M., 1981. Effect of heat treatment on the crystallisation of cuprous oxide in glass. *Glass Technology*, vol. 22/1: 24-33.

AUGER, P., 1907. Théorie de la formation du verre d'aventurine au cuivre. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 144: 422-424.

BARBER, D.J., FREESTONE, I.C., MOULDING, K.M., 2009. Ancient copper red glasses: investigation and analysis by microbeam techniques. Dans SHORTLAND, A.J., FREESTONE, I.C., REHREN, T. (dir.), *From Mine to Microscope Advances in the Study of Ancient Technology*, Oxbow Books: 115-127.

BAYLEY, J., 2001. Evidence for the production and use of opaque red glass in Roman Britain. *Annales du 15e Congrès de l'AIHV, New-York-Corning 2001*, AIHV: 45-48.

BEYERSDORFER, P., 1943. Studien ueber das Aventuringlas. *Glastechnische Berichte*, 21: 1-7.

BIMSON, M., 1987. Opaque red glass: a review. In *Early Vitreous Materials*, British Museum Occasional Papers, 56: 165-171.

BOVA, A., JUNCK, R., MIGLIACCIO, P., ZANIOLO, V., 2004. *L'Avventurina – L'oro di Murano*. Cicero editore Venezia.

BRILL, R.H., CAHILL, N.D., 1988. A Red Opaque Glass from Sardis and Some Thoughts on Red Opaque in General. *Journal of Glass Studies*, 30: 16-27.

BRUN, N., 1991. *Étude de verres opaques celtiques et gallo romains*. Thèse, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 160 p.

BRUN, N., MAZEROLLES, L., PERNOT, M., 1991. Microstructure of opaque red glass containing copper. *Journal of Materials Science Letters*, 10: 418-420.

BRUN, N., PERNOT, M., 1992. The opaque red glass of celtic enamels from Continental Europe. *Archaeometry*, 34: 235-252.

CABLE, M., SMEDLEY, J.W., 1987. The replication of an opaque red glass from Nimrud. In *Early Vitreous Materials*, British Museum Occasional Paper, 56: 151-163.

DUBIN, L.S., 1995. *The History of Beads: From 100000 B.C. to the Present*. Revised and expanded edition, Harry N. Abrams, New York, 364 p.

DUSSUBIEUX, L., GRATUZE, B., BLET-LEMARQUAND, M., 2010a. Mineral soda alumina glass: occurrence and meaning. *Journal of Archaeological Science*, 37/7: 1646-1655.

DUSSUBIEUX, L., BLET-LEMARQUAND, M., GRATUZE, B., 2010b. Innovation dans les techniques de coloration: les verres rouges et orange en Asie du Sud. Dans CARRÉ, A.-L., LAGABRIELLE, S., MAITTE, C., PHILIPPE, M. (dir.), *Les Innovations verrières et leur devenir*, Actes du deuxième colloque international de l'association Verre & Histoire, Paris, Association Verre & Histoire, 2011, sur <http://www.verre-histoire.org/colloques/innovations>.

EBELL, P., 1874. Der Kupferrubin und die verwandten Gattungen von Glas. *Dingler's Polytechnisches J.*, Band 213, Nr. LX: 212-220.

FREESTONE, I.C., 1987. Composition and microstructure of early opaque red glass. Dans *Early Vitreous Materials*, British Museum Occasional Paper, 56: 172-191.

FRÉMY, E., CLÉMANDOT, L., 1846. Note sur la production d'aventurine artificielle. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXII: p. 339-342.

- GRATUZE, B., 2010. Les perles en verre. In Les nécropoles proto-historiques de « La Haute Grève » à Gouaix (Seine-et-Marne), *Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France*, 37: 57-62.
- HAUTEFEUILLE, E., 1861. Note sur l'aventurine artificielle, *Bull. Soc. Encouragement pour l'Industrie Nationale*: 609-617.
- HECK, M., HOFFMANN, P., 2000. Coloured opaque glass beads of the Merovingians, *Archaeometry*, 42/2: 341-357.
- LAFITON, N., 1998. *Caractérisation de la microstructure de verres rouges opaques archéologiques*. Rapport du stage de recherche effectué à l'Iramat, Centre de Recherche Ernest-Babelon, CNRS Orléans (France), Mémoires de la série « Formation à et par la recherche », n. 374, DEA (1998) 70 p.
- MORETTI, C., 1982. Ricette vetrarie Muranesi – Quaderno anonimo del 1847. *Journal of Glass Studies*, 24: 65-82.
- MORETTI, C., 2008. Il vetro calcedonio - La tecnica di produzione indicata nei ricettari dal XV al XIX secolo e l'apporto di Lorenzo Radi. *Revista della Stazione Sperimentale del Vetro*, 3: 23-35.
- MORETTI, C., GRATUZE, B., 1999. Vetri rossi al rame e Aventurina. *Revista della Stazione Sperimentale del Vetro*, 3: 147-160.
- MORRETI, C., SALERNO, C.S., TOMMASI FERRONI, S., 2004. *Ricette vetrarie muranesi: Gasparo Brunoro e il manoscritto di Danzica*, Florence, Nardini Ed., 207 p.
- MORETTI, C., TONINATO, T., 2001. *Ricette vetrarie del Rinascimento*, Trascrizione da un manoscritto anonimo veneziano, Marsilio ed, Venise, 128 p.
- MORETTI, C., TONINATO, T., WATTS, D.C., 2011. *Glass Recipes of the Renaissance, Transcription of an anonymous Venetian manuscript*, English translation with additional notes, Watts publishing, 93 p.
- NENNA, M.-D., GRATUZE, B., 2009. Étude diachronique des compositions de verres employés dans les vases mosaïqués antiques: résultats préliminaires, *Annales du 17^e Congrès de l'AIHV, Antwerp 2006*, AIHV: 199-205.
- PÉLIGOT, E.M., 1877. *Le verre, son histoire, sa fabrication*, Masson, Paris, 495 p.
- PETTENKOFER, M., 1857. Über einen antiken rothen Glasfluss (Hämatinon) und über das Aventurin-Glas, *Dingler's Polytechnisches*, J., Band 145, Nr. XXXIII: 122-134.
- SABLEROLLES, Y., HENDERSON, J., DIJKMAN, W., 1997. *Early medieval glass bead making in Maastricht (Jodenstraat 30), The Netherlands. An archaeological and scientific investigation*, dans VON FREEDEN, U., WIECZOREK, A. (dir.), *Perle-Archäologie, Techniken, Analysen, Akten des Internationalen Perlensymposiums in Mannheim 11-14 november 1994*: 293-313.
- TONINATO, T., MORETTI, C., 1992. Ricettari muranesi (XVI-XX secolo). *Revista della Stazione Sperimentale del Vetro*, 4: 197-202.
- TONINI C., 2008. Stefano Miotti and the Use of Aventurine from the Late 1700s to the Early 1800s. *Journal of Glass Studies*, 50: 321-324.
- TURNER, W.E.S., ROOKSBY, H.P., 1959. A study of the opalizing agents in ancient opal glasses throughout three thousands four hundred years. *Glasstechnische Berichte*, V Internationaler Glaskongress, VIII: 17-29.
- WEYL, W. A., 1951. *Coloured Glasses*, Society of Glass Technology, Sheffield, ré-impression 1992, 541 p.
- ZECCHIN, L., 1956. L'atto di nascita dell'avventurina Muranese. *Vetro e silicati*, 2: 25-28.
- ZECCHIN, L., 1981. L'avventurina, vetro Muranese. *Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro*, 3: 131-136.
- ZECCHIN, L., 1986. *Il Ricettario Darduin - Un codice vetrario del seicento trascritto e commentato*. Stazione Sperimentale del Vetro e Arsenale ed., Venise, 265 p.
- ZECCHIN, L., 1987. *Vetro e Vetrai di Murano*, Arsenale ed., Venise, vol. I, 1987.
- ZECCHIN, L., 1989. *Vetro e Vetrai di Murano*, Arsenale ed., Venise, vol. II, 1989.
- ZECCHIN, L., 1990. *Vetro e Vetrai di Murano*, Arsenale ed., Venise, vol. III, 1990.
- ZECCHIN, P., 2005. La pasta venturina, vetro speciale muranese, *Journal of Glass Studies*, 47: 93-106.
- ZECCHIN, P., 2009. Il muranese Lorenzo Radi, un pioniere quasi dimenticato, *Revista della Stazione Sperimentale del Vetro*, 3: 11-22.