

LA PRODUCTION DE VAISSELLE EN *VITRUM OBSIANUM* AU I<sup>ER</sup> SIÈCLE APRÈS J.-C.  
UN ÉTAT DE LA QUESTION À PARTIR DE L'ÉTUDE DU FRAGMENT R1610 (MRAH-BRUXELLES)

Simone CAGNO \*, Peter COSYNS \*\*, Koen JANSSENS \*

La vaisselle en *vitrum obsianum* est bien connue dans les grandes collections du monde entier. Certes, le *vitrum obsianum* présente certaines incertitudes du point de vue de sa production et cela déjà depuis Pline l'Ancien qui dans son Histoire Naturelle (livre XXXVI, 196-197) décrit que la vaisselle en obsidienne, un verre volcanique, est imitée en verre. Même actuellement, on distingue rarement la vaisselle en obsidienne et celle en verre imitant l'obsidienne. Pourtant diverses analyses ont entre temps été effectuées sur l'obsidienne, donnant une image des compositions chimiques caractéristiques selon l'origine de la matière. L'objectif initial de cette étude est donc de remettre à jour l'étude sur la vaisselle en *vitrum obsianum* si caractéristique de la première partie du I<sup>er</sup> siècle après J.-C.

L'objet ici étudié est un fragment d'un récipient gravé avec scènes florales conservé aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire à Bruxelles. Le fragment a été acquis au milieu du XIX siècle à Rome et il est similaire aux autres objets en *vitrum obsianum* présents dans les collections de différents musées.

Vu l'impossibilité d'effectuer un prélèvement sur le fragment, on a choisi une méthode rapide et non destructive utilisable *in situ* au moyen d'appareils à fluorescence de rayons X portables (p-XRF et  $\mu$ -XRF) afin de pouvoir exécuter l'étude sur place.

**Contexte historique et inventaire des objets en *vitrum obsianum***

Sont considérées les pièces noires avec une décoration florale ou animale et parfois avec incrustations de pierres semi-précieuses façonnées en obsidienne, telles les *skyphoi* et le *patera* de Castellamare di Stabia, ancien *Stabiae*, et maintenant conservées au Musée Archéologique de Naples (Elia 1957, p. 97-103 ; Haevernick 1963, p. 122-123, pl. 21). Par contre, d'autres fragments avec les mêmes décorations et faites dans un style identique sont déterminés comme des objets en verre brun, pourpre, vert ou bleu. Le fragment conservé au Martin-von-Wagner Museum à Würzburg et celui au musée d'Art et d'Histoire à Genève sont décrits comme fabriqués en verre vert émeraude (Haevernick 1963, p. 125-126, pls. 23:1 et 23:3), tandis que le fragment de lèvre d'un grand plat au Toledo Museum of Art est fait de verre bleu au cobalt (Grose 1989, p. 342, n° 617). Cette différenciation des deux matériaux est basée sur la perception de la couleur de la matière. Les objets noirs sont considérés en obsidienne tandis que ceux ayant seulement une apparence noire mais pour lesquels la couleur réelle a été démontrée à l'aide d'une (puissante) lumière en transmission sont déterminés en verre de couleur foncée (1). Thea Haevernick avançait que le verre noir en tant

\* Simone Cagno et Koen Janssens : Université d'Anvers (UA), Département de Chimie (MiTAC), Universiteitsplein 1, B-2610 Wilrijk (Belgique).

\*\* Peter Cosyns : Université de Bruxelles (VUB), Département de Sciences d'Art et Archéologie (SKAR/MARI), Boulevard de la Plaine 2, B-1050 Bruxelles (Belgique).

1.- Pour éviter la confusion nous n'avons pas l'intention de mettre en doute la couleur réelle des fragments de Würzburg, Genève ou Toledo, ni de leur donner a priori l'aspect noir car nous n'avons pas eu la possibilité de vérifier nous-mêmes sur place ces objets.

| Musée  | Provenance                      | Couleur                              | Référence   |
|--|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| MRAH, Bruxelles  | Rome ? (Italie)                 | soi-disant noir                      | de Meester de Ravestein 1884, p. 463, n°.1610; Haevernick 1963, p.123, Taf.2:1. |
| Toledo Museum of Art, Toledo                                     | Rome ? (Italie)                 | grisâtre foncée                      | Grose 1989, p. 342, n°.618.   |
| Toledo Museum of Art, Toledo                                     | Rome ? (Italie)                 | grisâtre foncée                      | Grose 1989, p. 342, n°.619.   |
| inconnu  | Stanwick (Angleterre)           | soi-disant noir                      | Communication personnelle de Jennifer Price.                                    |
| perdu  | Xanten (Allemagne)              | soi-disant noir                      | Steiner 1911, p. 148, n°.45, Taf.XVI ; Haevernick 1963, p.122.                  |
| Akademischen Museum, Bonn  | Rome ? (Italie)                 | soi-disant noir                      | Haevernick 1963, p. 123, Taf.2:2-7.   |
| Pogliaghi-Varese coll., XXX                                      | Rome ? (Italie)                 | soi-disant noir                      | Communication personnelle de Maria Grazia Diani.                                |
| Corning Museum of Glass, Corning (ancienne collection Sangiorgi) | Rome ? (Italie)                 | brun grisâtre fumé d'apparence noire | Goldstein 1979, p. 285, n°.858.   |
| Musée Archéologique, Naples                                      | Castellamare di Stabia (Italie) | soi-disant noir                      | Elia 1957, p. 97-103 ; Haevernick 1963, p. 122-123, pls.21.                     |
| Musée Archéologique, Naples                                      | Castellamare di Stabia (Italie) | soi-disant noir                      | Elia 1957, p. 97-103 ; Haevernick 1963, p. 122-123, pls.21.                     |
| Musée Archéologique, Naples                                      | Castellamare di Stabia (Italie) | soi-disant noir                      | Elia 1957, p. 97-103 ; Haevernick 1963, p. 122-123, pls.21.                     |

Tableau 1.- Liste de vaisselle en *vitrum obsianum*.

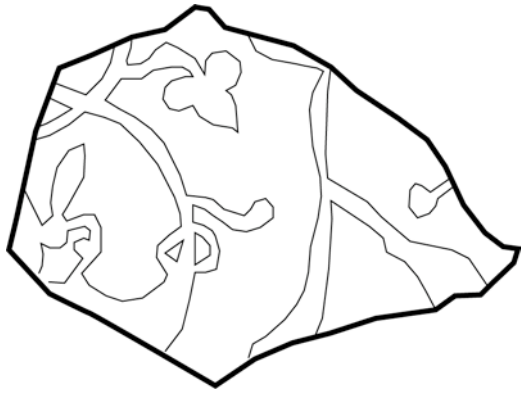


Fig. 1.- Le fragment R1610 aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire à Bruxelles (dessin de Peter Cosyns avec autorisation des MRAH, Bruxelles).

que tel n'existait pas dans l'antiquité et que les verres soi-disant noirs étaient faits en un verre pourpre très foncé ou en brun vert, vu leurs compositions chimiques (Haevernick 1963, p. 123). Mais elle prétendait en plus pouvoir distinguer visuellement la différence entre ces deux matériaux, disant que les pièces vraiment noires sont en obsidienne. À tort, car Sidney Goldstein et David Grose remarquent à juste titre que la couleur de l'obsidienne peut également être décelée (2). Ils décrivent les objets dans leurs collections respectives comme une matière brun grisâtre fumeux très foncée, d'apparence noire et comme une [pierre] grisâtre foncée presque opaque d'apparence noire (Goldstein 1979, 285, no.858; Grose 1989, p.342, nos.617-619). Certes, la couleur noire en tant que telle n'existe pas, mais il est essentiel de réaliser que les Romains produisaient en verre des objets noirs en colorant intensément le verre brut constituant un verre si foncé qu'on le perçoit comme noir.

### Le fragment R1610

Le fragment R1610 (MRAH-Bruxelles) étudié plus en détail ici est un fragment de panse d'un récipient gravé avec scènes florales (fig.1). Le fragment a été acquis par Emile de Meester de Ravestein entre 1846 et 1859 lors de ses fonctions de chargé d'affaires pour le gouvernement belge à Rome. Le fragment en obsidienne fait partie « d'une grande quantité de fragments de 'pâtes de verre' ... ils proviennent presque tous des fouilles faites sur les bords du Tibre aux environs de Rome. » [de Meester de Ravestein 1884<sup>2</sup>, p. 463, n°. 1610 (1101)] et est entré aux musées du Cinquantième en 1874 avec plus de 7000 autres objets contenant entre autres 147 lots de verre, dont certains comptent à leur tour parfois plus de 100 pièces (van de Walle 1985, p. 152-153). Bien qu'il faille admettre que déterminer une provenance romaine soit un peu hasardeux, la pièce doit être cependant une trouvaille italienne comme la plupart des autres fragments de vaisselle en *vitrum obsianum*. Les dimensions du fragment de panse sont 40 mm sur 29 mm, avec une épaisseur de 3-3,5 mm. La décoration, gravée superficiellement, semble être incrustée

2.- D'autre part une grande partie de la vaisselle en verre noir ne laisse percevoir sa vraie couleur à l'œil nu.

d'une matière blanche et se caractérise par des guirlandes circulaires et des feuilles de lierre.

### Technique utilisée

La fluorescence à rayons X est l'une des techniques d'analyse privilégiées pour des applications liées au patrimoine, grâce à sa simplicité d'usage non destructif et à la possibilité d'avoir un instrument fiable, compact et portable.

Dans cette étude le prélèvement de la pièce R1610 n'était pas envisageable ; en conséquence une analyse avec un appareil à fluorescence de rayons X portable était devenu inévitable. Le premier appareil utilisé est le TRACER III-V. Cet instrument portable est équipé d'un tube à rayons X avec une anode en rhodium et un détecteur à diode en silicium PIN à haute résolution avec refroidissement Peltier. Les conditions d'analyse employées sont un voltage de 40 kV, un courant de 2 mA et un temps de mesure de 100 secondes. Un examen complémentaire a été réalisé avec  $\mu$ -XRF comprenant un tube à rayons X (anode en Mo), un stade à échantillon et un détecteur Si(Li). Au moyen d'une lentille polycapillaire montée sur un détendeur de lentille cardan, le rayonnement produit par le tube à rayons X a été porté à environ 1,5 cm à l'extérieur du verre. La lentille polycapillaire, composée de plus de 100 000 tubes capillaires, qui concentrent le faisceau de rayons X à travers la réflexion extérieure totale sur les murs intérieurs des capillaires, se centralise en un point focal de l'ordre de 50-100  $\mu$ m de diamètre. Les spectres ont été recueillis pendant 300 secondes en utilisant un courant du tube de 0.2 mA avec une tension du tube de 35 kV.

### Résultats

Le relevé par p-XRF donne des résultats qualitatifs (fig.2). Le spectre de fluorescences X du fragment R1610 a été comparé avec deux objets en verre noir et deux blocs bruts en obsidienne de Mélos (Cagno, Cosyns 2009a).

Le spectre du fragment R1610 est très similaire aux spectres des deux objets en obsidienne, excluant ainsi l'hypothèse que le fragment ait été fait en verre noir à partir de sable. En fait la comparaison des spectres de fluorescence X démontre que le fragment R1610 se rapporte pour les intensités des pics du silicium, potassium et calcium aux fragments en obsidienne plutôt qu'aux fragments en verre noir. La déviation en intensité du pic du fer est néanmoins marquante. L'obsidienne a un contenu de  $Fe_2O_3$  qui varie normalement entre 1% et 2% (Schmid et al. 2000, Negash et al. 2006), seulement l'obsidienne originaire de l'île de Pantelleria contient beaucoup plus (8-9%) de fer (De Francesco *et al.* 2007). Le verre noir romain, par contre, peut avoir un taux de fer jusqu'à 10%, bien que cette concentration en oxyde de fer aussi élevée soit seulement en usage vers le milieu du IIe siècle ap. J.-C. (Van der Linden et al. 2009).

Le relevé par  $\mu$ -XRF donne des résultats semi quantitatifs en rapport avec les concentrations. Le fragment R1610 et six autres objets romains en verre noir ont été analysés dont un de couleur pourpre et le reste de couleur verte (Cagno, Cosyns 2009b). Les résultats confirment que le fragment R1610 se distingue nettement des objets faits en verre noir par le ratio

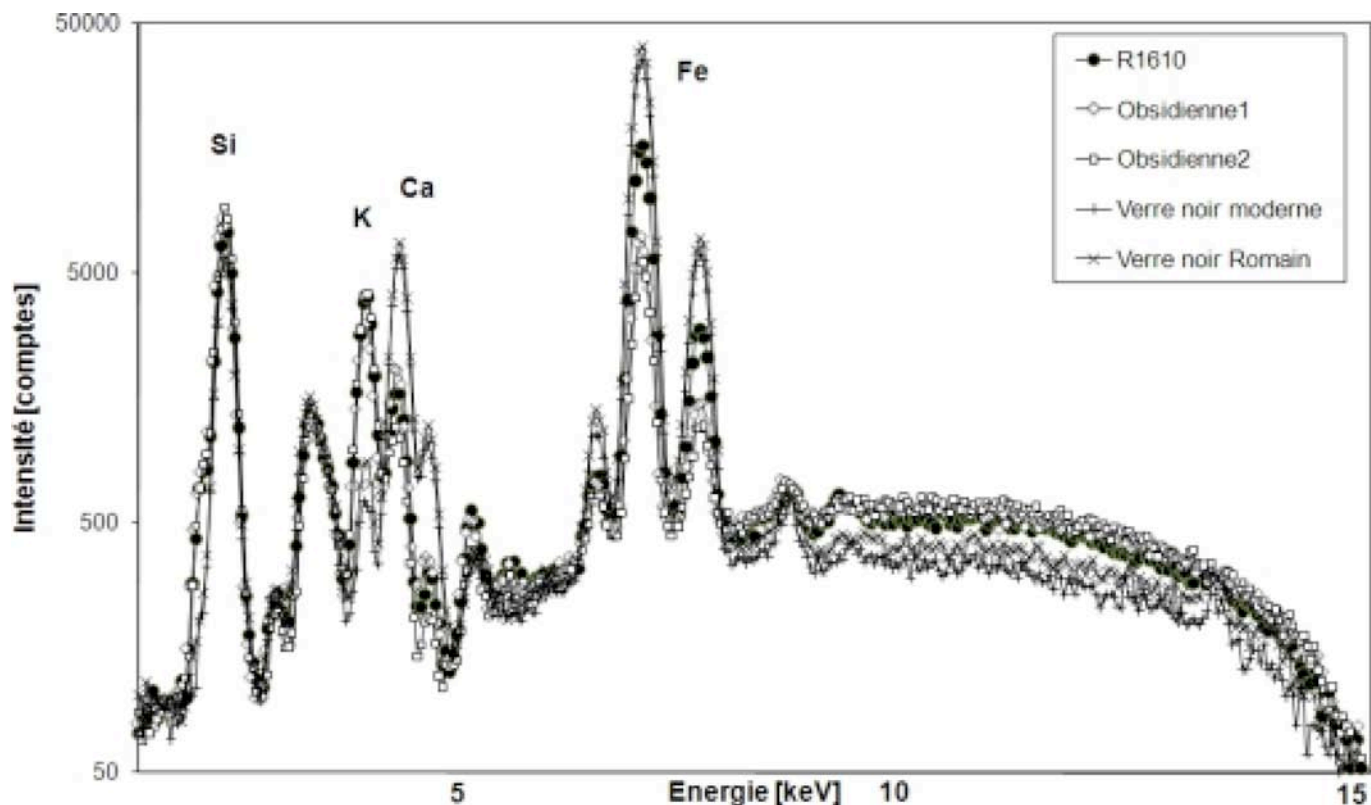


Fig. 2.- Le spectre de fluorescence X par p-XRF.

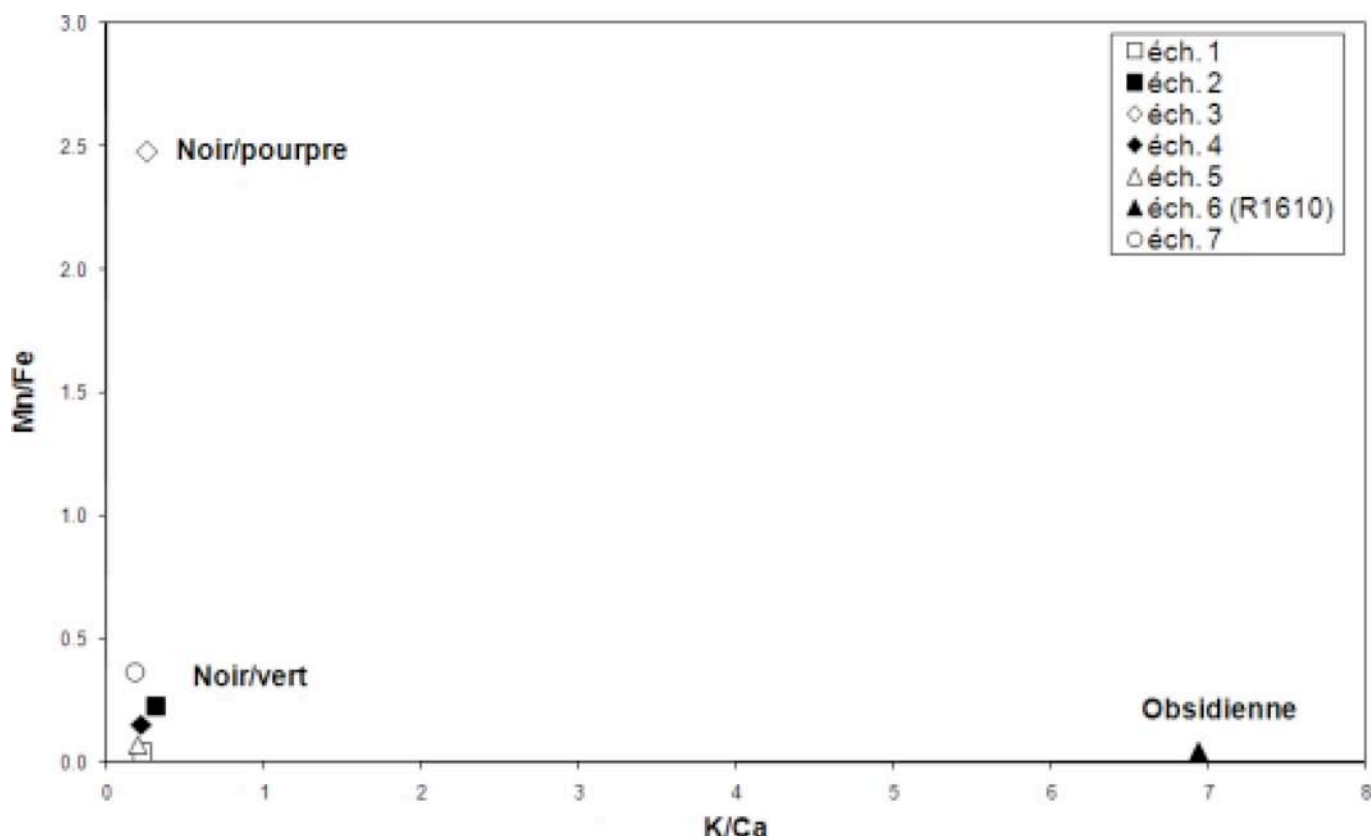
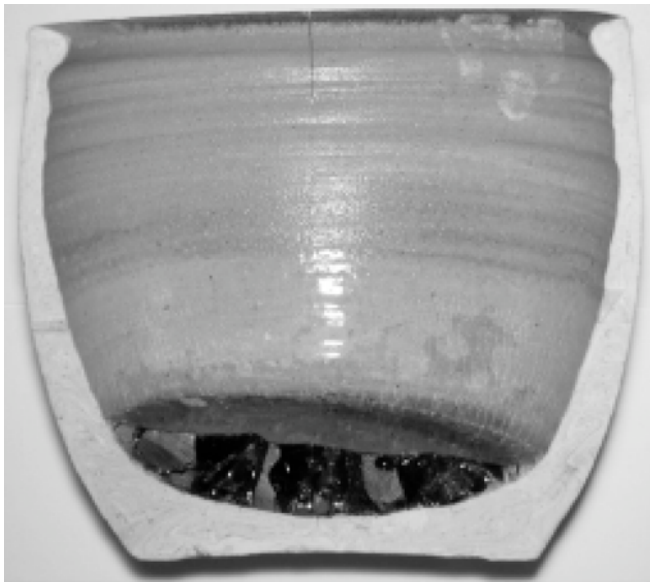


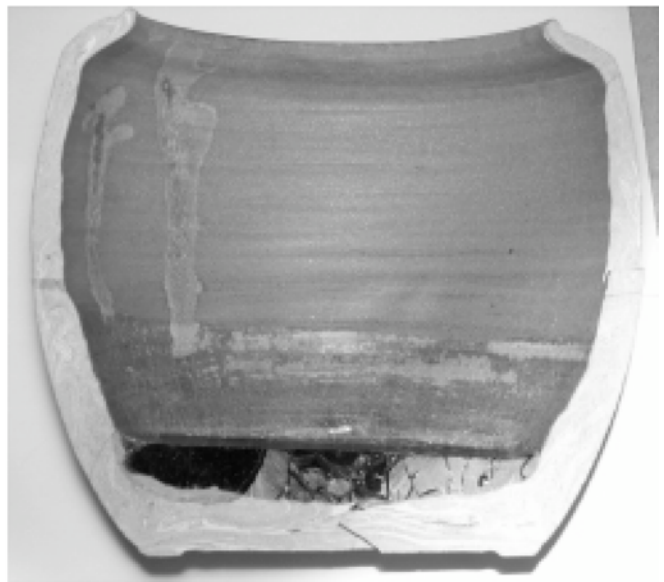
Fig. 3.- Plot des ratios Mn/Fe opposé à K/Ca. Résultats semi-quantitatifs obtenus par  $\mu$ -XRF.

potassium/calcium de 7 contre 0.2 du verre noir (fig.3). Les résultats qualitatifs (p-XRF) et semi quantitatifs ( $\mu$ -XRF) témoignent que le fragment R1610 est un objet fait en obsidienne et non pas un verre façonné par l'homme à partir de

sable. Les analyses fournissent des résultats qui font formuler deux hypothèses différentes sur la production du fragment: a) la vaisselle en obsidienne n'est pas faite par le taillage d'un bloc massif, mais en fondant l'obsidienne broyée dans un



1



2

Fig. 4, 1 et 2.- Coupes des deux creusets. 1) creuset 1 coloré avec poudre de fer ; 2) creuset 2 coloré avec clou en fer (photos de Peter Cosyns).

creuset avec de la soude et de l'oxyde de fer ;  
b) le fragment a été produit à partir de l'obsidienne de Pantelleria.

#### Expérimentation de production de *vitrum obsianum*

Une expérimentation de production de *vitrum obsianum* a été établie au Musée Provincial Archéologique (PAM) à Velzeke en Belgique pour étayer l'une des deux hypothèses formulées : la production de la vaisselle en obsidienne refondue.

L'obsidienne, originaire de Monte Arci en Sardaigne a été broyée jusqu'à l'obtention d'une poudre d'une dimension qui varie entre 125 et 500  $\mu\text{m}$ . L'obsidienne broyée a été mise dans deux creusets en ajoutant du carbonate de soude industriel comme flux, en substitution du natron, avec un ratio 1:1 en volume. Deux creusets, mis dans le four de verrier construit selon le plan de Cesson-Sévigné (France), ont reçu une coloration différente afin d'obtenir un verre d'apparence noire : dans le premier creuset (Fig. 4.1) a été ajouté 40 g de poudre de fer d'un culot de fer venant de la villa de Treignes en Belgique et datant de la période pré-flavienne ; dans l'autre creuset a été jeté un clou entier du même site romain belge, pour lequel la datation du contexte n'a pas été déterminée à ce jour (Fig. 4.2).

Les essais effectués par Allain Guillot avec Alain Riols ont précédemment prouvé la faisabilité de faire refondre de l'obsidienne et de souffler des récipients avec. D'autre part, on voulait savoir si une différence entre une coloration avec du fer non martelé encore plein d'impuretés et une coloration avec du fer martelé contenant beaucoup moins d'impuretés pouvait être décelée.

Après environ 72 heures de cuisson, des essais de soufflage de verre ont pu se faire avec des résultats positifs. La coloration avec le fer broyé (creuset 1) résultait en un verre bleu-vert très homogène tandis que la coloration avec le clou (creuset 2) résultait en un verre vert jaunâtre (Fig. 5). Après refroidissement la coupe du fond de verre dans le creuset, d'environ 20 mm d'épaisseur, renferme une couche noire opaque de 3-4 mm d'épaisseur en dessous de la masse bleu-verte. Le verre résultant de ces tests a été analysé avec SEM-EDX (tableau 2) pour pouvoir connaître sa composition et la comparer à celle d'autres objets. La technique d'analyse et le procédé pour la quantification ont été décrits précédemment (Schalm et Janssens 2003 ; Van der Linden et al. 2009). La couche noire des deux creusets possède un taux de fer nettement plus élevé que la couche du dessus.

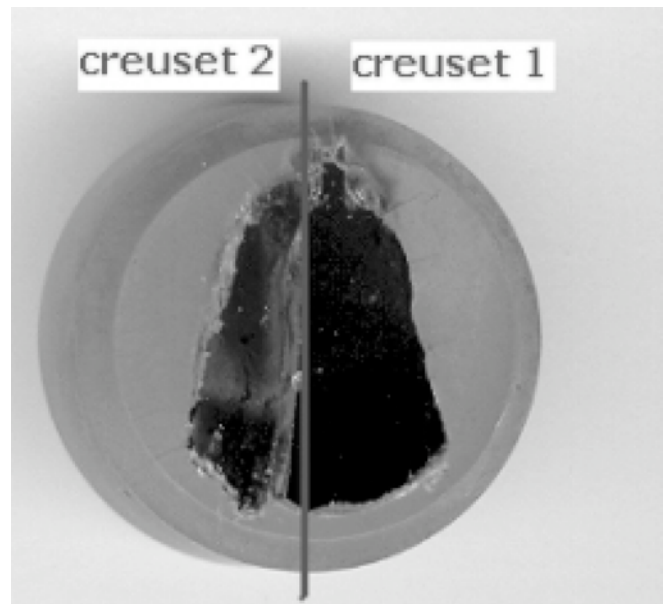


Fig. 5.- Résine avec échantillons prélevés des deux creusets.

dissement la coupe du fond de verre dans le creuset, d'environ 20 mm d'épaisseur, renferme une couche noire opaque de 3-4 mm d'épaisseur en dessous de la masse bleu-verte. Le verre résultant de ces tests a été analysé avec SEM-EDX (tableau 2) pour pouvoir connaître sa composition et la comparer à celle d'autres objets. La technique d'analyse et le procédé pour la quantification ont été décrits précédemment (Schalm et Janssens 2003 ; Van der Linden et al. 2009). La couche noire des deux creusets possède un taux de fer nettement plus élevé que la couche du dessus.

#### Conclusion

Les analyses non destructives par p-XRF et  $\mu$ -XRF démontrent clairement que le récipient R1610 a été fait à partir de

|  | Na <sub>2</sub> O | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | Cl  | K <sub>2</sub> O | CaO | TiO <sub>2</sub> | MnO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|--|-------------------|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-----|------------------|-----|------------------|------|--------------------------------|
| creuset 1 avec fer broyé –<br>partie bleu-vert       | 16,1              | 0,3 | 11,1                           | 63,7             | N d                           | 0,1             | 0,1 | 5,7              | 0,8 | 0,3              | 0,1  | 1,8                            |
| creuset 1 avec fer broyé –<br>partie noire           | 13,1              | 0,3 | 10,3                           | 58,4             | 0,1                           | 0,1             | 0,1 | 5,4              | 0,8 | 0,4              | 0,1  | 11,1                           |
| creuset 2 avec clou en fer –<br>partie vert jaunâtre | 15,2              | 0,3 | 11,3                           | 64,3             | N d                           | 0,1             | 0,1 | 5,2              | 1,0 | 0,4              | 0,1  | 2,1                            |
| creuset 2 avec clou en fer –<br>partie noire         | 12,8              | 0,2 | 10,2                           | 58,4             | N d                           | 0,1             | 0,1 | 4,8              | 1,5 | 0,4              | 0,1  | 11,5                           |
| obsidienne de Monte Arci,<br>Sardaigne – noire       | 3,6               | 0,2 | 11,9                           | 74,9             | N d                           | N d             | N d | 6,1              | 0,9 | 0,4              | <0,1 | 1,8                            |

Tableau 2.- Les compositions chimiques par SEM-EDX (poids %) sur les expérimentations au PAM à Velzeke.

l'obsidienne. Seulement le taux de fer très élevé n'est pas caractéristique de l'obsidienne. Deux hypothèses ont été formulées sur l'origine du fragment. La première implique que du fer doit être ajouté à l'obsidienne, donc le fer et l'obsidienne ont dû être fondus ensemble ; par conséquent un broyage de l'obsidienne ainsi que l'addition d'un fondant comme la soude sont probables. On peut donc envisager que les récipients en obsidienne sont faits dans un moule après fusion. Les expérimentations faites à Velzeke (Belgique) démontrent que ce procédé est faisable.

Sinon, une explication alternative serait que l'objet R1610 aux MRAH à Bruxelles est un fragment de vaisselle fait avec de l'obsidienne de Pantelleria, une île italienne non loin de la côte tunisienne qui possède un taux de fer très élevé variable entre 7,7% et 9,2% (De Francesco *et al.* 2007, tab.1). Néanmoins, il faut remarquer que le taux de fer très élevé attesté dans l'obsidienne de Pantelleria est plutôt une anomalie singulière et qu'il serait convaincant de révéifier la composition chimique de l'obsidienne de Pantelleria. D'autre part il est également important d'examiner la composition des fragments de vaisselle en *vitrum obsianum* par des analyses quantitatives afin de vérifier si les Romains avaient une préférence pour l'obsidienne de Pantelleria pour la production de la vaisselle en *vitrum obsianum* à cause de son opacité, grâce au taux de fer très élevé, plutôt que celle d'autres gisements.

En annexe des expérimentations faites à Velzeke (Belgique), deux autres conclusions peuvent être définies:

- 1) le taux de fer très élevé est ici clairement responsable de l'aspect noir opaque;
- 2) une détermination de la matière utilisée, obsidienne ou verre, à base des couleurs, comme le fait Th.Haevernick, ne peut se faire car l'obsidienne peut devenir bleu-vert ou vert jaunâtre translucide après refonte.

### Perspectif pour d'études futures

D'une part, on pourra parvenir à confirmer si les fragments conservés aux musées de Genève, Bonn, Toledo, Naples, Würzburg et ailleurs sont faits en verre ou en obsidienne par un simple test rapide et non destructifs par fluorescence de rayons X. D'autre part, on aura la possibilité d'analyser la vaisselle en obsidienne par des méthodes quantitatives pour prouver que l'obsidienne a été refondue et colorée ou qu'elle a seulement été taillée. La composition des divers échantillons de Pantelleria démontre qu'il est indispensable de réper-

torier toutes les études déjà effectuées sur les différents gisements d'obsidienne (Acquafredda *et al.* 1996 ; Gratuze 1999). Ces données de comparaisons pourront définir quelle matière brute a été utilisée ou quelle recette a été adoptée. La détermination de la provenance de la matière brute pour faire de la vaisselle en *vitrum obsianum* aidera à définir le commerce de cette matière première pour le ravitaillement des ateliers de verriers qui ont produit de la vaisselle en obsidienne.

### Remerciements

En premier lieu nous voudrions remercier les responsables de différentes collections aux MRAH qui nous ont donné la possibilité d'effectuer les analyses chimiques – Cécile Evers, responsable des collections romaines, Natasja Massar, responsable des collections grecques et Claire Massard, responsable des collections gallo-romaines. D'autre part, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont aidé au succès de notre expérimentation au PAM à Velzeke fin mai 2009 : tout d'abord l'équipe même du PAM qui a tout mis en œuvre pour permettre cette expérimentation, mais surtout François Van den Dries, Mark Taylor et David Hill dont l'engagement minutieux a permis le succès de cette expérimentation. Nos sincères remerciements vont enfin vers Alain Riols qui nous a fait parvenir l'obsidienne de Monte Arci, et vers Philippe Claeys et Rémy Mas, du département de géologie (GEOL) à la VUB. Sans eux l'expérimentation n'aurait jamais pu avoir lieu.

Cette recherche a été soutenue par l'*Interuniversity Attraction Poles Programme* (IUAP VI/16). Ce texte présente résultats du GOA "XANES meets ELNES" (Fond de recherche, Université d'Anvers, Belgique) et du FWO (Bruxelles, Belgique) projets no. G.0103.04, G.0689.06 et G.0704.08. Les résultats présentés ici sont le reflet du projet OZR1247BOF sur le verre noir romain (Vrije Universiteit Brussel, Belgique).

### Bibliographie

- Acquafredda, P., Adriani, T., Lorenzoni, S., Zanettin, E., 1996. 'Proposal of a non-destructive analytical method by SEM-EDS to discriminate Mediterranean obsidian sources'. *Advances in Clay Minerals*, 269–271.
- Cagno, S., Cosyns, P. 2009a. *Compositional analysis on the obsidian vessel fragment R1610 in the Royal Museums of Art and History (kmkg-mrah) by using portable-XRF* (rapport interne UA-MiTAC/VUB-MARI).

- Cagno, S., Cosyns, P. 2009b.  *$\mu$ -XRF Analyses of Roman black glass objects and a vitrum obsianum piece*. Brussels, KMKG Jubelparkmuseum, 16/03/2009 (rapport interne UA-MiTAC/VUB-MARI).
- De Francesco, M., Crisci, M., Bocci, M., 2007. Non-destructive analytic method using XRF for determination of provenance of archaeological obsidians from the mediterranean area: a comparison with traditional XRF methods. *Archaeometry* 50-2, 337-350.
- Elia, O., 1957. 'Le coppe ialine di Stabiae'. *Bolletino d'Arte* 42, Serie IV, 97-103.
- Goldstein, S.M., 1979. *Pre-Roman and Early Roman Glass in the Corning Museum of Glass*. Corning/New York, The Corning Museum of Glass.
- Gratuze, B., 1999. 'Obsidian characterization by laser ablation ICP-MS and its application to prehistoric trade in the Mediterranean and the Near East: sources and distribution of obsidian within the Aegean and Anatolia'. *Journal of Archaeological Science*, 26, 869-881.
- Grose, D.F., 1989. *The Toledo Museum of Art. Early Ancient Glass: Core-formed, Rod-formed, and Cast Vessels and Objects from the Late Bronze Age to the Early Roman Empire, 1600 B.C. to A.D. 50*, New York, Hudson Hill Press
- Haevernick, T.E., 1963. 'Beiträge zur Geschichte des Antiken Glases. XI Obsidianarbeiten'. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 10, 122-130, Taf.21-23.
- Negash, A., et al., 2006. 'Source provenance of obsidian artifacts from the Early Stone Age (ESA) site of Melka Konture, Ethiopia'. *Journal of Archaeological Science* 33, 1647-1650.
- Riols, A., 2008. 'La bouteille en « verre noir façon d'Angleterre » en basalte. Les recherches de Jean-Antoine Chaptal (1783) et les expérimentations d'Allain Guillot (2005)'. *Bulletin de l'AFAV* 2008, 114-115.
- Schalm, O., Janssens, K. 2003, A flexible and accurate quantification algorithm for electron probe x-ray microanalysis based on thin-film element yields, *Spectrochimica Acta*, 58 (Part B), 669-680.
- Schmid, P., Peltz, C., Hammer, V.M.F., Halwax, E., Ntaos, T., Nagl, P., Bichler, M., 2000. 'Separation and Analysis of Thera Volcanic Glass by INAA, XRF and EPMA'. *Mikrochimica Acta* 133, 143-149.
- V. Van der Linden, P. Cosyns, O. Schalm, S. Cagno, K. Nys, K. Janssens, A. Nowak, B. Wagner, E. Bulska, 2009, Deeply coloured and black glass in the Northern Provinces of the Roman Empire: differences and similarities in chemical composition before and after AD 150, *Archaeometry*, 51-5, 822-844.