

Bleu et blanc persans du XVIIe siècle : une approche technologique

Autor(en): **Degli Agosti, Martine / Schweizer, François**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Genava : revue d'histoire de l'art et d'archéologie**

Band (Jahr): **49 (2001)**

PDF erstellt am: **17.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-728212>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Sans la collaboration, les conseils et le soutien des personnes suivantes, cette étude n'aurait pu voir le jour : au Musée Ariana, Roland Blaettler, conservateur; Anne-Claire Schumacher, assistante-conservatrice, et Betty Hakkak, restauratrice; au Centre d'analyse minérale (CAM) du Département des sciences de la terre de l'Université de Lausanne, le professeur Hans-Rudolf Pfeiffer, directeur, et Jean-Claude Lavanchy, chimiste, responsable technique FRX; à l'Institut de minéralogie et de géochimie de l'Université de Lausanne (IMG), François Bussy, responsable du laboratoire de micro-analyse électronique; au Muséum d'histoire naturelle de Genève, Danielle Decrouez, conservateur en chef du Département des sciences de la terre, Jean Wuest, biologiste chargé de recherche, et Pierre-Alain Proz, collaborateur scientifique; à la revue Genava, Matteo Campagnolo, rédacteur, et Serge Rebetz, rédacteur associé; à Morges, Annelise Schweizer, céramiste. Que toutes et tous trouvent ici l'expression de notre gratitude et de notre vive reconnaissance.

1. ALLAN 1973

2. Mais publiée quelques années plus tard : WULFF 1966

3. CENTLIVRES-DEMONT 1971

4. ALLAN/LLEWELLYN/SCHWEIZER 1973

5. TITE 1989

6. HENDERSON 1989

7. MASON/TITE 1994

Le Musée Ariana a bénéficié en 1992 et 1997 d'une importante donation de plats et coupes persans *bleu et blanc* en terre siliceuse datant, selon des critères stylistiques, des XVII^e et XVIII^e siècles. La restauration de ces objets a été confiée à Betty Hakkak, restauratrice, et une étude technologique a été menée au sein du Laboratoire de recherche des Musées d'art et d'histoire de Genève. Notre article présente les résultats obtenus à ce jour.

Les objectifs de cette étude ont été définis en étroite collaboration avec Roland Blaettler, conservateur du Musée Ariana, et Anne-Claire Schumacher, assistante-conservatrice. Ils ont comme but de contribuer à une meilleure connaissance de la technologie de la céramique *bleu et blanc* persane du XVII^e siècle qui n'a encore fait l'objet d'aucune étude approfondie. Les questions se résument de la manière suivante :

1. Quelle est la technique de décoration, est-elle notamment appliquée sur ou sous la glaçure ?
2. La décoration, est-elle posée directement sur la pâte ou sur un engobe ?
3. Quelle est la composition de la pâte, de l'engobe, des colorants et de la glaçure ?
4. Est-il possible d'en déduire la nature des matières premières utilisées par les potiers persans ?
5. Comment la production des *bleu et blanc* persans du XVII^e siècle s'inscrit-elle dans l'évolution de ce type de céramique au Moyen-Orient ?

Avant d'entreprendre les analyses en laboratoire, nous avons tenté de réunir une bibliographie aussi complète que possible concernant les aspects technologiques de ce type de céramique. Elle se divise en trois parties : les traités anciens, les études de terrain ethnographiques et les études en laboratoire. L'ouvrage central pour la céramique du Moyen-Orient est le fameux traité d'Abû'l-Qâsim¹ daté du début du XIV^e siècle. Il contient une description détaillée des matières premières utilisées ainsi que des méthodes de travail, mais emploie souvent des termes dont l'interprétation reste sujette à discussion. Deux études ethnographiques sont également d'une grande importance. Il s'agit de celles de Hans E. Wulff réalisée dans la première moitié du siècle dernier², et de Micheline Centlivres-Demont entreprise vers 1966³. Chacune de ces publications donne une excellente description des méthodes de travail utilisées et des matières premières récoltées par les potiers persans.

Les études en laboratoire sont plus nombreuses. La première étude, entreprise en 1973 par J. W. Allan, L. R. Llewellyn et F. Schweizer⁴, permit d'identifier plusieurs matériaux mentionnés dans le traité d'Abû'l-Qâsim. C'est en 1989 que M. Tite consacra une étude à la céramique d'Iznik (Turquie), démontrant la similitude de sa technique de fabrication avec la céramique persane⁵. Ce type de production a été étudié par J. Henderson également⁶. L'évolution des pâtes siliceuses au Moyen-Orient à partir du IX^e siècle a été résumée dans une excellente publication de R. Mason et M. Tite en 1994⁷. Différentes études en vue de la caractérisation de la céramique du Moyen-Orient à terre siliceuse au moyen



8. MASON 1995

9. MASON 1996

10. PERNICKA/MALISSA 1976

11. KEBLOW 1987

d'investigations pétrographiques ont été menées par R. Mason au Laboratoire de recherche de l'Université d'Oxford et au Musée royal d'Ontario en 1995⁸ et 1996⁹. Finalement, nous citerons encore deux travaux concernant plus spécifiquement les glaçures : ceux de E. Pernicka et H. Malissa, publiés en 1976¹⁰, et les essais de reproduction entrepris par A.-M. Keblow en 1987¹¹.

Le matériel analysé

1. *Bleu et blanc* persans du XVII^e siècle
 a. Décoration bleue avec traits noirs sur tesson blanc (98-636-11) | b. Décoration en noir sur tesson blanc (98-636-12)
 c. Décoration ocre-rouge, gris-vert et bleue sur tesson blanc (98-636-9) | d. Plat au décor bleu, Ø 34 cm (inv. AR 1997-153, labo 98-636-20) | e. Plat au décor bleu, Ø 50.5 cm (inv. AR 1997-151, labo 98-636-19)

Pour cette étude nous avons à disposition un certain nombre de tessons provenant, selon la donatrice, de la région de Kermân (Iran). Pour des raisons pratiques, nous avons dû limiter le nombre des objets analysés à dix. Basé sur des critères stylistiques, le choix a été entrepris par Roland Blaettler et Anne-Claire Schumacher. De plus, nous avons inclus deux minuscules fragments provenant de deux objets du Musée Ariana, datés du XVII^e siècle (98-636-19, inv. AR 1997-151 et 98-636-20, inv. AR 1997-153) prélevés en cours de restauration. Ainsi, nous avons tenté de sélectionner un échantillonnage représentatif

12. Le spectromètre de notre laboratoire, spécialement conçu pour l'étude des objets d'art et d'archéologie, est composé d'un détecteur solide Si (Li) et d'un analyseur multicanaux Tracor Northern 5400. L'excitation est obtenue à l'aide d'un tube à rayons X Keveex (max. 50kV). Le faisceau est réduit à l'aide d'un collimateur à un diamètre d'environ 1 à 2 mm.

13. Leitz, Diaplan, gross. max. $\sim 300 \times$

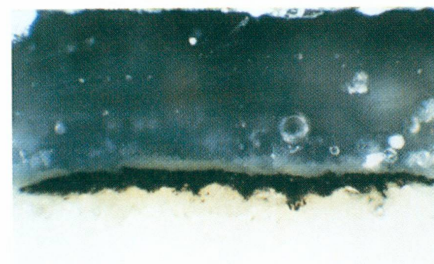
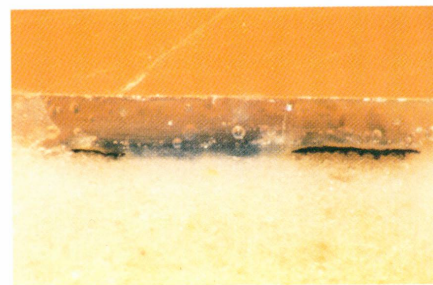
14. Examens entrepris au Muséum de Genève par Jean Wuest à l'aide d'un microscope électronique à balayage Zeiss DSM 940A équipé d'un spectromètre de fluorescence X Tracor Northern.

15. Pour ces analyses, nous avons pu travailler avec François Bussy de l'Institut de minéralogie et géochimie de l'Université de Lausanne: les analyses ont été faites avec une micro-sonde électronique CAMECA SX 50.

16. Les analyses ont été entreprises au Centre d'analyse minérale (CAM) du Département des sciences de la terre de l'Université de Lausanne. L'appareil utilisé est un spectromètre de fluorescence X «Philips PW 2400» programme d'analyse Uniquant.

17. Le spectromètre du CAM nécessite normalement une surface d'analyse d'environ 20 cm^2 . Les surfaces de nos coupes transversales ne mesurant qu'environ 0.5 cm^2 , nous avons entrepris une série de tests pour nous assurer que le spectromètre donne également des analyses précises avec une petite surface.

2 a. Coupe transversale du tesson 98-636-9: on observe une porosité inégale dans le tesson (grossissement et agrandissement $4,9 \times$) | b. Coupe transversale du tesson 98-636-11. Le pigment bleu s'est complètement dissous dans la masse vitreuse de la glaçure (grossissement et agrandissement $19,6 \times$) | c. Détail de la fig. 2 b. Le pigment noir à base de chromite ne se dissout pas dans la glaçure (grossissement et agrandissement $62,6 \times$).



de la production du XVII^e siècle. La description sommaire des fragments sélectionnés se trouve dans le tableau I et certains d'entre eux sont illustrés dans les figures 1 a-e.

Méthodes d'analyses

Tous les fragments ont été observés à la loupe binoculaire et photographiés à l'aide du macroscopie Wild M420. Par la suite, nous avons effectué des analyses qualitatives par micro-spectrométrie de fluorescence X¹² sur la surface des glaçures avec un appareil ne nécessitant pas de prélèvement et permettant de faire des analyses ponctuelles de surfaces d'environ $1 \text{ à } 2 \text{ mm}^2$.

Pour effectuer des coupes transversales nous avons choisi un endroit qui contenait des couleurs représentatives pour la décoration du fragment. Une tranche d'environ 2 mm d'épaisseur a été détachée à l'aide d'un disque diamanté. Le prélèvement a été enrobé dans une résine synthétique, poncé à l'eau sur des papiers abrasifs et poli avec différentes pâtes diamantées (fig. 2 a et b).

Pour déterminer la stratigraphie, une première observation sur la coupe transversale est effectuée au microscope optique¹³ et, par la suite, nous l'avons fait étudier au microscope électronique à balayage¹⁴. Nous avons porté notre intérêt à la morphologie du tesson et à l'identification ainsi qu'à la diffusion des colorants dans la glaçure. Le même prélèvement nous a servi pour l'analyse quantitative de la glaçure à l'aide d'une micro-sonde (IMG, UNI-L)¹⁵. Un nouveau prélèvement que nous avons libéré de la glaçure nous a servi pour l'analyse quantitative de la pâte (CAM, UNI-L)¹⁶. Ce spectromètre étant normalement conçu pour l'analyse d'une surface de plusieurs centimètres carrés, nous avons vérifié si l'analyse effectuée sur des petites surfaces donne également des résultats valables¹⁷. Pour chaque fragment, nous avons analysé de deux à dix endroits différents de la glaçure.

18. La préparation des coupes minces et l'examen pétrographique ont été entrepris par Pierre-Alain Proz au Muséum de Genève.

19. Voir ci-dessous, p. 177

20. Voir ci-dessous, fig. 4-5, et p. 175

Pour l'étude pétrographique, nous avons effectué un second prélèvement sous la forme d'une tranche d'environ 1 à 2 mm d'épaisseur. Enrobée dans une résine synthétique, elle a été poncée pour obtenir une lame extrêmement mince (30 microns) pouvant être observée en lumière transmise sous le microscope pétrographique¹⁸.

C'est en collaborations avec Annelise Schweizer, céramiste à Morges (Vaud), que les essais de reproduction de la pâte ont été pratiqués.

Résultats

Dans ce paragraphe, nous nous limiterons volontairement à la présentation des résultats analytiques obtenus.

A. Observation de la stratigraphie des coupes transversales

Le tesson et l'engobe. Toutes les coupes montrent une image très semblable, composée de grains de quartz, souvent à angles vifs, entourés d'une masse très blanche qui en assure la cohésion. On observe une assez grande porosité créée par des trous de grandeur très différente et répartis d'une manière irrégulière (fig. 2 a). Trois coupes (98-636-10, 98-636-11, 98-636-14) nous ont frappés par leur très grande porosité. Observées à un fort grossissement, elles présentent de très fines inclusions en forme de grains rouges et noirs. La coupe 98-636-17 est particulièrement riche en inclusions. Deux coupes présentent des taches : la 98-636-10 de couleur grise et la 98-636-20, de couleur rougeâtre.

En général, à l'œil nu, les coupes de la pâte ont une couleur très blanche. Nous n'avons pas constaté de différence de « blancheur » entre les tessons ayant reçu un engobe¹⁹ et les autres. On pourrait toutefois se poser la question : l'engobe servait-il à cacher un tesson moins blanc ? Il n'est pas possible, à notre avis, de déterminer par cette approche la présence ou l'absence d'un engobe sur certaines coupes (98-636-12, 98-636-15, 98-636-16, 98-636-17). On observe une zone « perturbée » entre le tesson et la glaçure faisant penser à une diffusion de cette dernière dans la structure poreuse du tesson. Toutefois il n'y a pas de corrélation entre la présence d'un engobe et cette couche intermédiaire²⁰.

Le décor. Les pigments du décor sont posés directement sur le tesson (ou l'engobe) et se trouvent donc *sous* la glaçure. Seul le 98-636-12 fait exception.

Le colorant responsable de la couleur bleue s'est complètement dissous dans la masse de la glaçure (fig. 2 b). Il est donc impossible de dire s'il a été utilisé sous forme de minerai finement broyé ou en poudre de verre colorée en bleu au préalable. Notons toutefois que nous avons observé sur deux fragments, à travers la glaçure, des restes de pigment bleu (98-636-17, 98-636-18).

Le pigment utilisé pour les traits noirs se présente sous la forme de grains très fins posés également directement sur le tesson. Les grains de ce pigment ne sont pas dissous dans la glaçure mais ont gardé leur forme (fig. 2 c).

La coupe 98-636-12 sort du groupe. Le pigment noir se trouve dans la partie supérieure de la glaçure. Directement sur la pâte, il n'y a aucune trace de pigment. Il ne s'agit donc

pas d'une migration d'un pigment à travers la glaçure, d'une décoration sous-glaçure, mais bien d'un décor appliqué sur glaçure. Ce fragment se distingue aussi des autres par son décor monochrome noir, il s'agit de plus d'une pièce surcuite (fig. 3).

B. Composition de la pâte

L'analyse effectuée par spectrométrie de fluorescence X (CAM) sur la tranche de la coupe transversale libérée de la glaçure a pu être appliquée sur sept tessons. Les autres possédaient une surface trop petite pour donner des résultats fiables. Nous avons également éliminé du tableau les analyses qui auraient pu être influencées par la présence de glaçure ou par des colorations grises en forme de taches sur la coupe.

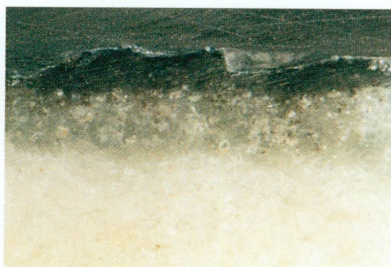
Les analyses du tableau II montrent qu'il s'agit dans tous les cas d'une pâte très riche en silice. La teneur dépasse les 80 % et se situe dans la fourchette étroite entre 80,9 et 87,5 %. Notons que ces teneurs sont dues à la présence de SiO_2 en forme de grains de quartz mais également à la silice contenue dans la matrice qui entoure les grains. Il n'est pas possible par cette approche de les distinguer (selon l'analyse pétrographique présentée plus bas, la silice en forme de grains de quartz représenterait environ 80 %).

Les autres éléments doivent donc provenir de la masse blanche entourant les grains de quartz si nous assumons qu'ils sont réellement purs. Notons une assez grande variation pour l'aluminium (2,15 à 7,03 %) et pour le magnésium (0,48 à 2,87 %).

C. Présence ou absence d'un engobe

La présence ou l'absence d'un engobe n'est pas toujours facile à déterminer en observant une coupe transversale en lumière réfléchie au microscope optique ou au microscope électronique à balayage. L'étude d'une lame mince au microscope pétrographique, par contre, montre beaucoup plus clairement si un engobe a été posé avant l'application des couleurs et de la glaçure. Un exemple de tesson avec engobe est présenté dans les figures 4 a (lumière normale) et 4 b (lumière polarisée). On note la présence d'une pâte riche en grains de quartz (cristaux clairs de la figure 4 b). Cette surface est séparée par une ligne fine d'une couche mince constituée de grains nettement plus petits. Sur cette couche est posé le colorant noir (fig. 4 a à gauche) et par la suite la glaçure (l'espace uniforme au-dessus de la glaçure est la résine utilisée pour la préparation de la coupe). Une zone « perturbée » se trouve entre l'engobe et la glaçure, que nous pensons être une zone de réaction entre ces deux éléments. Au moment où elle fond, la glaçure s'infiltré dans la couche supérieure de l'engobe et forme de nouveaux composés avec les grains de quartz.

Un exemple de tesson sans engobe est présenté dans les figures 5 a et 5 b : la couleur noire (à droite) et la glaçure (couche claire avec des bulles) sont appliquées directement sur les gros grains de quartz, la zone sombre au-dessus de la glaçure provient de la résine d'enrobage. Nous observons, comme dans la figure 4 a, la zone « perturbée » entre la glaçure et la pâte siliceuse. Dans certains cas, il est difficile de déterminer si un engobe a été appliqué volontairement ou s'il s'agit simplement d'un effet provenant du lissage de la surface de l'objet pendant son façonnage. Dans le tableau III, nous avons résumé les résultats de nos observations.



Les lames minces nous ont également permis de déterminer les grandeurs des grains de quartz dans quatre tessons (98-636-9, 98-636-10, 98-636-11, 98-636-12) : en moyenne, elles se situent entre 25 et 120 microns.

Des douze objets examinés, deux ont certainement un engobe (98-636-9 et 98-636-11), deux pourraient éventuellement en avoir un (98-636-15 et 98-636-17), deux probablement pas (98-636-16 et 98-636-20), et six certainement pas. L'épaisseur des engobes se situe entre 0,16 et 0,33 mm, il s'agit donc d'une couche extrêmement fine.

D. Composition des couleurs

L'identification de la nature des pigments utilisés pour la décoration s'est faite par trois différentes approches. Dans un premier temps, nous avons tenté de les analyser par micro-spectrométrie de fluorescence X directement à travers la glaçure transparente. Comme deuxième méthode d'analyse, nous avons utilisé le microscope électronique à balayage du Muséum d'histoire naturelle en travaillant sur les coupes transversales. Finalement, en parallèle avec l'analyse des glaçures par la microsonde, nous avons également effectué les examens des couleurs.

Micro-spectrométrie de fluorescence X (Laboratoire, MAH). Dans le tableau VI nous avons présenté les résultats des analyses qualitatives obtenues par micro-spectrométrie de fluorescence X. Ce sont des analyses effectuées directement sur la glaçure, à travers ou dans laquelle on voit des couleurs : fonds blancs, bleus, noirs et rouges.

Les blancs. L'effet du blanc est uniquement obtenu par la couleur blanche du tesson ou de l'engobe. Nous n'avons détecté aucune trace d'étain ou d'un autre opacifiant. Les teneurs en plomb sont très faibles, nous les discuterons à propos de l'analyse de la glaçure.

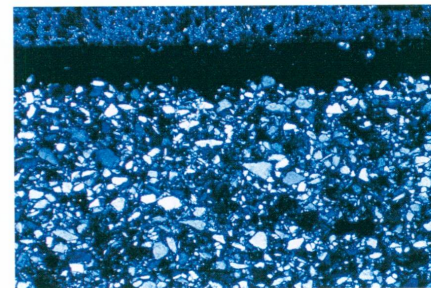
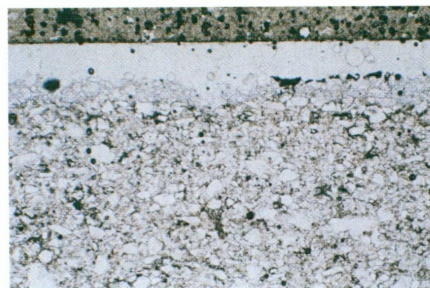
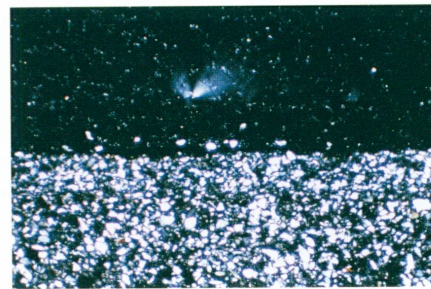
Les bleus. Bien que nous puissions supposer que le cobalt est responsable de la couleur bleue, il n'était pas facile de mettre sa présence en évidence par cette méthode d'analyse. Ceci est dû à la faible concentration qui est nécessaire pour obtenir déjà une coloration intense et au fait que dans le spectre de fluorescence X la ligne du cobalt est facilement masquée par la ligne du fer. Sur six des objets analysés contenant la couleur bleue, nous avons pourtant réussi à mettre en évidence la présence du cobalt. Nous avons recherché la présence du manganèse et de l'arsenic, souvent associés au minerai de cobalt. Le manganèse est présent comme impureté, même dans les analyses des parties blanches de la glaçure. Il n'est donc pas possible de déterminer s'il est lié à la présence de cobalt. L'arsenic est présent dans quatre analyses (98-636-10, 98-636-15, 98-636-16 et 98-636-18).

Les noirs. Certains tessons sont caractérisés par la présence de fer et de chrome indiquant l'utilisation de la chromite (un spinel de fer et chrome) comme colorant.

Les rouges Dans la série des tessons analysés, un seul contient du rouge (98-636-9). Nous avons donc également analysé une gourde à décor rouge de la même époque (98-821, inv. AR 97-347). Les deux analyses montrent clairement qu'il s'agit de rouge à base de fer.

Dans presque toutes les analyses (fonds blancs, bleus, noirs ou rouges) nous avons constaté la présence de cuivre et de zinc en faibles quantités. Nous pensons qu'il s'agit d'une contamination et non d'éléments ajoutés intentionnellement.

3. Coupe transversale du tesson 98-636-12. Ce tesson représente un cas particulier où le pigment a été posé sur la glaçure (grossissement et agrandissement 22,2 ×).



21. Voir ci-dessous p. 179 les analyses par micro-sonde pour plus de détails sur ce point

Microscope électronique à balayage. L'examen par cette technique s'est effectué sur la tranche des fragments en utilisant les coupes transversales préparées pour l'étude de la stratigraphie. Cette approche présente l'avantage que l'examen ne doit plus se faire à travers la glaçure, les pigments étant ainsi directement accessibles au faisceau analyseur du MEB dans la coupe transversale.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à la morphologie des pigments noirs et à leur composition qualitative. Par la suite, nous avons tenté de détecter la présence du cobalt dans des zones bleues de la glaçure. Finalement nous espérons pouvoir déterminer la présence d'arsenic ou de manganèse dans la glaçure colorée par le minéral de cobalt.

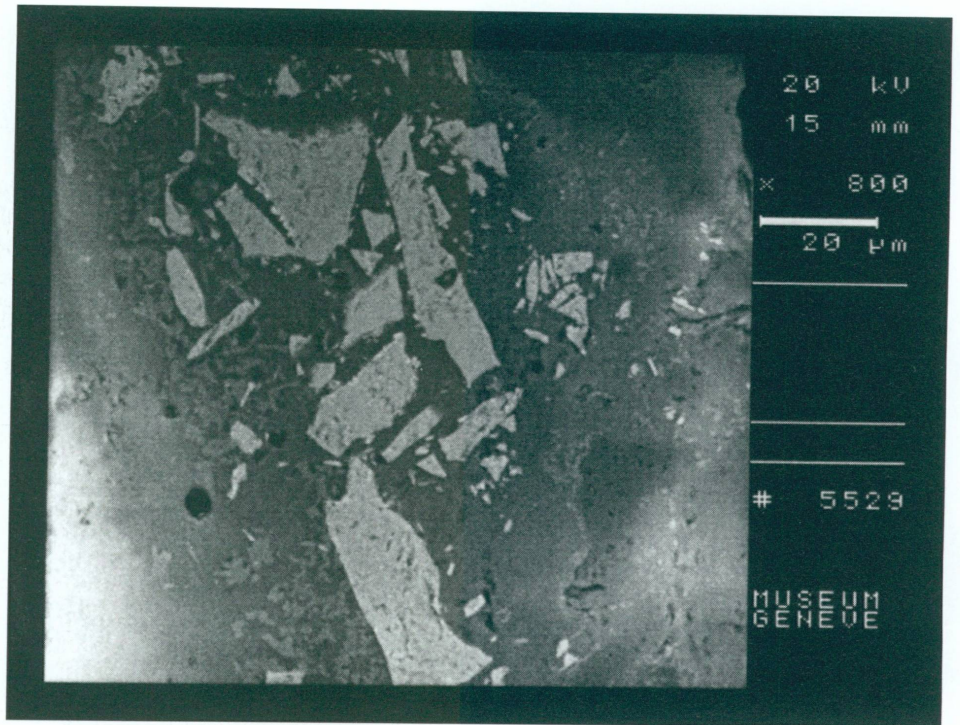
Les noirs. Nous avons fait examiner dix coupes transversales : les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau IV. Généralement, le pigment était finement broyé et la grandeur des grains ne dépasse pas 30 microns. La forme des grains varie ; parfois ronde, parfois allongée ou en forme d'aiguille. L'analyse ponctuelle, effectuée sur un grain du pigment, montre la présence de chrome et, en nettement plus faible quantité, de fer (98-636-15, fig. 6 a, b, c). Nous notons la présence de magnésium et d'aluminium associée à ces deux éléments, le magnésium ayant des concentrations nettement plus élevées dans les grains que dans la glaçure (voir les cartographies des fig. 6 b et c). Le silicium est toujours présent en grande quantité, mais la concentration de potassium, de sodium et de calcium varie. Le pigment noir est donc de la chromite, soit du type magnésium-chromite $MgCr_2O_4$, soit du type ferro-chromite $FeCr_2O_4$, soit un mélange des deux. Les grains du pigment noir ne se sont pas dissous dans la matrice de la glaçure. Une certaine diffusion du chrome autour des grains est pourtant visible sur les cartographies de cet élément²¹.

les bleus. L'examen au microscope électronique à balayage des zones de la glaçure teintées en bleu ne permet pas de mettre en évidence des grains de pigments. Ils ont

4. a. Lame mince du tesson 98-636-11, mettant en évidence la présence d'un engobe sous le pigment noir (microscope pétrographique, lumière normale ; grossissement et agrandissement $18,6 \times$)

b. Même lame observée en lumière polarisée, mettant en évidence les grains de quartz : les angles vifs des grains de quartz prouvent qu'ils ont été fraîchement broyés (grossissement et agrandissement $18,6 \times$).

5. a. Lame mince du tesson 98-636-14, mettant en évidence l'absence d'engobe et la zone perturbée (lumière normale, grossissement et agrandissement $18,6 \times$) | b. Même lame observée en lumière polarisée : estimation visuelle de la teneur en quartz ~ 80 % (grossissement et agrandissement $18,6 \times$).



6. Pigment noir du tesson 98-636-15

- a. Examen au microscope électronique à balayage, en électrons rétrodiffusés (échelle de grandeur indiquée sur la photographie)
 b. Cartographie (MEB) du chrome confirmant que les grains noirs sont constitués de chromite (échelle de grandeur indiquée sur la photographie)

dû se dissoudre dans la masse siliceuse de la glaçure pendant la cuisson ou être appliqués en forme de « fritte » de verre colorée. L'analyse qualitative portait évidemment sur la détection du cobalt qui, à notre avis, doit être responsable de la coloration. Le résultat est, il faut l'admettre, décevant. Dans aucune des coupes analysées, à l'exception du numéro 98-636-13, nous n'avons pu déceler ni la moindre trace de cobalt, ni



celle d'arsenic ou de manganèse. Dans le cas de la coupe 98-636-13, la trace de cobalt se situe dans un grain du pigment noir. Il semble que la concentration du cobalt soit inférieure à la limite de détection du microscope électronique à balayage utilisé dans cette recherche. En effet, il est bien connu que de très faibles concentrations de cobalt (0,5 à 1 %) sont utilisées par les potiers dans les recettes pour des glaçures colorées en bleu.

Analyse quantitative du pigment noir par micro-sonde (IMG). Nous avons profité de l'analyse quantitative de la glaçure à l'aide de la micro-sonde pour examiner également à l'aide de cette technique le pigment noir de quatre fragments (98-636-11, 98-636-15, 98-636-16, 98-636-18). Sur chaque coupe nous avons analysé deux grains. Les résultats sont présentés dans le tableau V et exprimés en pourcentage des oxydes.

Ces résultats confirment ceux obtenus au microscope électronique à balayage mais permettent également de mieux comprendre les intensités relatives observées des analyses qualitatives. Trois des quatre pigments noirs (98-636-15, 98-636-16, 98-636-18) ont des compositions similaires. Ils contiennent de 52 à 60 % de chrome, de 13 à 18 % de magnésium, de 10 à 17 % d'aluminium et de 5 à 10 % de fer. Le quatrième (98-636-11) contient une quantité considérable de cobalt (16 à 17 %), plus de fer (12 à 14 %), mais nettement moins de magnésium (7 à 8 %), d'aluminium (6 à 8 %) et de chrome (46 à 50 %). La présence de cobalt dans ce pigment est intéressante. Les photos prises lors d'analyses à la microsonde montrent bien qu'il ne s'agit pas d'un mélange de pigments à base de cobalt et de chromite mais que le cobalt fait partie de la composition des deux grains analysés.

Les teneurs en silice sont, à l'exception de l'analyse 98-636-11-7, très basses, comme celles du sodium, du potassium et du calcium.

6. Pigment noir du tesson 98-636-15
c. Cartographie (MEB) du magnésium confirmant qu'il s'agit de la chromite du type $MgCr_2O_4$ (échelle de grandeur indiquée sur la photographie)

E. Composition des glaçures

Pour l'analyse des glaçures nous avons utilisé deux approches différentes :

- détermination du type de glaçure (plombifère ou alcaline) à l'aide de la micro-spectrométrie de fluorescence de rayons X dans notre laboratoire (MAH, Genève);
- détermination de la composition quantitative par la micro-sonde (IMG, Lausanne).

Analyse qualitative par micro-spectrométrie de fluorescence de rayons X (MAH).

L'objectif de cet examen se limitait à distinguer les glaçures alcalines des glaçures plombifères. Les résultats des analyses effectuées sur la surface de la glaçure (emplacements sans décoration) sont présentés dans le tableau VI. Avant de les commenter, une remarque s'impose. Notre appareil, comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, ne détecte pas les éléments légers tels le silicium, l'aluminium, le magnésium ou le sodium, à cause de l'air qui se trouve entre l'objet et la fenêtre du spectromètre. Pour distinguer les deux types de glaçure nous devons donc nous baser sur la présence ou l'absence du plomb. Cette restriction nous a motivés pour évaluer la teneur en plomb en utilisant des étalons de verre plombifère, tout en sachant qu'une analyse de surface doit être considérée avec beaucoup de prudence. Elle montre très clairement que toutes les glaçures sont de type alcalin. Des dix-neuf fragments, neuf des objets examinés ne montrent aucune trace de plomb (98-636-6, 98-636-7, 98-636-8, 98-636-10, 98-636-11, 98-636-12, 98-636-13, 98-636-16, 98-636-18), cinq une très faible quantité (98-636-2, 98-636-14, 98-636-15, 98-636-17, 98-636-19), quatre des teneurs entre 0,4 et 1,2 % (98-636-1, 98-636-3, 98-636-4, 98-636-5) et finalement un a une teneur entre 2 et 3 % (98-636-9). À notre avis, ces faibles quantités de plomb n'ont pas été ajoutées de manière intentionnelle.

Analyse quantitative par la micro-sonde (IMG). L'analyse a été effectuée sur la tranche de la coupe transversale d'un certain nombre de prélèvements enrobés dans une résine synthétique. Nous avons limité l'analyse à sept prélèvements provenant de fragments (98-636-11, 98-636-12, 98-636-14, 98-636-15, 98-636-16, 98-636-17, 98-636-18) et deux provenant de plats de la collection du Musée Ariana (98-636-19 et 98-636-20). Comme le faisceau analyseur de la micro-sonde ne traite qu'une très petite surface (env. 10×10 microns), nous avons analysé entre deux et dix endroits de la glaçure afin d'obtenir des résultats représentatifs. Les résultats exprimés en pourcent des oxydes sont présentés intégralement dans le tableau VII pour les constituants principaux d'une glaçure.

À première vue, il se dégage de ce tableau une image d'une très grande homogénéité, aussi bien pour les différentes analyses de la même glaçure que pour celles des différents objets. Les deux plats du Musée Ariana s'intègrent parfaitement dans l'ensemble. Les teneurs en sodium sont élevées (12 à 14 %). Il s'agit sans doute du principal fondant utilisé pour baisser la température de fusion de la silice. La teneur en potassium (2 à 3,5 %) et calcium (3,5 à 7,5 %) est nettement plus faible. Celle en magnésium (2,5 à 4 %) est, pour une glaçure, relativement élevée. Celle de l'aluminium, par contre, est très basse (1,5 à 2,7 % : on observe toutefois un taux exceptionnel de 4,5 % pour l'analyse 98-636-12-051). Les glaçures contiennent très peu de fer (0,1 à 1 %, avec deux exceptions : 98-636-15-052 à 1,5 % et 98-636-20-10 à 1,4 %). Finalement, les teneurs en manganèse se situent entre 0,01 et 0,26 % et dans quelques cas au-dessous de la limite de détection de la micro-sonde (0,01 %).

22. Voir ALLAN 1973 et WULFF 1966

23. Voir MASON/TITE 1994

24. Voir TITE 1989

25. Voir ALLAN 1973

26. Voir WULFF 1966

27. Voir CENTLIVRES-DEMONT 1971

28. ALLAN 1973, p. 115

29. WULFF 1966, note p. 147

Discussion

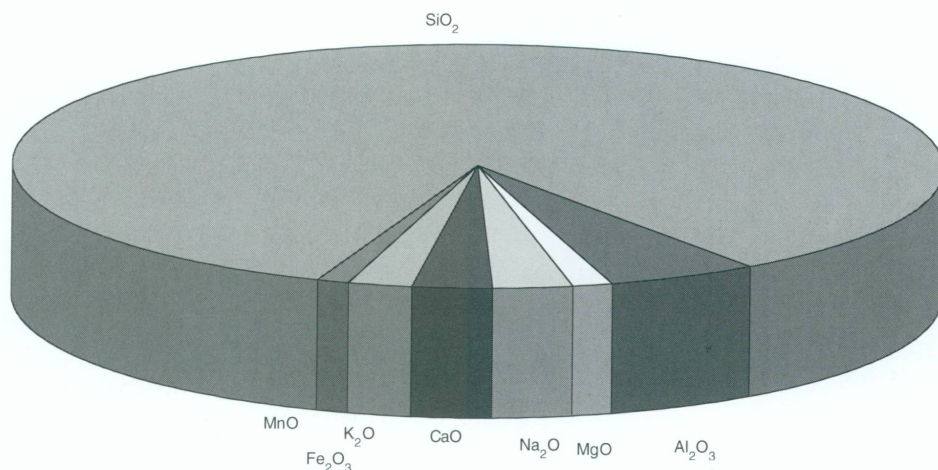
Après avoir obtenu les résultats sur les différentes pièces du musée, il convient maintenant de les comparer avec ceux obtenus par d'autres chercheurs travaillant sur le même genre d'échantillons, mais dans des institutions extérieures à la nôtre.

A. La pâte

Les résultats des analyses effectuées par spectrométrie de fluorescence X et par l'étude pétrographique à l'aide de coupes minces indiquent clairement que les pâtes examinées correspondent bien au type de céramiques siliceuses décrites dans le traité d'Abû'l-Qâsim datant du début du XIV^e siècle²² (fig. 7). Cette pâte siliceuse, connue dans la littérature sous différents noms (stonepaste, fritware, artificial paste, kashi, faïence) devient, à partir du XI^e siècle, la pâte universelle de la céramique islamique de haute qualité²³. Si les analyses nous permettent d'identifier le type de pâte produit par les potiers persans du XVII^e siècle, elles ne nous donnent par contre que très peu de renseignements sur les différents constituants des matières premières utilisées par les potiers pour la production même des objets. À l'exception du quartz, les constituants forment pendant la cuisson de nouvelles phases minéralogiques. Une tentative de mettre en relation les analyses de la pâte et sa composition minéralogique a été entreprise par M. Tite dans son travail sur la céramique d'Iznik²⁴. Nous avons essayé de l'appliquer à nos résultats mais la démarche nous a semblée trop théorique et pas assez liée à la réalité du travail d'un potier. Nous nous sommes donc tournés d'une part vers les anciens traités, en particulier celui d'Abû'l-Qâsim²⁵, d'autre part vers les études de terrain de H. Wulff²⁶ et M. Centlivres-Demont²⁷, et nous les avons comparés à nos résultats. Cette démarche nous permet d'imaginer de quelle manière les potiers du XVII^e siècle ont produit les pâtes siliceuses des céramiques *bleu et blanc*.

En principe, les pâtes sont constituées de trois parties : de la poudre de quartz, une argile blanche et de la « fritte ». Le terme « fritte » peut être remplacé par « poudre de verre ». Chaque constituant remplit une fonction bien déterminée : la poudre de quartz donne à la pâte sa blancheur et sa stabilité, l'argile sert de « liant » avant la cuisson et permet le façonnage des objets, et la « fritte » garantit la cohésion de ce mélange après la cuisson par son pouvoir de fondant.

Les matières premières sont soigneusement choisies afin de garantir une céramique de haute qualité. La poudre de quartz provient de galets ou de grains de quartz que les potiers choisissent pour leur pureté. Ils sont par la suite concassés et broyés afin d'obtenir une fine poudre. Le choix de l'argile est important. Elle doit être très blanche et plastique. Les potiers n'hésitent pas à la transporter sur de longues distances. Finalement, la « fritte » est le produit de fusion entre la poudre de quartz et des cendres végétales. Ces cendres proviennent d'une plante désertique riche en sodium (*Salsola soda*). Elle est recueillie par les potiers et brûlée dans des grands trous creusés dans le sol. Il est important de noter qu'Abû'l-Qâsim parle de deux différentes pierres pour la fabrication de la « fritte ». D'une part, le *shukar-e sang* qui peut être identifié comme du quartz et, d'autre part, la pierre *qamsari* dont la nature est sujette à discussion. Selon J. Allan²⁸, il s'agit d'un silicate de magnésium et selon H. Wulff²⁹ d'un borosilicate. La teneur élevée en magnésium observée dans certaines analyses peut éventuellement s'expliquer par l'utilisation de ce type de « fritte » ou par un mélange des deux.



30. Tournassage : opération qui permet aux potiers de donner à l'objet tourné sa forme finale. Elle se fait sur le tour à l'aide d'outils tranchants en métal dès que le degré de séchage de la pâte permet de résister à cette intervention. Elle est utilisée, en particulier, pour des pâtes difficiles à tourner à la main.

31. TITE 1989, pp. 122-123

Si l'on compare les recettes indiquées par le traité d'Abû'l-Qâsim et celles des deux études de terrain du XX^e siècle, on est frappé par la similitude de proportion des trois constituants, comme le montre le tableau ci-après. Il semble que les potiers islamiques, et non seulement persans, aient tenu à garder pendant des siècles les mêmes proportions qui leur permettaient de produire cette céramique si appréciée. Voici les recettes de pâtes des XIV^e et XX^e siècles :

Quartz %	Argile %	Fritte %	Référence
83	8,5	8,5	Abû'l-Qâsim (XIV ^e s.)
70-80	10-20	10	H. Wulff (XX ^e s.)
72	15,5	12,5	M. Centlivres-Demont (XX ^e s.)

Le façonnage d'objets avec cet étrange mélange n'est pas facile. Selon H. Wulff, les «*stone paste potters*» de l'Iran du XX^e siècle appartenait à la classe la plus élevée des potiers. Les pièces sont souvent tournées sur le tour en deux ou trois parties et par la suite assemblées à l'aide de barbotine. Une importante partie du travail est effectuée par tournassage³⁰ à l'aide de racloirs. Une autre technique consiste à donner la forme à l'objet en utilisant des estèques en métal qui possèdent le profil des objets à façonner.

Dans un projet pilote, nous avons entrepris, en collaboration avec Annelise Schweizer, céramiste à Morges, quelques essais de reproduction expérimentale : mélanges, façonnage, engobe, application des couleurs. Dans une première série, nous nous sommes intéressés aux proportions du mélange. Nous avons constaté que la proportion de 80 % de poudre de sable de quartz est effectivement la limite supérieure qui donne encore une pâte malléable. Elle peut relativement facilement être pressée dans un moule. Le travail au tour de potier est par contre extrêmement délicat et nous sommes pleins d'admiration devant la maîtrise des potiers persans.

B. L'engobe

7. Composition moyenne de sept analyses de la pâte selon le tableau II : on note une teneur importante en silice

La question de la présence ou de l'absence d'engobe dans la céramique persane n'a jusqu'à présent pas fait l'objet d'une étude en laboratoire. M. Tite, dans son étude des céramiques d'Iznik³¹, observe des engobes qui sont très proches de ceux que nous avons trou-

32. CENTLIVRES-DEMONT 1971, p. 27
33. TITE 1989, p. 123
34. ALLAN 1973, p. 116
35. WULFF 1966, p. 164
36. WULFF 1966, p. 163
37. CENTLIVRES-DEMONT 1971, p. 26
38. LADAME 1944-1945
39. DIEHL 1944-1945

vés sur certains de nos tessons. Pour la céramique persane, nous pouvons donc uniquement comparer nos résultats aux anciens traités et aux études de terrain. Abû'l-Qâsim ne se prononce pas à ce sujet. H. Wulff indique l'utilisation d'un engobe composé de 90 % de poudre de quartz, de 7 à 9 % d'argile (bentonite) et de 1 % de gomme adragante. Selon M. Centlivres-Demont, l'engobe se compose de 2 % d'argile blanche, de 9 % de silice et de 89 % de verre (ou de « fritte » et de poudre de verre mélangées) sur lesquels on verse une colle épaisse à base de gomme adragante ou d'empois³².

Nos résultats montrent que l'application d'un engobe ne se pratiquait pas toujours au XVII^e siècle. Parmi les douze tessons analysés, nous sommes sûrs que deux contiennent un engobe. L'observation des lames minces montre que le sable de quartz utilisé pour l'engobe est plus fin que celui de la pâte. Après la cuisson, les analyses chimiques ne permettent plus de déterminer la proportion des constituants (argile et « fritte »), puisqu'ils forment une seule masse vitreuse. L'emploi d'un engobe permettait aux potiers persans d'égaliser la surface du tesson avant l'application du décor. M. Tite a constaté une plus faible teneur en fer dans l'engobe que dans le tesson³³. En observant les coupes transversales, nous n'avons pas constaté de différence significative dans la « blancheur » des pâtes avec ou sans engobe, ni une teneur en fer différente. La question de savoir si l'engobe servait uniquement, comme beaucoup d'auteurs le croient, à créer un contraste entre le décor et le fond blanc, reste donc ouverte.

C. Le décor

Dans le cadre de notre étude, nous n'avons rencontré que trois couleurs : rouge, bleu et noir.

Le rouge est à base de fer. Il s'agit certainement d'un oxyde de fer naturel (hématite) qui est appliqué directement sur le tesson ou l'engobe.

La coloration bleue est due au cobalt. Sa concentration dans la glaçure est très faible, ce qui rend son identification difficile. Il est également difficile de dire si le cobalt a été appliqué sous forme de pigment finement broyé sur le tesson ou sous forme de poudre de verre coloré. Sa dissolution dans la glaçure est souvent complète. Nous pensons pourtant avoir pu reconnaître dans deux cas des restes de pigments à travers la glaçure transparente, indiquant une application sous forme de pigment. J. Allan, dans sa traduction du traité d'Abû'l-Qâsim, cite un texte de A. H. Schindler qui décrit en 1896 l'application du pigment par les potiers persans³⁴ : selon ce rapport, ces derniers mélangent le pigment de cobalt avec la même quantité de poudre de quartz et ajoutent de la gomme afin d'augmenter l'adhésion à la surface du tesson. H. Wulff, par contre, mentionne l'application d'une poudre de verre préalablement coloré à l'aide d'oxydes métalliques³⁵. À la fin du XIX^e siècle, selon A. H. Schindler, les mines utilisées pour extraire le minerai de cobalt se trouvaient dans la région de Kansar. Le minerai purifié fut exporté vers Kashan, Qum et Isfahan. Il est intéressant de noter que H. Wulff mentionne encore l'utilisation de pigment de cobalt d'origine locale en 1940³⁶. M. Centlivres-Demont, par contre, observe en 1966 déjà l'importation de ce colorant d'Allemagne³⁷. Des inventaires des ressources métallifères en Iran ont été exécutés par G. Ladame³⁸ et E. Diehl³⁹. Selon le premier auteur, des gisements de cobaltite (CoAsS) se trouvent dans la région de Meskani dans le district d'Anarak. E. Diehl cite des gisements d'érythrite (Co₃(AsO₄).8H₂O) dans la région de Kashan, et également de cobaltite vers Meskani.

40. ALLAN 1973, p. 112 et p. 117
 41. WULFF 1966, p. 163 et p. 166
 42. PERNICKA/MALISSA 1976
 43. KEBLOW 1987
 44. PERNICKA/MALISSA 1976, p. 107
 45. TITE 1989, p. 126
 46. TITE 1989, p. 126
 47. TITE *et alii* 1998

Le pigment noir est d'un intérêt particulier. Abû'l-Qâsim le nomme *muzzurad* et compare sa couleur au kohl⁴⁰. E. Wulff mentionne un pigment noir, nommé *siyahqalam*, provenant d'une mine proche de Natanz qui contient 85 % de chromite, 10% de manganèse et 5% de silicate de magnésium⁴¹. Nos analyses confirment l'utilisation d'un pigment à base de chrome pour la décoration noire des tessons. Une étude en laboratoire entreprise en 1980 par E. Pernicka et H. Malissa sur des céramiques du XI^e au XIV^e siècle d'Afghanistan (province de Nimruz) a donné des résultats qui concordent très bien avec les nôtres⁴². A.-M. Kéblow, dans une étude intéressante sur une céramique syrienne du XIII^e siècle, a également décrit l'utilisation de la chromite⁴³. La chromite se trouve dans la nature sous deux formes : magnésium-chromite ($MgCr_2O_4$) et ferro-chromite ($FeCr_2O_4$). Parmi nos analyses, nous trouvons des pigments noirs plus riches en magnésium, d'autres plus riches en fer, indiquant que les deux types de chromite auraient été employés.

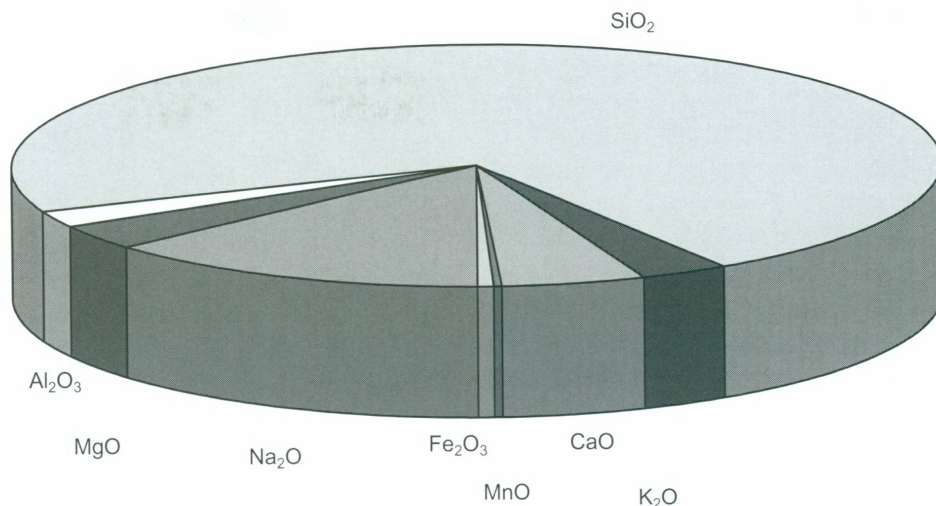
La chromite ne se dissout pas dans la glaçure au cours de la cuisson. Les grains restent intacts sur la surface du tesson ou de l'engobe. Selon les analyses avec la micro-sonde, le chrome ne diffuse que très légèrement des grains vers la phase vitreuse. Les images au microscope électronique à balayage montrent également des grains intacts (fig. 6 a). Les potiers persans ont su profiter des propriétés de la chromite pour créer des décors noirs extrêmement fins ne changeant pas pendant la cuisson. Ces décors entourent souvent les décors bleus, exécutés au cobalt. En regardant les céramiques, on a parfois l'impression que la diffusion du bleu de cobalt aurait été arrêtée par le trait noir. Nous nous sommes donc posé la question suivante : la chromite aurait-elle absorbé ou adsorbé le cobalt, l'empêchant ainsi de migrer au-delà du trait ? E. Pernicka et H. Malissa ont effectivement observé un pouvoir d'absorption de la chromite pour le cuivre. Ils ont également trouvé de faibles quantités de cuivre et de cobalt dans le pigment noir constitué de chromite⁴⁴. Dans son travail sur la céramique d'Iznik, M. Tite a observé des concentrations importantes de cuivre ou de cobalt dans le noir de chromite, si ce dernier se trouvait à proximité ou recouvert par une coloration verte ou bleue⁴⁵. Il a également constaté que le magnésium et le fer faisant partie de la chromite sont remplacés par le cuivre ou le cobalt.

Nous avons également observé la présence de cobalt dans la chromite (98-636-11). Peut-on donc formuler l'hypothèse que les décorations noires entourant les zones colorées en bleu par le cobalt empêchent ce dernier de migrer ? À notre avis cette question reste ouverte pour l'instant, bien que les travaux de M. Tite le laissent supposer⁴⁶. Sur plusieurs coupes nous avons observé que la coloration bleue dépasse le trait noir sans être absorbée. Il nous semble que le contraste entre les traits noirs, qui sont d'une très grande netteté, et la décoration fluide et floue du bleu de cobalt donne l'impression que ce dernier aurait été « arrêté » par les traits. Nous espérons pouvoir bientôt entreprendre des essais pratiques en laboratoire dans ce domaine.

Comme nous l'avons dit plus haut, toutes les décorations des tessons examinés, à une seule exception (98-636-12), sont du type « sous-glaçure ».

D. La glaçure

Toutes les glaçures transparentes analysées sont du type alcalin et ne contiennent pas de colorants. À notre avis, les faibles teneurs en plomb observées dans certaines glaçures (0,4 à 2,3 %) ne sont pas intentionnelles. M. Tite et son équipe ont effectué des travaux sur la présence de plomb dans la glaçure⁴⁷. L'examen sous la loupe binoculaire montre



48. LAMBERCY 1993, p. 380

49. GREEN 1963, pp. 50-59

50. WULFF 1966, p. 166

51. CENTLIVRES-DEMONT 1971, p. 27

que les glaçures adhèrent bien aux tessons. Du point de vue chimique, il s'agit de glaçures dont les compositions sont donc proches d'un verre sodique (fig. 8). La teneur en sodium se situe en moyenne autour de 14 %. Afin de comparer la composition des glaçures avec celles utilisées par les céramistes⁴⁸, nous avons converti la composition chimique en formule « Seger » ou « moléculaire » selon la méthode de Green⁴⁹. Cette formule compare les proportions de la somme des oxydes basiques à celles de l'alumine et de la silice et permet ainsi au céramiste de caractériser une glaçure. En prenant la moyenne de nos analyses nous obtenons la formule « Seger » suivante:



La teneur en alumine est extrêmement basse et la composition des glaçures est proche de celles d'un verre sodique. La raison de l'utilisation de ce type de glaçure ne nous est pas connue. Sa composition est en accord avec les « recettes » indiquées dans les études de terrain de H. Wulff et M. Centlivres-Demont. Dans la recette de H. Wulff⁵⁰, les matières premières sont en principe les mêmes que celles utilisées pour la fabrication de la « fritte », un des constituants de la pâte siliceuse. Les potiers sélectionnent spécialement des pierres de quartz très blanches pour la préparation de la glaçure. Afin de faciliter l'application de la glaçure sur le cru, on ajoute, selon les observations de H. Wulff, de la gomme adragante. Selon M. Centlivres-Demont, celle-ci est remplacée quelquefois par 1 à 2 % de farine⁵¹.

E. Les *bleu et blanc* persans du XVII^e siècle et l'évolution des pâtes siliceuses au Moyen-Orient

Les céramiques examinées dans le cadre de notre étude s'intègrent parfaitement dans la production des céramiques à pâte siliceuse du Moyen-Orient. Les différentes études entreprises sur les céramiques provenant du monde islamique donnent des résultats qui sont très proches de ceux que nous avons obtenus. Les pâtes sont toutes caractérisées par trois composantes : une importante proportion de sable de quartz (env. 80 %), et des parties égales d'argile et de « fritte ». Décrit la première fois au XIV^e siècle par Abû'l-Qâsim,

8. Composition moyenne d'analyses de la glaçure sur 7 fragments selon tableau VII. On note l'importante teneur en sodium provenant de l'utilisation de cendres végétales.

52. Voir CENTLIVRES-DEMONT 1971 et WULFF 1966

53. WULFF 1966, p. 146

54. MASON/TITE 1994

la recette semble toujours la même au XX^e siècle⁵². L'origine de ce type de céramique est, selon H. Wulff, à chercher dans les efforts entrepris par les potiers persans pour imiter la porcelaine chinoise introduite en grande quantité au cours du règne des Seldjoukides (X^e-XII^e siècles)⁵³. R. Mason et M. Tite, dans leur travail sur les origines des pâtes siliceuses dans le monde islamique⁵⁴, avancent l'hypothèse d'un développement indépendant des techniques liées à la production de la faïence égyptienne, dans l'Irak du IX^e siècle. Par la suite, cette nouvelle technique aurait été introduite par des potiers itinérants en Égypte et développée dans son stade final aux X^e et XI^e siècles. Le succès de cette céramique à pâte siliceuse s'explique, selon R. Mason et M. Tite, par le fait que les potiers dépendaient moins de la présence de dépôts de kaolin pour produire des céramiques de haute qualité. La quantité d'argile nécessaire pour la production d'une pâte siliceuse est faible, comme nous l'avons décrit. Elle peut être amenée d'une certaine distance au site de production.

Bibliographie

- ALLAN 1973 James W. Allan, « Abū'l-Qāsim's Treatise on Ceramics », *Iran Journal of the British Institute of Persian Studies*, vol. XI, 1973, pp.111-120
- ALLAN/LLEWELLYN/SCHWEIZER 1973 James W. Allan, Lorna R. Llewellyn, François Schweizer, « The History of so-called Egyptian Faience in Islamic Persia : Investigations into Abū'l-Qāsim's Treatise », *Archaeometry*, vol. 15.2, 1973, pp. 165-173
- CENTLIVRES-DEMONT 1971 Micheline Centlivres-Demont, *Une communauté de potiers en Iran · Le centre de Meybod (Yazd)*, Wiesbaden 1971
- DIEHL 1944-1945 E. Diehl, « Beitrag zur Kenntnis der Erzfundstellen Irans », *Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie*, vol. 24-25, 1944-1945, pp. 334-379
- GREEN 1963 D. Green, *Understanding Pottery Glazes*, Londres 1963
- HENDERSON 1989 Julian Henderson, « Iznik Ceramics : a Technical Examination », dans Nurhan Atasoy, Julian Raby, *Iznik · The Pottery of Ottoman Turkey*, pp. 65-69, Londres 1989
- KEBLOW 1987 Anne-Marie Keblow, « Application of Chromite and Alcaline Glaze on Islamic Ceramic Ware and Attempts of Reconstitution », dans Comité de l'ICOM pour la conservation, *VIII Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6-11 September 1987*, Preprints vol. III, pp. 997-1001
- LADAME 1944-1945 Georges Ladame, « Les ressources métallifères de l'Iran », *Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie*, vol. 24-25, 1944-1945, pp. 165-298
- LAMBERCY 1993 E. Lambercy, *Les matières céramiques et leur transformation par le feu*, Banon 1993
- MASON 1995 Robert B. Mason, « Criteria for the Petrographic Characterization of Stonepaste Ceramics », *Archaeometry*, vol. 37.2, 1995, pp. 307-321
- MASON 1996 Robert B. Mason, « The Response I : Petrography and Provenance of Timurid Ceramics », dans Lisa Golombek, Robert B. Mason, Gauvin A. Bailey, *Tamerlane's Tableware · A new Approach to the Chinoiserie Ceramics of Fifteenth- and Sixteenth-Century Iran*, Toronto 1996, pp. 16-56
- MASON/TITE 1994 Robert B. Mason, Michael S. Tite, « The Beginnings of Islamic Stonepaste Technology », *Archaeometry*, vol. 36.1, 1994, pp. 77-91
- PERNICKA/MALISSA 1976 Ernst Pernicka, Hans Malissa, « Examination of Islamic Glazes with Electron Microprobe », dans E. A. Slater, J. O. Tate (éd.), *Proceedings of the 16th International Symposium on Archeometry and Archeological Prospection (Edinburgh 1976)*, Édimbourg 1980, pp. 96-111
- TITE 1989 Michael S. Tite, « Iznik Pottery : an Investigation of the Methods of Production », *Archaeometry*, vol. 31.2, 1989, pp. 115-132
- TITE *et alii* 1998 Michael S. Tite, Ian Freestone, Robert B. Mason, J. Molera, M. Vendrell-Saz and Nigel Wood, « Lead Glazes in Antiquity – Methods of Production and Reasons for Use », *Archaeometry*, vol. 40.2, 1998, pp. 241-260
- WULFF 1966 Hans E. Wulff, *The Traditional Crafts of Persia · Their Development, Technology, and Influence on Eastern and Western Civilisations*, Massachusetts 1966

Crédits photographiques

Laboratoire des Musées d'art et d'histoire, Genève, Martine Degli Agosti, fig. 1 a-e, 2 a-c, 3
Muséum d'histoire naturelle, Genève, Pierre-Alain Prox, fig. 4 a-b, 5 a-b | Muséum d'histoire
naturelle, Genève, Jean Wuest, fig. 6 a-c

Adresse des auteurs

François Schweizer, conservateur-
restaurateur, Martine Degli Agosti,
laborantine, Laboratoire de recherche
et ateliers de restauration des Musées
d'art et d'histoire, boulevard Émile-
Jaques-Dalcroze 11, case postale
3432, CH-1211 Genève 3

TABLEAU I
Description des fragments

Observations faites sur la coupe transversale et directement sur le tesson décoré

N° Labo MAH	Dimensions (max.) mm	Épaisseur mm	Tesson/pâte	Glaçure et décoration
98-636-1	75 × 22 (angle)	8	Poreux, grains de quartz entourés d'une masse d'un blanc très pur. Pas d'engobe visible	Assez fortement irisée et cristallisée en surface. Décoration bleue sous la glaçure, difficile à observer à cause de l'irisation de la glaçure. Pas de pigment noir. Beaucoup de bulles d'air.
98-636-5	47 × 33	2,5 - 4,5	Poreux, grains de quartz relativement fins entourés de masse très blanche. Pas d'inclusions visibles.	Beaucoup de bulles d'air, peu de craquelures. Côté intérieur fortement irisé, en partie des cratères, en partie des superbes « motifs floraux ». Décoration seulement en bleu, mais ce bleu apparaît en partie presque noir. Grains de pigments bleus visibles dans les parties les plus sombres.
98-636-7	22 × 17	2,5	Grains de quartz entourés d'une masse très blanche.	Pas de craquelures dans la glaçure. Très beau bleu. Complètement dissous dans la glaçure. Quelques points noirs proviennent probablement du pigment noir. La décoration bleue <i>dépasse</i> souvent le trait noir. Pigment noir : aucune dissolution dans la glaçure. Appliqué au <i>pinceau</i> (densité du pigment plus forte à la fin du trait).
98-636-8	19 × 13	3,5	Poreux, grains de quartz entourés d'une masse très blanche.	Quelques grandes craquelures, beaucoup de bulles. Bleu très pâle. Noir : pigments dispersés. Aucune diffusion dans la glaçure. Quelques grains noirs dans la glaçure bleue proviennent des traits noirs.
98-636-9	22 × 37	5	Grande porosité inégale. Grains de quartz entourés d'une masse très blanche.	Peu de craquelures à l'extérieur, quelques grandes à l'intérieur. Décor en ocre-rouge, gris-vert et bleu. Beaucoup de bulles. Pas de traits noirs.
98-636-10	Forme complexe, diam. : 70 × 40, épaisseur : 22	8 - 10	Porosité moyenne. Pâte très blanche. Tache grise (réduction ?).	Belles grandes craquelures, glaçure très transparente. Beaucoup de petites bulles. Décor bleu dépasse traits noirs. Les traits noirs donnent l'illusion que le bleu « reste » à l'intérieur des traits. Pas de pigment bleu visible. Pigments noirs assez fins.
98-636-11	22 × 18	7 - 8	Assez poreux, grands trous. Très blanc.	Décor bleu dépassant en partie les traits noirs. Partiellement assez foncé. Pas de pigments visibles. Traits noirs nets.

98-636-12 (cas spécial)	42 × 42	4,5 - 7,55	Porosité moyenne. Masse très blanche autour du quartz.	Glaçure rugueuse (« over cooked »). Beaucoup de bulles. Pigment noir seulement à la surface de la glaçure.
98-636-13	25 × 25	4	Poreux. Nette séparation entre tessons et glaçure. Pigment sur tesson, sous glaçure. Pas d'inclusions.	Pigments noirs très fins. Restent bien en place sur la surface. Quelques inclusions rouges et noires (très fines).
98-636-14	25 × 30	3,5 - 4	Porosité importante. Très blanc. Quelques inclusions rouges et noires. Pas d'engobe.	Bleu très dilué, pas de pigment visible, noir absent.
98-636-15	42 × 23	3,5 - 6	Poreux. Pénétration de la glaçure dans le tesson (mais moins que dans 98-636-12). Pigments noirs.	Grains du pigment noir très fin. Quelques inclusions rouges et noires + une grosse inclusion noire.
98-636-16	19 × 2,5	3 - 4	Poreux. Même pénétration de la glaçure que dans 98-636-15. 2-3 petites inclusions.	Pigment très fin. Couche très fine. Reste bien en place. Quelques inclusions noires et rouges.
98-636-17	30 × 29	5 - 5,5	Poreux. Pénétration dans le tesson comme dans 98-636-15 et 98-636-16. Éventuellement présence d'engobe ? 1-2 petites inclusions.	Dans le bleu, pigments visibles. <i>Beaucoup</i> de petites inclusions (rouges et noires). Inclusions noires plus <i>dispersées</i> . ▶ sort du groupe.
98-636-18	30 × 35	4 - 5	Poreux. Nette séparation entre tesson et glaçure. 1-2 petites inclusions.	Dans le bleu, pigments visibles. Peu d'inclusions (noires et rouges).
98-636-19	20 × 7	4 - 7	Porosité normale. Très blanc. Quelques inclusions brunes et rouges. Pas d'engobe	« Structures » d'un bleu plus foncé vers la surface de la glaçure, il est difficile de dire s'il s'agit de restes de pigments de cobalt. Pas de « pigment » visibles sur la surface de la pâte. Beaucoup de bulles dans la glaçure.
98-636-20	1 ^{er} : 2 × 4 2 ^e : 7 × 2	~ 3 ~ 4	Porosité normale, tache rougeâtre au centre, pas d'engobe visible	Le fragment enrobé ne contient pas de couleur. Le plat dont il provient a une décoration bleue (fig. 1d)

TABLEAU II
Analyses de la pâte par spectrométrie de fluorescence de rayons X
(CAM-Lausanne)

N° LABO	%WT SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mg O	Na ₂ O	Ca O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Mn O
98-636 - 10	82,69	7,02	1,02	2,46	1,68	2,61	0,85	0,028
98-636-11	83,21	6,16	1,21	2,42	2,41	2	0,88	0,015
98-636-12	82,28	6,22	1,41	2,72	1,86	2,11	1,5	0,028
98-636-15	87,47	4,48	0,99	2,05	1,34	1,34	1,12	0,017
98-636-16 gla+pate	81,04	2,15	2,87	4,57	4,21	3,27	0,44	0,043
98-636-17	81,56	6,14	1,52	2,88	2,64	1,78	1,86	0,034
98-636-19 ss Sn	80,89	4,09	0,482	2,82	3,83	1,91	1,39	nd
moyenne	82,73	5,18	1,36	2,85	2,57	2,15	1,15	0,02

TABLEAU III
Présence ou absence d'engobe

Objet	Observation	Épaisseur (mm)
98-636-9	Engobe	0,16-0,24
98-636-10	Pas d'engobe	
98-636-11	Engobe	env. 0,24
98-636-12	Pas d'engobe	
98-636-13	Pas d'engobe	
98-636-14	Pas d'engobe	
98-636-15	Probablement engobe	env. 0,33
98-636-16	Probablement pas d'engobe	
98-636-17	Probablement engobe	env. 0,12
98-636-18	Pas d'engobe	
98-631-19	Pas d'engobe	
98-636-20	Probablement pas d'engobe	

TABLEAU IV
Analyses des pigments noirs au microscope électronique à balayage
(Muséum d'histoire naturelle, Genève)

N° de la coupe	Morphologie des pigments	Éléments constitutifs
98-636-9	Peu de grains ronds	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe
98-636-10	Grains allongés et hétérogènes	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, (Fe)
98-636-11	Masse de petits grains	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe
98-636-12	Grains hétérogènes, entre 5 et 20 microns	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, (Fe)
98-636-13	Grains très fins, max. 10 microns en couche très fine	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe
98-636-14	Non analysé	
98-636-15	Grains en général allongés, entre 10 et 20 microns	O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Fe
98-636-16	Fine couche de grains fins ronds, max. 20 microns	O, Mg, Al, Si, Cr, Fe, (Cu) ; pas de Na, K, Ca
98-636-17	Grains ronds et en forme d'aiguille, max. 10 microns	O, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe ; Cr non détecté.
98-636-18	Grains très hétérogènes, max. 25-30 microns	O, Mg, Na, Al, Si, Ca, Cr, Fe

TABLEAU V
Analyses quantitatives du pigment noir, Chromite
(Microsonde-Lausanne)

Oxyde %	98-636-11		98-636-15		98-636-16		98-636-18	
Emplacement	- 7	- 8	- 054	- 055	- 6	- 7	- 053	- 054
Na ₂ O	0,70	nd	0,17	0,16	0,16	0,15	0,11	0,11
MgO	7,70	7,92	16,77	13,79	17,98	18,42	16,96	17,33
Al ₂ O ₃	5,93	7,49	10,57	10,88	11,40	10,71	16,84	17,24
SiO ₂	8,82	0,56	0,08	0,13	0,38	0,19	0,12	0,14
K ₂ O	0,63	0,15	0,05	0,02	nd	0,06	0,05	0,02
CaO	0,12	0,17	0,10	0,10	0,04	nd	0,12	0,13
Cr ₂ O ₃	45,99	49,71	58,46	58,07	61,52	60,08	52,67	52,07
Mn ₂ O ₃	0,36	0,77	3,31	2,52	1,43	1,44	4,75	5,68
Fe ₂ O ₃	14,15	12,32	7,22	9,96	6,58	6,91	6,42	4,82
CoO	16,79	16,64	2,33	2,46	0,55	0,15	0,04	0,13
As ₂ O ₃	nd	0,18	nd	nd	0,28	0,19	nd	nd
Total	101,19	95,91	99,06	98,09	100,32	98,30	98,08	97,67

TABEAU VI
Analyses des glaçures par micro-spectrométrie de fluorescence X

Céramiques persanes 98-636-1 à 98-636-19

Légende :

- a) nd : non détecté
 b) + à +++++ : hauteur des pics du spectre. Ces hauteurs ne sont pas directement proportionnelles au pourcentage des différents éléments.
 c) La présence de cobalt (ligne Cokα) peut être masquée par la présence de fer (Fekβ), celle de zinc (Znkα) par celle de cuivre (Cukβ)

N° laboratoire	Emplacement	D41 N°	Éléments													
			Pb	Sn	Co	Mn	As	Cr	Fe	Cu	Zn	Ca	K	Sr		
98-636-1 001	glaçure / blanc	2	0.4 %	+	nd	nd	nd	nd	nd	nd	+++	+	nd	+++	+	+++
98-636-2 001	glaçure / blanc	3	++	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	++++	+	nd	++	+	++
98-636-3 001	glaçure / blanc	4	0.75 %	nd	nd	nd	+	nd	nd	nd	++++	++	+	+++	+	+++
98-636-4 001	glaçure / blanc	5	0.75 %	nd	nd	nd	+	nd	nd	nd	++++	++	+	++	+	+++
98-636-5 001	glaçure / blanc	6	1.2 %	nd	nd	nd	+	nd	nd	nd	++++	++	+++	+++	+	+++
98-636-6 001	glaçure / blanc	7	nd /	nd	nd	nd	+	nd	nd	nd	++++	++	++	+++	+	+++
98-636-7 001	glaçure / blanc	8	nd	nd	nd	nd	+	+	nd	nd	++++	+	++	+++	+	+++
98-636-8 001	glaçure / blanc	9	nd	nd	nd	nd	++	nd	nd	nd	+++	+	++	+++	+	+++
98-636-9 003	glaçure, blanc, au dos	21	2-3,12 %	nd	nd	nd	+	nd	nd	nd	+++	++	+	++	+	+++
004	glaçure / gris foncé	32	idem	nd	nd	nd	+	nd	nd	+	++++	+	+	++	+	+++
005	glaçure / bleu	57	idem	nd	nd	nd	+	nd	nd	+	+++	+	+	+	+	+++
006	glaçure / rouge	58	idem	nd	nd	nd	+	nd	nd	+	+++	+	nd	++	+	+++
98-636-10 003	glaçure / blanc	59 / 31	idem	nd	nd	nd	+	nd	nd	+	+++	+	+	++	+	+++
004	bleu foncé ou noir sur émail retourné	60	nd	nd	+	+	+	+	+	+	+++	++++	+	nd	+	++
005	noir sur émail retourné	61 / 62	nd	nd	+++	+	+	+	+	+	++++	++++	+	++	nd	++
006	bleu clair sur émail retourné	63	nd	nd	+	nd	nd	nd	nd	+	+++	++++	+	nd	nd	++
98-636-11 003	glaçure / blanc, au dos	19	nd	nd	nd	+	+	nd	nd	+	+++	+	nd	+++	+	+++
004	glaçure / bleu	66	nd	nd	+	+	+	nd	nd	+	+++	+++	+	++	+	+++
005	glaçure / noir	67	nd	nd	nd	+	+	nd	nd	+	++++	+	+	+	nd	+++

TABLEAU VII
Analyses quantitatives des glaçures
(Microsonde- Lausanne)

		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃
98-636-11	1	12,44	4,17	1,91	67,3	2,7	6,56	0	0,27
	2	12,14	4,07	2,35	66,73	3,09	6,06	0,08	0,41
	3	13,43	4	2,06	60,2	2,95	7	0,31	0,89
	5	13,18	3,86	1,86	67,67	2,07	6,84	0,09	0,69
	6	12,45	4,08	2,25	66,81	3,01	5,51	0,15	0,69
98-636-12	51	14,94	2,28	4,48	68,5	2,92	4,79	0,05	0,75
	52	13,42	2,51	2,72	70,9	2,78	5,69	0,05	0,78
98-636-14	51	13,86	3,42	1,36	72,14	2,77	4,77	nd	0,58
	52	14,46	3,22	1,88	70,32	2,69	4,59	0,03	0,61
98-636-15	51	12,33	3,41	1,16	69,29	2,97	5,41	0,16	0,41
	52	12,99	3,93	1,4	69,63	2,58	6,38	0,26	1,5
	53	12,57	4	1,62	69,67	2,7	5,53	nd	0,68
	53 bis	13,33	3,41	1,61	69,29	2,97	5,41	0,16	0,41
98-636-16-A	1	13,92	3,1	1,73	70,01	3,18	4,71	-	0,82
	2	13,41	2,87	1,32	72,51	3,46	4,88	-	0,48
	4	14,04	2,76	2,07	70,49	3,38	4,04	0,22	0,75
98-636-16-B	1	13,66	2,5	1,9	71,11	3,09	3,58	0,01	0,55
	2	13,06	2,75	1,8	70,1	3,05	4,05	0,06	
	3	14,15	2,52	2,28	71,12	3,17	4,33	0,06	0,14
	4	13,23	3,07	1,98	71,36	3,36	4,12	-	0,69
	5	13,33	2,65	2,4	70,36	2,84	3,9	0,12	0,48
98-636-17	51	12,8	3,34	2,76	67,98	2,44	7,7	0,13	1,08
	52	12,82	3,28	2,7	67,89	2,37	8,28	0,15	0,68
98-636-18	51	13,73	2,4	2,3	71,39	2,17	5,64	0,22	0,75
	52	13,6	2,46	2,21	72,28	2,14	5,14	0,02	0,64
98-636-19	51	13,85	3	1,69	71,01	2,62	5,17	0,05	0,63
	52	13,99	3,37	1,87	70,5	2,68	5,32	0,02	0,56
98-636-20	1	12,83	3,2	1,75	70,36	3,21	4,15	0,01	0,48
	2	13,32	3,3	1,63	69,11	3,11	3,75	-	0,69
	3	12,9	2,74	1,68	69,13	3,34	4,15	0,08	0,41
	4	12,58	2,74	1,87	71,81	2,8	3,58	0,17	-
	5	12,75	2,89	1,75	68,19	3,26	3,77	-	0,62
	6	12,15	2,8	1,57	69,73	2,73	4,47	0,01	0,34
	7	12,56	3,27	1,71	70,86	2,86	3,98	-	0,89
	8	13,41	3,16	2,02	69,55	2,77	3,91	0,06	0,82
	9	13,03	2,86	2,21	70,33	3,19	4,35	0,01	-
	10	12,75	3,16	2,75	68,44	3,34	3,27	0,09	1,44
moyenne		12,88	3,07	1,96	67,74	2,81	4,86	0,07	0,6
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃