



Technè

La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels

47 | 2019

Bernard Palissy : nouveaux regards sur la céramique française aux XVI^e et XVII^e siècles

Les glaçures de céramiques chinoises colorées au fer : un matériau historique à fort potentiel en science de la matière ?

Chinese ceramic glazes using iron to add colour: an ancient element with great potential in materials science?

Philippe Sciau, Chantal Brouca-Cabarrecq et Ariane Pinto



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/technè/1619>

DOI : 10.4000/technè.1619

ISSN : 2534-5168

Éditeur

C2RMF

Édition imprimée

Date de publication : 1 juin 2019

Pagination : 144-149

ISBN : 978-2-11-152830-7

ISSN : 1254-7867

Référence électronique

Philippe Sciau, Chantal Brouca-Cabarrecq et Ariane Pinto, « Les glaçures de céramiques chinoises colorées au fer : un matériau historique à fort potentiel en science de la matière ? », *Technè* [En ligne], 47 | 2019, mis en ligne le 01 juin 2020, consulté le 24 juillet 2020. URL : <http://journals.openedition.org/technè/1619> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/technè.1619>



La revue *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.



Fig. 1. Bol « Jian » de la dynastie Jin (1115-1234) de type « goutte d'huile », New York, Metropolitan Museum. Met Museum CC License/Public Domain.

Philippe Sciau
Chantal Brouca-Cabarrecq
Ariane Pinto

Les glaçures de céramiques chinoises colorées au fer : un matériau historique à fort potentiel en science de la matière ?

Chinese ceramic glazes using iron to add colour: an ancient element with great potential in materials science?

Résumé. Les potiers chinois ont été des plus imaginatifs dans l'utilisation du fer comme élément colorant de glaçures. Ils ont su en tirer une riche palette de couleurs en jouant non seulement sur son degré d'oxydation (Fe^{3+} , Fe^{2+}), mais également sur sa spéciation. Dans cet article, nous présenterons les apports des dernières études archéométriques et nous montrerons que la découverte d'une forme rare d'oxyde ferrique ($\epsilon-Fe_2O_3$) dans glaçures ouvre d'intéressantes perspectives non seulement en histoire des techniques, mais également en science des matériaux.

Mots-clés. Couverte chinoise, oxyde de fer, cristallisation, $\epsilon-Fe_2O_3$, microscopie électronique à balayage, spectroscopie Raman.

Abstract. Chinese potters were highly imaginative in their use of iron as a colouring for glazes. Playing not only on its level of oxidation (Fe^{3+} , Fe^{2+}), but also on its chemical speciation, they succeeded in producing a rich palette of colours. In this paper we shall present the latest archeometric research findings and show that the discovery of a rare form of ferric oxide ($\epsilon-Fe_2O_3$) in these glazes opens up interesting perspectives in both the history of techniques and materials science.

Keywords. Chinese glazes, iron oxide, crystallisation, $\epsilon-Fe_2O_3$, scanning electron microscope, Raman spectroscopy.

145

Le fer est l'un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre et dès l'apparition des premières céramiques, il fut utilisé dans la coloration des couvertes. À partir du Néolithique, différentes communautés de par le monde commencent à développer des techniques de cuisson permettant d'en contrôler l'oxydo-réduction et de créer des décors noirs ou rouges. La maîtrise de l'oxydo-réduction lors de la cuisson de préparations argileuses riches en fer est, par exemple, à la base des productions attiques¹ de la période classique et des sigillées² de la période romaine. Dans cet article, nous allons nous intéresser aux réalisations chinoises et plus précisément à des glaçures obtenues à hautes températures présentant des recristallisations d'oxydes de fer inattendues.

Le fer dans les glaçures chinoises

En Chine aussi, le fer fut très tôt utilisé comme élément colorant des couvertes. Dans ce cadre, cependant, l'utilisation de cuissons à haute température (> 1200 °C), caractéristiques de la production chinoise, a conduit à la création de la

porcelaine et a permis le développement d'une palette de couleur très étendue. D'après Nigel Wood³, aucune civilisation n'aurait fait un usage plus important et plus imaginatif des oxydes de fer que la Chine. À la fin du XII^e siècle, les potiers chinois savaient obtenir à partir des oxydes de fer non seulement du rouge et du noir, mais également des glaçures brunes, jaunes, ambrées, vertes et bleues, voire à reflets argentés comme certaines glaçures des fameux « Temmoku » ou « Jian » sur lesquelles nous reviendrons⁴. Cette riche palette de couleurs fut développée en jouant non seulement sur le degré d'oxydation du fer (Fe^{3+} , Fe^{2+}), mais également sur sa spéciation ou, plus simplement, son environnement chimique, qui tient un rôle essentiel dans la couleur. Ainsi l'hématite (Fe_2O_3) constituée d'ions ferriques (Fe^{3+}) est rouge alors que la goethite ($FeO(OH)$), contenant également uniquement des ions ferriques, est jaune. C'est également le cas des phases vitreuses, ou verres, dont la couleur dépend du type d'ions et de sa concentration, mais également de la composition du verre qui va définir l'environnement du fer.

Une glaçure étant constituée d'une matrice vitreuse contenant différents types de cristaux, le fer peut être présent dans certaines de ces phases cristallines (oxydes de fer ou

oxydes mixtes) et/ou en dilution dans la matrice. La quantité d'oxydes de fer soluble dans la matrice est limitée. Elle est comprise entre 7 et 10 % (en Fe_2O_3 équivalent massique) pour la majorité des glaçures chinoises. Au-delà de cette limite, l'excès d'oxyde de fer qui a pu être dissous à haute température durant la phase de montée en température a tendance à recristalliser principalement en surface de glaçure lors du refroidissement. Dans le cas de trop fortes concentrations et/ou si la température maximale n'a pas été suffisante pour permettre la dissolution complète des oxydes de fer durant la phase de chauffe, des cristaux contenant du fer peuvent également se maintenir ou se former durant cette phase. Les artisans chinois ont particulièrement su tirer parti et exploiter ces différentes possibilités d'environnement des ions ferreux (Fe^{2+}) et ferriques (Fe^{3+}). Ce qui leur a permis, par exemple, de créer les glaçures bleu-vert des céladons en diluant totalement de faibles quantités d'oxyde de fer (≤ 3 % massique) dans la matrice vitreuse et en contrôlant l'environnement des ions ferreux (majoritaires) et ferriques par ajout de calcium et/ou de potassium. Des études récentes⁵ sembleraient toutefois indiquer que l'origine de la tonalité des céladons est plus complexe. Du fait des nombreux éléments chimiques présents dans la matrice vitreuse, cette dernière subirait une démixtion en deux phases vitreuses qui s'interpénètrent à l'échelle de la centaine de nanomètres et qui joueraient un rôle prépondérant dans la couleur en diffusant préférentiellement les plus courtes longueurs d'onde (bleu-vert).

Les glaçures noires et brunes obtenues à hautes températures

Parmi les réalisations chinoises, les différents types de glaçures noires à brunes, obtenues à hautes températures, sont peut-être les plus complexes si l'on considère l'environnement du fer qui peut être à la fois présent sous forme ionique dans la structure même du verre, d'oxydes non totalement dissous et dans des recristallisations. C'est un domaine dans lequel les potiers chinois ont fait preuve d'une grande ingéniosité en développant des glaçures brillantes d'aspect très homogène (glaçures noires ou brunes par exemple) ou, au contraire, à hétérogénéité contrôlée afin de créer des motifs variés comme ceux des « Jian » (*Jian ware* en anglais) aux noms poétiques de « fourrure de lièvre » (parfois nommé « gorge de perdrix ») ou de « goutte d'huile » (*oil spot* en anglais). Le domaine est toutefois beaucoup trop vaste pour être exposé dans son intégralité ici et, dans cet article, nous allons nous restreindre aux phénomènes de recristallisation de surface dans les glaçures homogènes de type or-violet (*zijiyou* ou *purple-gold glaze*, respectivement dans la littérature chinoise et anglaise) et dans celles à motif de type goutte d'huile (fig. 1 et 2).

En Chine, le terme *zijiyou* (*purple-gold glaze*) fait référence à un type de glaçures sur porcelaine fabriquées à Jingdezhen sous les dynasties Ming (1368-1644 ap. J.-C.) et Qing (1636-1912 ap. J.-C.). Ces céramiques, encore appelées

porcelaines à glaçure « sauce », de couleur brune, sont très populaires et encore très recherchées pour leur belle figuration, leur charme unique et le grand savoir-faire artisanal nécessaire à leur élaboration. Les plus anciennes glaçures actuellement rattachées à ce type datent de la dynastie Han et plus précisément de la période des Han postérieurs (25-220 ap. J.-C.)⁶. Leur développement prend de l'ampleur durant la période de fragmentation de l'empire Han, notamment dans le royaume Wei (220-265) et sous la dynastie Jin (265-420). Cette évolution se poursuit jusqu'à la période des Cinq Dynasties (907-979) pour atteindre sa période de splendeur durant la dynastie des Song du Nord (960-1127), en particulier avec les productions de porcelaine Ding⁷ à glaçure riche en fer de couleur brun-noir. Au début de la dynastie Ming, ce type de couverte revient à la mode et les ateliers de Jingdezhen se mettent à reproduire les modèles Ding et développent pour cela des glaçures riches en fer de couleur brun-rougeâtre. Ces productions, que les Chinois nommèrent à ce moment-là *zijiyou* (*purple-gold glaze*), furent très populaires et en particulier durant les règnes des empereurs Kangxi (1662-1722) et Qianlong (1736-1795) de la dynastie Qing⁸.

Sous la dynastie Song (960-1279), les grès à glaçure noire furent particulièrement prisés, notamment les bols utilisés pour la cérémonie du thé. Ces céramiques noires très appréciées des Chinois l'étaient également des Japonais, notamment des bols à thé fabriqués dans la région de Jianzhou (actuellement Jian-ning) de la province du Fujian, qu'ils appelaient et qu'ils nomment encore « Temmoku ». Des centres de production, principalement dans les provinces actuelles du Henan, du Jiangxi et du Fujian⁹, se mirent à innover en introduisant dans ces couvertes différents types d'effets (mouchetés ou veinés) et de motifs (taches, médaillons, plantes). Ces effets et motifs étaient réalisés en provoquant intentionnellement des hétérogénéités de comportement lors de la cuisson. La



Fig. 2. Bol à glaçure « or-violet » de la période Kangxi (1622-1722), New York, Metropolitan Museum.
Met Museum CC License/Public Domain.

base de ces couvertes est une glaçure feldspathique acide sursaturée en fer qui ne permet pas une dissolution totale et entraîne une importante recristallisation des oxydes de fer, notamment en surface, lors de la cuisson. En raison de la température élevée de la cuisson ($> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), les couleurs obtenues sont très foncées, voire noires, avec des reflets irisés ou argentés. L'ajout de solution alcaline permet une meilleure dissolution des oxydes de fer et donne des couleurs plus claires, brun à jaune ocre. Les effets mouchetés ou veinés (« fourrure de lièvre ») peuvent être obtenus par une application légère, ici et là, de taches ou de fins traits de solution alcaline sur le vase préalablement recouvert de la préparation feldspathique de base. C'est une technique similaire qui était utilisée à Jizhou (province du Jiangxi), pour créer les bols à décor de feuille. Une vraie feuille était trempée dans une solution alcaline avant d'être appliquée sur le bol déjà recouvert de sa couverte feldspathique acide. La feuille était enlevée ou brûlait lors de la cuisson et ne laissait que son empreinte en brun ocre sur fond plus foncé. La vitesse de descente en température et l'atmosphère durant la phase de refroidissement sont aussi des paramètres importants qui permettent d'accentuer ou de minimiser les hétérogénéités de composition.

Les analyses physico-chimiques

Les glaçures des céramiques chinoises ont fait l'objet d'un très grand nombre d'études archéométriques et de nombreux ouvrages donnent les compositions chimiques des principaux types, comme par exemple l'ouvrage de Nigel Wood. La morphologie et la microstructure des glaçures, que ce soit en surface ou en profondeur, ont également été abondamment étudiées depuis plusieurs décennies. Dans les cas traités ici, ces études ont permis d'observer les recristallisations de

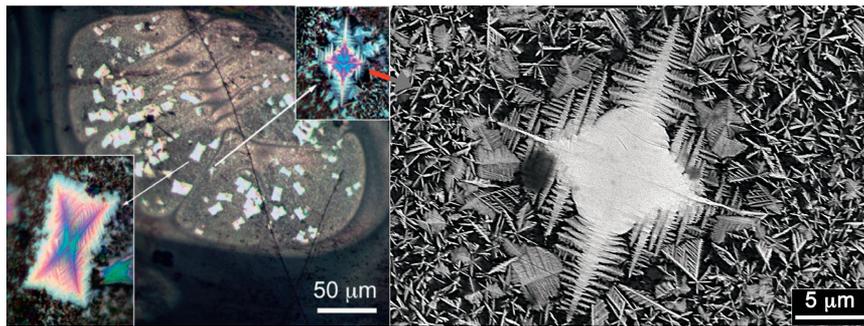


Fig. 3. Glaçure de type « goutte d'huile » avec, à gauche, l'observation d'une goutte en microscopie optique et, à droite, le détail d'une organisation de nanocristaux de $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ observé en microscopie électronique à balayage (électrons rétrodiffusés).

surface des glaçures noires et brunes et d'en étudier la morphologie, mais ce n'est que récemment que la nature exacte de certains des cristaux formés a pu être identifiée. Une première étude cristallographique¹⁰ portant sur deux fragments de bols à glaçure noire de la région de Jianzhou, l'un de type « goutte d'huile » et l'autre « fourrure de lièvre », a montré que certains des cristaux d'oxydes ferriques observés en surface de couverte ne correspondaient pas à l'une des deux formes courantes que sont l'hématite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, structure rhomboédrique) et la maghémite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, structure cubique). En combinant différentes techniques structurales et analytiques, les auteurs ont pu établir qu'il s'agissait de la forme rare, nommée epsilon ($\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$), de structure orthorhombique. Dans l'échantillon de type « goutte d'huile », ce polymorphe constitue même l'intégralité des cristaux d'oxydes ferriques, aucune autre forme n'a été identifiée. Ces cristaux de taille sub-micrométriques sont concentrés dans les gouttes (fig. 3). Une partie d'entre eux forme même de véritables réseaux bidimensionnels qui, en réfléchissant sélectivement les différentes longueurs d'onde de la lumière visible, créent des couleurs interférentielles à la manière d'un réseau optique ou d'une fine couche d'huile déposée à la surface d'une flaque d'eau. Ils sont à l'origine des reflets irisés de ces décors. Cette étude a également permis de déterminer précisément le spectre Raman de la phase $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ qui, jusque-là, n'était pas connu en raison des difficultés de synthèse de cette phase ne permettant pas encore actuellement de l'obtenir pure. L'identification de son spectre Raman a permis de montrer qu'elle était présente dans des matériaux géologiques et qu'il fallait la prendre en compte dans les études géomagnétiques¹¹.

La découverte de la phase epsilon dans des glaçures de deux bols Temmoku a amené des équipes d'archéométrie à s'intéresser de nouveau aux glaçures riches en fer. Une équipe chinoise a ainsi montré qu'elle était également l'unique phase ferrique présente à la surface d'une glaçure de type « or-violet » d'un vase de la dynastie Qing fabriqué à Jingdezhen sous le règne de Qianlong (1736-1795)¹². Dans cette couverte, les cristaux de la phase epsilon sont distribués uniquement dans la partie supérieure de la glaçure en une structure en deux couches relativement régulières¹³. Une

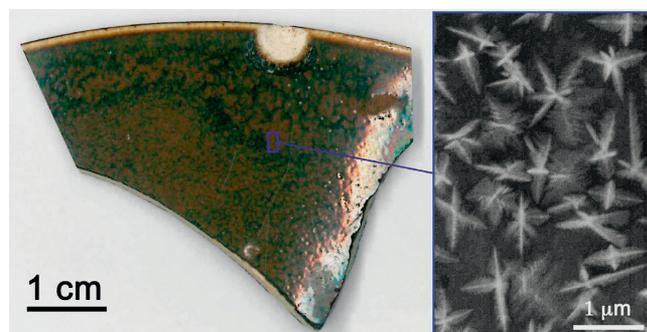


Fig. 4. Fragment du vase Ding étudié et observation en microscopie électronique à balayage (électrons rétrodiffusés) des cristaux $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ de surface.

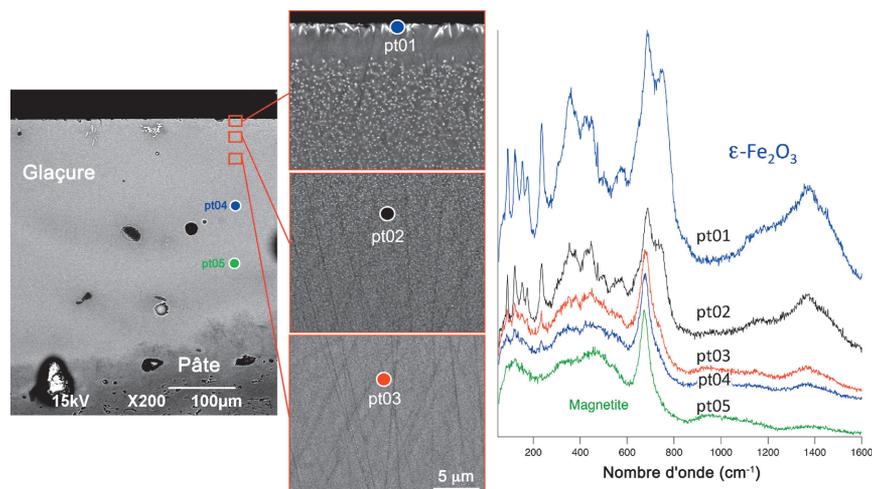


Fig. 5. Observation par microscopie électronique à balayage (électrons rétrodiffusés) et étude par spectroscopie Raman en profondeur (en vue transverse) des oxydes de fer.

148

première couche, d'à peine un micromètre d'épaisseur, affleure en surface. Cette couche est constituée des plus gros cristaux. La seconde couche plus épaisse (quelques micromètres), située à moins d'une dizaine de micromètres de la surface contient des cristaux plus petits dont la taille décroît avec la profondeur. Entre les deux couches, la matrice vitreuse est quasiment dépourvue de cristaux. Tout récemment, une autre équipe chinoise a identifié la phase epsilon comme phase majoritaire dans plusieurs glaçures de céramiques datées des dynasties Jin (1115-1234) et Yuan (1234-1368) du site de Qingliangsi (Henan)¹⁴.

Un fragment d'un des rares bols à glaçure noire de type Ding, daté de la dynastie des Song du Nord, est actuellement en cours d'analyse. Cette porcelaine présente une glaçure noire avec des zones de couleur brunâtre en surface (fig. 4). Comme dans les cas précédents, on observe une recristallisation en surface des oxydes de fer sous forme de cristaux sub-micrométriques de la phase epsilon. La forme des cristaux et leur répartition en couches sont similaires à celles de la glaçure « or-violet » de la période Qianlong, à ceci près que les cristaux sont plus petits et que la deuxième couche est beaucoup plus épaisse (fig. 5). On observe également une décroissance de la taille des cristaux avec la profondeur. En revanche, la glaçure en dessous n'est pas transparente, comme celle de type « or-violet », mais noire, et la spectroscopie Raman a confirmé la présence de magnétite dont les cristaux sont trop petits (< 100 nm) pour être observés en microscopie électronique à balayage.

Les perspectives en science des matériaux

Le polymorphe $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ est, en raison de ses propriétés magnétiques (résonance magnétique à haute fréquence et champ coercitif très élevé), un matériau idéal (coût, toxicité et impact environnemental très faibles) pour des applications

modernes dans le domaine du stockage haute densité et de la communication sans fil ultra rapide¹⁵. Le problème majeur limitant actuellement son utilisation provient de la difficulté à le synthétiser. Cette phase métastable est stabilisée par sa faible énergie de surface, ce qui limite la taille des cristaux, mais surtout la rend très sensible à son environnement. La taille des cristallites n'est pas en soi un facteur limitant pour les applications qui, en fait, requièrent uniquement des nanocristaux mais, bien que de nombreuses équipes de par le monde y travaillent, aucune des voies de synthèse proposées jusqu'à présent ne permet de l'obtenir suffisamment pure. Elle est toujours associée à l'hématite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) et/ou à la maghémite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), en fonction de la voie de synthèse utilisée¹⁶.

D'un point de vue plus fondamental, l'absence de cristaux de taille au moins micrométrique rend difficile l'étude de ses propriétés physiques, et notamment optiques et magnétiques, qui ne sont actuellement que partiellement connues. L'identification correcte de son spectre Raman n'a été possible que grâce à sa découverte dans la glaçure « goutte d'huile » de la céramique chinoise du XI^e siècle (fig. 3). À la surface de cette glaçure (voir paragraphe précédent), les cristaux de la forme epsilon ne sont pas mélangés à d'autres polymorphes et constituent, dans certaines zones, des réseaux bidimensionnels dans lesquels ils ont des orientations bien définies. Sans être de véritables monocristaux, ces réseaux en ont certaines des propriétés cristallographiques et peuvent être utilisés pour étudier l'anisotropie des propriétés physiques de la phase epsilon en fonction de ses directions cristallographiques. C'est actuellement le cas d'une étude qui cherche à préciser la symétrie des modes actifs en Raman et leurs conditions d'extinction.

La découverte plus systématique qu'attendue de la phase epsilon dans des glaçures de céramiques chinoises ouvre d'intéressantes perspectives en science des matériaux. En plus de permettre d'en préciser les propriétés physiques comme cela vient d'être évoqué, cette découverte pourrait ouvrir de nouvelles voies de synthèse. Toutes les configurations observées jusqu'à présent sont compatibles avec un processus de dissolution des oxydes de fer dans la glaçure et une migration du fer vers la surface lors de la montée en température, puis d'une recristallisation en surface sous forme d'oxyde ferrique lors du refroidissement. L'absence des autres formes (α et γ) plus stables dans certaines glaçures pourrait correspondre à une nucléation directe de l'oxyde ferrique sous la forme epsilon. Une croissance de ces cristaux serait même possible d'après l'étude approfondie de la glaçure « or-violet » dont les cristaux $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ont des tailles dans leur plus longue longueur qui avoisinent le micromètre, soit près de dix fois la taille des

cristaux actuellement obtenus en laboratoire. Les synthèses en laboratoire ont confirmé la très forte influence du milieu ou du substrat dans lequel ou sur lequel on cherchait à faire croître la phase epsilon. La matrice vitreuse de ces glaçures semble être un milieu propice, mais compte tenu de sa complexité (près d'une dizaine d'éléments sans compter les traces), il est indispensable d'identifier ceux qui jouent un réel rôle. Les cristaux d'hématite et de maghémite formés lors de la cuisson de poterie ont rarement une formule pure Fe_2O_3 . Une petite partie du fer est souvent substituée par un autre élément comme l'aluminium ou le titane. Ces deux éléments étant présents dans les glaçures chinoises, il n'est pas exclu qu'ils le soient également dans la phase epsilon et que la substitution joue un rôle dans sa stabilité. Des études sont actuellement en cours sur la phase epsilon des glaçures chinoises afin d'en déterminer les conditions d'apparition et la composition exacte, ceci dans le but de vérifier si ces informations pourraient aider à son développement pour des applications modernes.

Conclusion

Dans ce court article, nous avons essayé de présenter les apports des dernières études archéométriques dans le domaine de la connaissance des glaçures chinoises riches en fer. La découverte d'une forme rare d'oxyde ferrique ($\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ouvre d'intéressantes perspectives non seulement en histoire des techniques, mais également en science des matériaux. En raison des difficultés à obtenir cette phase epsilon, sa répartition spatiale, la forme et l'organisation de ses cristaux ainsi que la présence ou non des autres formes d'oxyde ferrique pourraient être de bons marqueurs technologiques dans l'étude des processus de fabrication de ces céramiques.

Notes

1. Noble, 1965.
2. Sciau *et al.*, 2006 ; Sciau *et al.*, 2011.
3. Wood, 1999, p. 159-165.
4. Wood, 1999, p. 137-158.
5. Shi *et al.*, 2017.
6. Liu *et al.*, 2018.
7. Les fours de Ding de la province du Hebei, très connus pour leurs productions de porcelaines blanches à décors incisés, ont aussi produit des porcelaines à glaçure riche en fer très appréciées de la cour impériale.
8. Liu *et al.*, 2018.
9. Beurdeley, 2005, p. 137-138.
10. Dejoie *et al.*, 2014.
11. Lee, Xu, 2018.
12. Liu *et al.*, 2018.
13. Liu *et al.*, 2018, figure 3.
14. Zhong *et al.*, 2019.
15. Tucek *et al.*, 2010.
16. Lopez-Sanchez *et al.*, 2016.

Bibliographie

- Beurdeley M., 2005, *La céramique chinoise*, Éditions d'Art Charles Moreau, Paris.
- Dejoie C., Sciau Ph., Li W., Noe L., Mehta A., Chen K., Luo H., Kunz M., Tamura N., Liu Z., 2014, "Learning from the past: Rare epsilon- Fe_2O_3 in the ancient black-glazed Jian (Tenmoku) wares", *Scientific Reports*, 4, p. 4941.
- Lee S., Xu H., 2018, "The Role of epsilon- Fe_2O_3 Nano-Mineral and Domains in Enhancing Magnetic Coercivity: Implications for the Natural Remanent Magnetization", *Minerals*, 8, p. 97.
- Liu Z., Jia C., Li X., Ji L., Wang L., Lei Y., Wei X., 2018, "The morphology and structure of crystals in Qing Dynasty purple-gold glaze excavated from the Forbidden City", *J. Am. Ceram. Soc.*, 101, p. 5229-5240.
- Lopez-Sanchez J., Serrano A., Del Campo A., Abuin M., Rodriguez de la Fuente O., Carmona N., 2016, "Sol-Gel Synthesis and Micro-Raman Characterization of epsilon- Fe_2O_3 Micro- and Nanoparticles", *Chem. Mat.*, 28, p. 511-518.
- Noble J. V., 1965, *The techniques of painted Attic pottery*, Watson-Guption Publications, New York.
- Sciau Ph., Leon Y., Goudeau Ph, Fakra S. C., Webb S., Mehta A., 2011, "Reverse engineering the ancient ceramic technology based on X-ray fluorescence spectromicroscopy", *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26, p. 969-976.
- Sciau Ph., Relaix S., Roucau C., Kihn Y., Chabanne D., 2006, "Microstructural and Microchemical Characterization of Roman Period Terra Sigillata Slips from Archeological Sites in Southern France", *J. Am. Ceram Soc.*, 89, p. 1053-1058.
- Shi P., Wang F., Wang Y., Zhu J., Zhang B., Fang Y., 2017, "Coloring and translucency mechanisms of Five dynasty celadon body from Yaozhou kiln", *Ceramics International*, 43, p. 11616-11622.
- Tucek J., Zboril R., Namai A., Ohkoshi S., 2010, "epsilon- Fe_2O_3 : An Advanced Nanomaterial Exhibiting Giant Coercive Field, Millimeter-Wave Ferromagnetic Resonance, and Magnetoelectric Coupling", *Chem. Mater.*, 22, p. 6483-6505.
- Wood N., 1999, *Chinese Glazes, Their Origins, Chemistry and Recreation*, A & C Black Publishers, London.
- Zhong D., Guo M., Hu Y., Liu S., Dong J., Li Q., 2019, "Non-destructive Analysis of Iron Rich Porcelains Excavated from Qingliangsi Site in Baofeng County, Henan Province", *Spectrosc. Spectr. Anal.*, 39, p. 172-179.