Chapitre 2.1.6
Les céramiques

Yona WAKSMAN

Archéologie & Archéométrie UMR 5138, CNRS, Universités Lyon 2 et 1, Lyon

Présentes en abondance sur les fouilles archéologiques, les céramiques sont l'un des vecteurs d'informations sur les sociétés anciennes les plus fructueux (e.g. Shepard, 1956 ; Orton *et al.*, 1993 ; d'Anna *et al.*, 2011 ; Hunt, 2017). Les « études de provenance »[1] permettent d'accéder, directement ou indirectement, à une partie de ces informations, relatives à des aspects économiques, technologiques, culturels, sociaux… En premier lieu, elles mettent en évidence la circulation de céramiques et contribuent à la reconstitution des échanges et des circuits commerciaux. Elles renseignent aussi sur l'exploitation des ressources argileuses, l'organisation de l'artisanat céramique, l'histoire des techniques…

Les méthodes statistiques ont été largement introduites à partir des années 1960 pour aborder la provenance des céramiques, avec le développement des techniques instrumentales d'analyse élémentaire. En caractérisant les céramiques par leur composition chimique, celles-ci fournissaient des données quantitatives particulièrement adaptées à de tels traitements. Maurice Picon, le fondateur de l'« école lyonnaise » de céramologie, fut l'un des pionniers de cette introduction et de la formalisation d'outils statistiques pour la détermination de provenance de céramiques à partir d'analyses en laboratoire (e.g. Picon, 1984a ; 1984b ; 1993)[2]. De nombreux autres chercheurs y ont également contribué, avec des approches variées, des plus « matheuses » aux plus anthropologiques (e.g. Harbottle, 1976 ; Arnold *et al.* 1991 ; Jones, 1986 ; Neff, 1992 ; Baxter, 1994), et les études de provenance de céramiques ont généré par la suite une littérature pléthorique, dont on peut estimer qu'elle n'a pas vraiment renouvelé la

[1] Il s'agit en réalité d'un anglicisme issu de « provenance studies », qu'il serait plus correct de remplacer en français par « détermination d'origine ». Le terme de provenance est utilisé ici dans son acception la plus large.

[2] pour une bibliographie extensive et des liens vers ses articles : Waksman, 2015.

discipline. Picon mit aussi en garde dès le début contre un usage abusif du « tout statistique ». Force est de constater que cette mise en garde est toujours d'actualité.

1 Les spécificités du matériau céramique et la notion de production

Contrairement à l'obsidienne ou aux minerais métalliques, les matériaux argileux utilisables par les potiers pour fabriquer des céramiques sont très largement répandus. De plus, il s'agit de matériaux composites, géologiquement mal définis, constitués de minéraux argileux et d'autres composants généralement qualifiés d'inclusions (fragments de roches, minéraux non argileux, matières organiques…). Les données chimiques issues de l'analyse de céramiques résultent de la combinaison de plusieurs facteurs, principalement :

a) les caractéristiques géochimiques des matériaux argileux extraits par les potiers, qui sont tributaires de l'environnement géologique et du mode de formation du gisement ;

b) leurs transformations éventuelles par les potiers (par décantation, ajout d'inclusions, mélanges…) afin d'obtenir une « pâte » présentant les propriétés adéquates pour la fabrication de céramiques ;

c) leurs altérations potentielles par le milieu d'enfouissement (échanges chimiques avec des minéraux présents dans les sols, avec l'eau de mer…).

En pratique, il est utile de raisonner en terme de productions, une notion qui désigne le répertoire de céramiques fabriquées avec un même matériau argileux, mis en oeuvre suivant une même tradition technique[3]. Cette notion intègre les facteurs relevant des points a) et b), et permet de se ramener à un ensemble caractérisable tant du point de vue archéologique qu'archéométrique, à partir d'un échantillonnage de céramiques représentatif. Si la notion de production peut paraître limitative en supposant un caractère relativement standardisé (dans le choix du matériau, dans le traitement qui lui est appliqué), elle se prête bien à l'utilisation de statistiques multivariées. La plupart des cas peuvent ainsi être ramenés à la définition de productions, et à l'attribution de céramiques à des productions définies au préalable. Leur provenance peut être identifiée lorsque les sites de production sont localisés, les groupes chimiques correspondants constituant dans ce cas des groupes de référence d'ateliers[4].

[3] Ni les traitements ultérieurs de la pâte (façonnage, traitements de surface, cuisson…) ni les revêtements éventuels (engobes, glaçures…) ne sont pris en compte à ce niveau.

[4] Pour un exposé plus détaillé de ces aspects, y compris l'utilisation de données concernant des argiles et non des céramiques, *cf.* e.g. Waksman, 2014a.

2 Des outils statistiques simples pour approcher une réalité complexe : de la décroissance en statistiques ?

Au-delà de cette apparente simplicité, les difficultés résident, en amont de l'utilisation d'outils statistiques, dans le choix d'un échantillonnage adéquat et dans l'existence de référentiels* adaptés à la problématique considérée, et en aval dans l'interprétation des résultats en tenant compte de différents facteurs relevant des points (a, b, c) et en gardant une distance critique vis-à-vis des méthodes statistiques choisies.

Nous ne reviendrons pas ici sur les questions, essentielles, de stratégie d'échantillonnage et de construction de référentiels au sein de base de données d'analyses chimiques de céramiques[5], qui sont développées ailleurs (Waksman, 2014a ; *cf.* 2.1.2). Nous ne ferons également qu'évoquer au travers d'un exemple simple le processus complexe de « déconvolution » des facteurs à prendre en compte dans la phase d'interprétation. L'exemple présenté ici suit la méthodologie mise en oeuvre au laboratoire de Lyon (Picon 1984a), et permet de discuter de certains choix dans l'utilisation de méthodes statistiques.

Il s'appuie sur une classification ascendante hiérarchique (CAH, *cf.* 9, §3) représentée par un dendrogramme (Figure 1). La CAH est l'une des méthodes utilisées pour répartir un échantillonnage de céramiques en groupes de composition chimique similaire, susceptibles de correspondre à une même production. Elle est basée sur la notion de distance généralisée entre échantillons, celle choisie ici étant la distance euclidienne, portant sur les données de composition chimique centrées et réduites (*cf.* 9, §1.2). Les éléments pris en compte sont la plupart des éléments majeurs et une gamme d'éléments trace de comportement géochimique varié[6]. Le critère d'agrégation est celui du lien moyen non pondéré. Une première classification préliminaire (non représentée) permet d'identifier les échantillons les plus marginaux et de les retirer du corpus[7]. Elle est en général suivie d'une deuxième phase préliminaire, visant à repérer les éléments présentant des altérations importantes[8] affectant une partie plus large de l'échantillonnage (point c) supra), et selon le cas à les exclure de la classification ou à

[5] A titre d'exemple, celle de Lyon contient actuellement les données d'analyse chimique d'environ 50 000 échantillons de céramiques, dont un grand nombre font partie de groupes de référence d'ateliers. D'autres bases de données importantes ont été constituées notamment au MURR (USA) et au Demokritos (Grèce), qui intègrent également des corpus « historiques » de laboratoires qui ne sont plus en activité (Hein & Kilikoglou, 2012 ; Glascock *et al.*, 2007 ; Boulanger, 2017).

[6] éléments majeurs et mineurs MgO, Al_2O_3, SiO_2, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, Fe_2O_3, exprimés en pourcentages d'oxydes, et éléments trace V, Cr, Ni, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba, Ce, exprimés en ppm (partie par million) élémentaires. Les éléments analysés non pris en compte, soit parce ce qu'ils ne sont pas considérés comme représentatifs du matériau, soit en raison d'une précision de mesure insuffisante, incluent : Na_2O, P_2O_5, Cu, Y, Pb, La, Th. La méthode d'analyse mise en oeuvre au laboratoire de Lyon (CNRS UMR 5138) est la fluorescence des rayons X en dispersion de longueur d'onde (WD-XRF) ; pour le protocole analytique *cf.* e.g. Waksman, 2011.

[7] Leur cas est examiné à part. Il peut s'agir aussi bien d'échantillons affectés d'une pollution importante sur un ou plusieurs éléments, qui se rattachent par ailleurs à l'un des groupes constitués par la suite, que de matériaux complètement différents. Les éliminer en amont permet d'éviter de « gonfler » de façon articielle les écarts-types des éléments correspondants, qui interviennent dans la réduction des données (centrées normées). D'autres méthodes comme l'ACP sont encore plus sensibles aux échantillons très marginaux, avec des conséquences problématiques pour la compréhension de la structure d'ensemble des données s'ils ne sont pas éliminés.

[8] Les altérations marquées les plus courantes portent sur les éléments Ba, Sr et Zn en milieu terrestre, et Mg en milieu marin.

adapter la procédure (e.g. Picon, 1987 ; Pradell *et al.*, 1996 ; Schneider, 2017 ; Burlot *et al.*, 2019).

Par rapport à d'autres approches des données multidimentionnelles, les dendrogrammes issus des CAH (Figure 1) présentent l'avantage de tenir compte de l'ensemble des données de composition chimique, par opposition à des méthodes comme les analyses en composantes principales (ACP, *cf.* 6) qui proposent des projections sur certains plans. Ces derniers sont construits de façon à exprimer la plus grande partie de la variabilité des données, mais certaines structures peuvent rester peu visibles, surtout lorsque le nombre de groupes est élevé[9].

Les choix opérés ici sont ceux qui restent au plus proche des données initiales, même s'il est clair qu'ils induisent certains biais. D'autres choix sont possibles à tous les niveaux du processus : dans le traitement préalable des données (e.g. log-normées, transformations évitant les effets de la normalisation à 100%), la définition de la distance, le critère d'agrégation (e.g. critère de Ward), la méthode de classification (e.g. classifications non hiérarchiques) (*cf.* 9). Nos choix limitent délibérément les transformations des données à celles qui sont nécessaires pour que tous les éléments chimiques pris en compte, majeurs et traces, puissent jouer un rôle équivalent *a priori*. Ce rôle sera ensuite modulé lors de l'interprétation des données, en fonction de l'ensemble des facteurs (a, b, c), auxquels s'ajoutent ceux liés à la méthode analytique (incertitudes de mesures différentes selon les éléments et les valeurs absolues des concentrations) – et à la méthode statistique choisie. Certains de ces facteurs peuvent être modélisés voire intégrés aux traitements statistiques (e.g. Neff *et al.*, 1988 ; Beier & Mommsen, 1994 ; Buxeda i Garrigós, 1999). Mais ces modélisations considèrent souvent les éléments chimiques comme des variables interchangeables. Elles ne tiennent notamment pas compte du comportement de chacun d'entre eux selon la nature minéralogique des argiles et des inclusions, et les caractéristiques des formations géologiques dont elles découlent. Même si leurs comportements sont en partie déterminés par des propriétes minéralogiques et géochimiques, et par des mécanismes bien identifiés[10], du fait de la nature complexe et géologiquement mal définie du matériau ils suivent des tendances approchées de façon empirique, dont la connaissance repose sur l'expérience de l'archéomètre.

L'exemple reprend une étude de céramiques de différentes catégories (céramiques de table, communes ou culinaires) datées de l'antiquité tardive au début de la période turque (beylik) trouvées sur le site d'Ephèse (Turquie) (Waksman, 2014b). Certaines sont des références locales[11] (points noirs et blancs), qui permettaient de définir de nouveaux groupes de référence et d'identifier le répertoire de céramiques fabriquées sur le site à ces périodes. Les productions hellénistiques et romaines d'Ephèse avaient déjà fait l'objet de recherches impliquant des analyses chimiques (e.g. Hugues *et al.*, 1988 ; Zabehlicky-Scheffenegger *et al.*, 1996 ; Zabehlicky-Scheffenegger & Schneider, 2000, 2005). L'étude pouvait de ce fait également s'appuyer sur certaines données de

[9] et *cf.* supra note 7.

[10] e.g. pour certaines altérations post-dépositionnelles, *cf.* supra.

[11] déchets de fabrication et outils d'ateliers de potiers fabriqués avec le même matériau argileux (trépieds utilisés comme séparateurs des céramiques glaçurées dans les fours).

référence que ces dernières avaient fourni[12], tout en examinant la pertinence méthodologique de leur utilisation. L'échantillonnage pris en compte dans la classification (Figure 1) correspond ainsi à des céramiques de différentes périodes et catégories. Les principaux groupes soulignés en noir sur la figure ont été déterminés en examinant les données d'analyse chimique ordonnées dans l'ordre de la classification (Figure 1, en haut). Plusieurs échantillons restent non classés, certaines sous-structures pourraient s'avérer significatives sur la base d'un échantillonnage plus large. Les échantillons contenus dans les groupes chimiques permettent de définir les productions correspondantes, tant du point de vue archéométrique qu'archéologique.

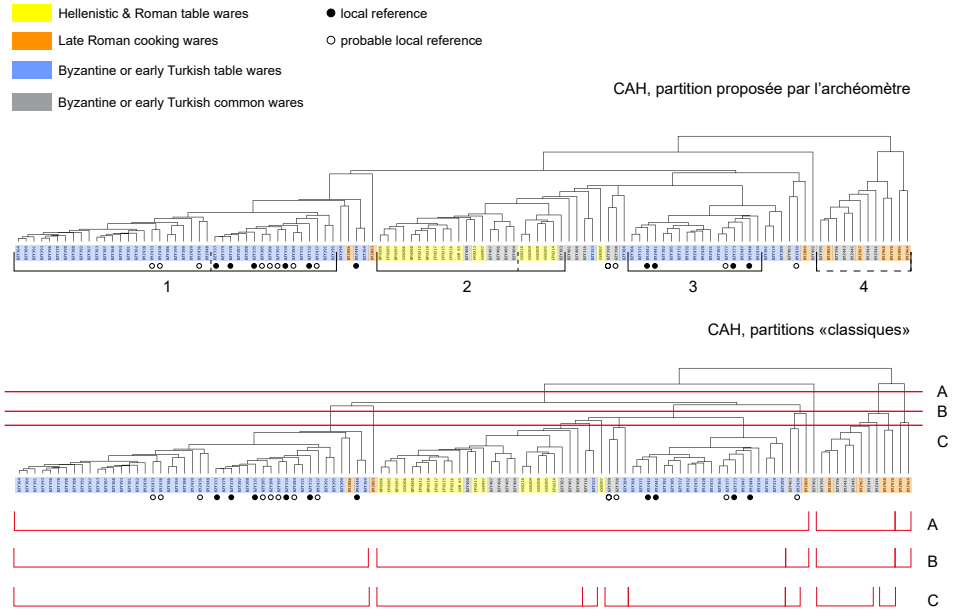


FIG. 1 : Dendrogramme résultant de la classification ascendante hiérarchique (CAH) de céramiques de différentes périodes et catégories issues des fouilles d'Ephèse, basée sur leur composition chimique. Les principaux groupes définis, en examinant les données chimiques dans l'ordre de la classification, sont soulignés en noir (en haut). Les groupes obtenus en procédant à des partitions « classiques » du dendrogramme sont indiqués dans la partie inférieure de la figure (A, B, C, en rouge) (d'après Waksman, 2014b).

[12]analyses réalisées par WD-XRF par G. Schneider au laboratoire de la Freie Universität de Berlin, intercalibré avec celui de Lyon.

Les résultats montrent à la fois la variété des matériaux utilisés, à une même période au sein d'une même catégorie (deux productions distinctes de céramiques de table sont mises en évidence pour les périodes byzantine et beylik), et la permanence de l'exploitation d'autres ressources argileuses (pour les céramiques communes et culinaires, qui appartiennent également à des groupes locaux d'après les précédentes études). Ils proposent une vision nuancée de la notion de « référentiel chimique », en illustrant différents cas de figure, et proposent des *guidelines* pour l'utilisation de ces groupes pour de futures attributions aux productions d'Ephèse. Pour les céramiques de table byzantines et beylik, les groupes de référence les plus adaptés sont constitués de céramiques de même période, de même typologie. Dans d'autres cas, des groupes de référence relevant d'autres catégories et périodes pourront être utilisés, notamment pour les céramiques culinaires qui requièrent des matériaux spécifiques, capables de résister aux chocs thermiques. Les céramiques communes byzantines et beyliks ont pour leur part soit les mêmes pâtes que les culinaires, soit des pâtes calcaires comparables chimiquement aux céramiques de table antiques du type « Graue Platten » (Zabehlicky-Scheffenegger *et al.*, 1996). Cet exemple montre qu'il n'y a pas de règle valable dans tous les cas, surtout dans un contexte géologique varié comme celui de l'Ouest anatolien.

Les résultats montrent aussi qu'une application « classique » des méthodes statistiques, qui consisterait à sectionner le dendrogramme à l'une des hauteurs indiquées (A, B, C) (*cf.* 9, Figure 3), résulterait en une estimation erronée du nombre de groupes et de leurs limites, et à l'intégration d'échantillons non classés dans l'un ou l'autre d'entre eux (Figure 1, en bas). En fait, créer une partition en sectionnant le diagramme à une hauteur unique pour tous les groupes ne convient en général pas. Chaque groupe correspond à des matériaux argileux qui ont une logique géochimique propre, indépendante de celle des autres, qui détermine son homogénéité et la distance qui sépare ses échantillons représentatifs. Le groupe 4 de céramiques culinaires est ainsi nettement moins homogène que les autres, une donnée qui n'est pas correctement prise en compte par une partition « classique » de la CAH. En revanche, l'examen des données initiales, ordonnées dans l'ordre de la classification, permet en général d'identifier le nombre de groupes significatifs (quatre, dans notre cas, plusieurs échantillons restant non classés), et de poser les limites entre ces groupes en tenant compte de l'ensemble des paramètres implicites hors classification (*cf.* supra, a à c). Un choix d'options qui reste au plus proche des données initiales facilite cette phase d'interprétation, même si ce ne sont pas celles qui paraissent les plus avantageuses du point de vue statistique (e.g. par rapport au critère d'agrégation de Ward, ou à une CAH portant sur les premiers axes d'une ACP, *cf.* 6 et 9).

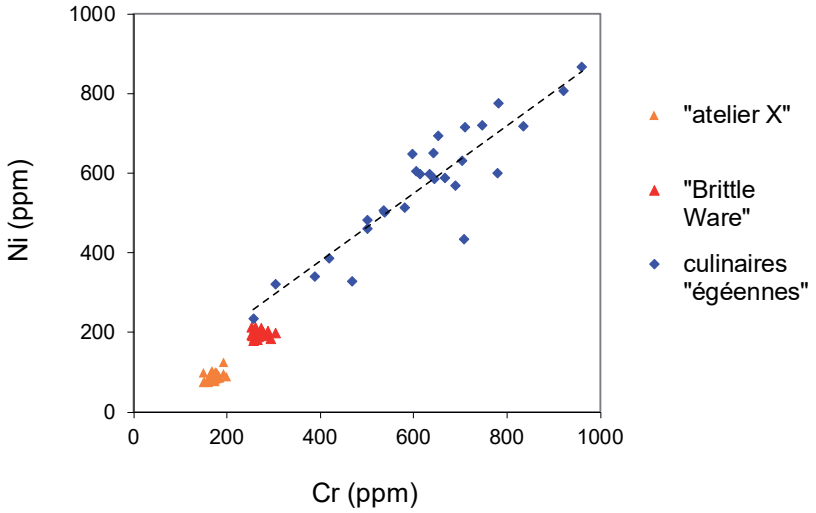


FIG. 2 : Diagramme binaire Cr – Ni, montrant différents comportements de ces éléments pour un échantillonnage représentatif de trois productions de céramiques culinaires de l'antiquité tardive : dispersions faibles autour de la valeur moyenne (« *workshop X* », « *Brittle Ware* »), ou teneurs très variables, élevées ou très élevées, et corrélées (culinaires « égéennes ») (Waksman & Tréglia, 2007).

Dans l'exemple considéré, le caractère beaucoup plus hétérogène des céramiques culinaires est lié à l'utilisation de matériaux en partie issus de formations ultrabasiques, riches en chrome et nickel. Le diagramme binaire (Figure 2, *cf.* 5) représente les teneurs en chrome et nickel de trois productions de céramiques culinaires qui ont connu une large diffusion durant l'antiquité tardive (Waksman & Tréglia, 2007), dont les culinaires « égéennes » trouvées à Ephèse et sur d'autres sites. Ce type de diagrammes est en général commode pour mettre en évidence les éléments sur lesquels des productions se différentient. Il joue bien ce rôle pour les productions dites « *atelier X* » et « *Brittle Ware* »[13]. Mais il met également en évidence que les culinaires « égéennes » obéissent à une logique géochimique complètement différente. Dans ce cas, l'hypothèse habituelle, selon laquelle les compositions élémentaires d'une production suivent pour chaque élément une distribution normale, ou log-normale, n'est pas vérifiée ; en revanche, les teneurs en chrome et nickel sont fortement corrélées (Figure 2, en pointillés), et c'est plutôt le rapport entre ces teneurs qui sera significatif ici. Il faut dans ce cas adapter notre démarche, en tenant compte des propriétés de matériaux issus de formations géologiques ultrabasiques.

Cet exemple voudrait en premier lieu rappeller le but visé : comprendre des processus impliquant des matériaux complexes, qui ne sont ni réductibles à des données de composition chimique, ni modélisables par des statistiques sophistiquées. Si l'outil

[13] Il s'agit du groupe 1 de « *Brittle Ware* » selon Bartl *et al.*, 1995.

statistique reste indispensable pour appréhender la structure des données, et pour nous aider à la représenter, il entraine des choix qui introduiront des biais dans tous les cas. Ces biais seront d'autant plus faciles à contrôler que les options statistiques choisies permettent de rester suffisament proche des données initiales, afin de nous en faciliter l'interprétation et d'adapter notre démarche au matériau, et de ne pas perdre de vue sa signification pour les communautés humaines.

En résumé :

- Les matériaux argileux utilisés pour la fabrication des céramiques sont ubiquistes et mal définis géologiquement, d'où l'intérêt de raisonner en terme de productions de céramiques, caractérisables du point de vue archéologique et archéométrique.
- L'application « classique » des méthodes statistiques n'est pas nécessairement adéquate pour aborder ce matériau complexe dans le cadre d'études de provenance.
- Une transformation des données limitée et des outils statistiques simples, qui pourront être adaptés si nécessaire, sont préconisés.
- Cette adaptation demande de revenir aux données brutes et à leur interprétation, qui relève de l'expertise de l'archéomètre et de sa capacité à prendre en compte un ensemble de paramètres non modélisables.