Chapitre 10

Études de provenance de céramiques

Yona Waksman
CNRS, Laboratoire de Céramologie, UMR 5138 « Archéométrie et Archéologie », 7 rue Raulin, Lyon, France

10.1 Introduction

L'idée d'analyser des céramiques dans le but d'en déterminer la provenance est déjà ancienne : Harbottle [1] proposait de l'attribuer à Fouqué [2] qui, à la fin du 19ème siècle, examinait les caractéristiques pétrographiques de céramiques de Santorin afin de distinguer les productions locales des importations. Analyses pétrographiques et élémentaires [1] ont ainsi été utilisées de façon précoce, mais il faudra pratiquement attendre les années 1960 et le développement des techniques instrumentales d'analyse pour voir émerger les recherches de provenance de céramiques en laboratoire, en parallèle avec leurs outils conceptuels. Initialement surtout mises en oeuvre dans des laboratoires de « sciences dures », notamment de physique nucléaire, qui disposaient d'équipements analytiques, elles ont été menées par la suite aussi bien dans des laboratoires spécialisés dans l'étude des objets du patrimoine (RLAHA à Oxford, Laboratoire du British Museum à Londres, Fitch Laboratory à Athènes, Laboratoire de Céramologie à Lyon, C2RMF à Paris...), au sein de départements d'archéologie ou d'anthropologie [2] des universités (Southampton, Sheffield, Barcelone...), que dans des laboratoires dépendant d'autres disciplines (laboratoires de Gênes, Fribourg, Bonn, Berlin...) [3] [*e.g.* 1,3-11]. En France, ce domaine de recherches est maintenant reconnu comme une composante de l'archéologie et de l'histoire de l'art.

Spectroscopies d'émission optique et d'absorption atomique et activation neutronique [4] ont progressivement été remplacées par des méthodes d'analyse élémentaire

1. Souvent désignées dans la littérature sous le terme d'analyses chimiques. Même si « analyse élémentaire » est en toute rigueur plus adapté, nous utiliserons par la suite indifféremment les deux expressions.

2. Au sens anglo-saxon du terme.

3. Il n'entrait pas de notre propos de faire un historique de la discipline, ni de citer tous les laboratoires impliqués dans les études de provenance de céramiques. Nous tenons à nous en excuser auprès de ceux qui n'apparaissent pas ici et renvoyons pour une bibliographie plus exhaustive (et moins « eurocentriste ») à d'autres travaux, *e.g.* [8,12-14].

4. On se réfèrera pour plus d'information aux chapitres de ce volume portant sur les différentes méthodes d'analyse.

plus performantes (pour les premières), ou du fait de la raréfaction des réacteurs accessibles (pour l'activation neutronique). Actuellement, ce sont surtout les méthodes utilisant un plasma à couplage inductif (ICP-AES et ICP-MS) et la fluorescence X, en dispersion de longueur d'onde, ou en dispersion d'énergie souvent couplée à un microscope électronique à balayage (SEM-EDS), qui sont utilisées. Les équipements de fluorescence X portables en sont un développement récent.

10.2 Matériau et principes

10.2.1 La céramique, un matériau composite

Le matériau utilisé par les potiers pour fabriquer des céramiques est par nature composite. Il contient des minéraux argileux [5], qui confèrent sa plasticité au matériau cru, et des composantes non argileuses (fragments de roches, minéraux, chamotte, matières organiques...) que nous qualifierons d'**inclusions**. Il peut être exploité directement à proximité des roches dont il est un produit d'altération, dans des dépôts formés après transport et sédimentation, ou dans d'autres contextes (*e.g.* hydrothermaux). Utilisé tel quel [6] ou « corrigé » par addition ou soustraction de certains de ses ingrédients [7], le matériau façonné et cuit, que nous désignerons par le terme de **pâte** (figure 10.1), n'est pas un objet géologiquement bien défini. Ses attributs minéralogiques et géochimiques reflètent néanmoins l'environnement géologique dont il est issu, une propriété qui est à la base des études de provenance. La description des caractéristiques macroscopiques de la pâte, visibles à l'oeil, à la loupe ou à la loupe binoculaire, constitue ce que les anglo-saxons qualifient de « fabric » [16]. Ce premier niveau de représentation du matériau est un intermédiaire utile entre la définition archéologique de l'objet (typologie, chronologie...) et les données du laboratoire.

Un cas particulier concerne certaines catégories de céramiques, comme par exemple les porcelaines ou les pâtes synthétiques du monde islamique. Il s'agit de produits de synthèse correspondant à des recettes, qui ne relèvent pas de la même logique géochimique que celle des pâtes argileuses. Nous renvoyons à la contribution de M. Maggetti (chapitre 11), dans ce volume, qui traite plus spécifiquement du cas des porcelaines.

10.2.2 Principe des études de provenance et contextes d'utilisation

10.2.2.1 Principe

Le principe des études de provenance de céramiques a déjà fait l'objet de nombreuses publications, auxquelles on pourra se référer pour des présentations plus détaillées de l'un ou l'autre aspect [*e.g.* 8, 17-19]. Elles s'appuient sur le postulat selon lequel des céramiques relevant d'une même **production** ont des caractéristiques minéralogiques et chimiques similaires, qui peuvent être distinguées de celles d'autres productions. Une production est définie ici comme l'ensemble des produits d'un atelier fabriqués

5. Phyllosilicates d'alumine hydratés, classés en plusieurs familles minéralogiques, dont les kaolinites, illites et smectites/montmorillonites [15].

6. On parle dans ce cas de « terre franche ».

7. Décanté pour obtenir une texture plus fine, ou au contraire « dégraissé » pour en renforcer le squelette non argileux. Le terme de dégraissant est souvent ambigu, et peut désigner des composants non argileux soit naturellement présents, soit volontairement ajoutés par les potiers. Nous lui préfèrerons le terme générique d'inclusions.

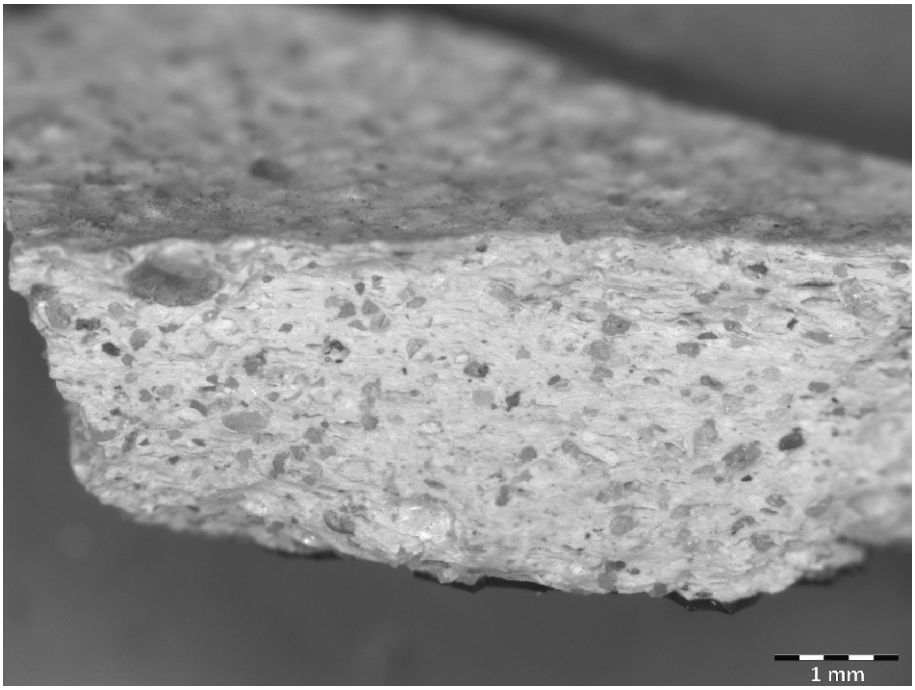


Figure 10.1 – Pâte céramique vue à la loupe binoculaire (échantillon BZY247, grossissement x20), montrant la matrice argileuse et des inclusions de différentes tailles, formes et couleurs (photo A. Bernet).

à partir d'un même matériau argileux. Notre propos concerne des céramiques dont la fabrication est relativement standardisée, pour lesquelles ce concept de production est applicable. Pour les autres cas, nous renvoyons à des travaux portant notamment sur des céramiques des périodes anciennes [*e.g.* 20-21].

Un atelier de potiers peut être à l'origine de plusieurs productions, avec par exemple un choix des matériaux adapté à la fonction de différentes catégories de céramiques [8]. Inversement, des ateliers s'approvisionnant sur un même banc d'argile, ou exploitant des argiles d'une même formation géologique présentant des caractéristiques similaires sur de plus ou moins grandes distances, auront des productions difficiles à distinguer, ce qui a amené M. Picon à définir la notion de zone d'incertitude, à l'intérieur de laquelle les matériaux argileux sont indiscernables [6, 18].

Les analyses, chimiques ou pétrographiques, des pâtes d'un échantillonnage représentatif d'une production permettent d'en **définir** les caractéristiques [9], de la séparer d'autres productions à condition qu'elles ne soient pas incluses dans la même zone

8. C'est souvent le cas pour des ateliers fabriquant à la fois des céramiques de table et des céramiques culinaires. Ces dernières, destinées à la cuisson des aliments (pots, casseroles, poêles...), ou plus généralement à être mises en contact avec une source de chaleur au cours de leur utilisation (bouilloires...), doivent être constituées d'un matériau capable de résister à des contraintes thermiques [*e.g.* 22-23].

9. On parlera souvent de « composition », notamment de « composition chimique », pour désigner ces caractéristiques.

d'incertitude. Elles permettent surtout, par la **comparaison** des compositions, d'attribuer des céramiques à une production pré-définie, et si cette production est localisée d'en identifier l'origine. C'est ce que l'on entend en général par recherches (ou études) de provenance [10].

Nous qualifierons de **données de référence** des données correspondant à des productions localisées, dont le lieu de fabrication aura été identifié par la découverte d'ateliers. À défaut, prospections d'argiles, documentation géologique (cartes, études) et mentions dans les textes pourront donner des indications, voire permettre la localisation précise des matières argileuses utilisées (caractéristiques discriminantes [24] ou prospections poussées menées sur un territoire restreint [20-21]). Mais le caractère ubiquiste des argiles rend en général faible la probabilité de retrouver sur le terrain la carrière exploitée (à supposer qu'elle y soit encore visible), et au sein de la carrière les niveaux qui ont pu y être sélectivement choisis pour fabriquer la production considérée (figure 10.2). Il faut aussi tenir compte de possibles traitements du matériau brut par le potier.



Figure 10.2 – Carrière d'argile à Avcikoru, dans la région d'Istanbul, Turquie. Différents niveaux d'argiles, de couleur et de caractéristiques minéralogiques et géochimiques différentes, sont visibles (photo N. Cantin).

10. Le terme d'« origine », correspondant au lieu de fabrication, est préférable à celui de « provenance », que nous utilisons pour désigner le lieu de découverte. Toutefois, l'expression « études de provenance » est passée dans le langage courant par analogie avec la terminologie anglo-saxonne (« provenance studies »).

Les pâtes céramiques résultent ainsi de la combinaison d'un certain « déterminisme géologique » et d'un ensemble de choix [11]. On préfèrera donc, dans la mesure du possible, les comparer entre elles - comparer des productions, dans le sens que nous avons défini précédemment -, plutôt que de comparer des pâtes et des matériaux argileux, bruts ou retraités en laboratoire afin de tenter de reconstituer le matériau utilisé [12].

On l'aura compris, dans le cas général une recherche d'origine demande de disposer au préalable d'un ensemble de données de références relatives à la problématique étudiée. Il s'agit de **vérifier ou d'infirmer des hypothèses** conçues à partir d'un corpus archéologique, en s'appuyant sur les analyses d'un laboratoire disposant d'une **base de données adaptée** à cette problématique. De façon plus restreinte, on pourra dans certains cas se prononcer sur la compatibilité avec la géologie locale, sur le caractère potentiellement local (si compatible) ou importé (si incompatible) d'une production sur un site.

10.2.2.2 Classifications et attributions

La caractérisation d'objets archéologiques par des données analytiques, si elle ne constitue pas une fin en soi, est une première phase indispensable aux études de provenance. Celles-ci sont en général mises en oeuvre en deux étapes.

La première étape est une opération de classification : il s'agit de constituer, à partir des échantillons archéologiques analysés, des groupes de composition chimiques ou minéralogiques suffisamment homogènes et distincts entre eux pour qu'on puisse les considérer comme des productions différentes [13]. Cette classification est effectuée sur des données qualitatives (analyses pétrographiques [14]) ou quantitatives (analyses élémentaires), en s'appuyant dans ce dernier cas sur des méthodes d'analyses statistiques multivariables afin d'organiser les données en groupes d'échantillons de composition similaire (cf. 3.2.2). L'appréciation de l'archéomètre sera sollicitée pour décider du nombre de groupes, de leurs délimitations, de l'inclusion d'échantillons marginaux dans l'un ou l'autre groupe, etc... et d'une manière générale du caractère significatif des différences observées. Cette décision tient compte de plusieurs paramètres de nature différente (cf. 3.2.1), et constitue la part d'interprétation, partie importante du travail et du savoir-faire de l'archéomètre qui le distingue de l'analyste.

La répartition d'échantillons de céramiques en différentes productions peut être suivie d'une phase d'attribution, ou plus précisément de tests d'hypothèses d'attributions. Il s'agit de comparer un groupe de composition particulier à des groupes correspondant à des productions pré-définies, localisées ou non [15]. Dans cette étape, on pourra soit utiliser des classifications comme précédemment, soit des méthodes telles que l'analyse

11. Cf. 3.2.1.
12. Ces approches s'appuient souvent sur l'archéologie expérimentale et l'ethnoarchéologie.
13. Dans les limites des zones d'incertitude, cf. 2.2.1.
14. Les approches quantitatives des données pétrographiques existent, mais sont rarement utilisées [25].
15. On entend en général par « attribution » l'attribution à une production localisée, c'est-à-dire à un site de production dont la localisation géographique est connue. Nous étendons ici cette notion d'attribution à une production non localisée - une production qui a été définie mais dont les ateliers n'ont pas encore été identifiés archéologiquement.

discriminante qui est plus adaptée lorsqu'il s'agit de choisir entre un nombre défini d'hypothèses. Nous reviendrons par la suite sur leur mise en oeuvre (cf. 3.2.2).

10.2.2.3 Quelle méthode, quel laboratoire ?

Les études de provenance se basent principalement sur deux types d'approches, celles des analyses pétrographiques et élémentaires. Nous n'aborderons pas ici les études des techniques de fabrication des céramiques, qui peuvent être des marqueurs indirects d'origine, et renvoyons à la contribution de Y. Léon (chapitre 12), dans ce volume, qui traite de cet aspect. Elles sont notamment utilisées pour examiner des collections de musées, d'origine et de provenance inconnues, ce qui sort du cadre de notre propos, ou dont l'origine doit préalablement être vérifiée, ce qui nous ramène au cas général.

Le choix le plus fructueux consiste à combiner analyses pétrographiques et élémentaires, car elles procèdent de façon complémentaire. Les analyses pétrographiques peuvent plus directement être mises en relation avec les données géologiques (cartes géologiques, prospections d'argiles et de matériaux utilisés comme dégraissants), et sont de ce fait plus indiquées pour une première approche, et en l'absence de données de référence ou d'hypothèses *a priori*. En revanche, les analyses élémentaires sont en général plus sélectives et plus discriminantes, et ont l'avantage en cas de cortège minéralogique banal. En générant des données quantitatives, elles sont bien adaptées aux méthodes statistiques. En revanche, les attributions nécessitent de faire appel à des données de référence *ad hoc*, ce qui constitue un facteur limitatif.

Dans le choix des techniques d'analyses élémentaires, la précision et surtout la reproductibilité sont ici plus importantes que la justesse, cette dernière intervenant surtout lors d'échanges de données entre laboratoires [16]. Les bases de données d'analyse étant construites de façon cumulative, la première exigence reste la comparabilité des résultats à long terme. En ce qui concerne les éléments analysés, la détermination des éléments majeurs et d'une large gamme d'éléments trace, de comportement géochimique varié, donnera plus d'arguments pour l'interprétation qu'un ensemble d'éléments inter-corrélés fournissant la même information. Autre critère, la bonne représentativité du volume analysé, qui est essentielle à moins que l'on ne cherche à analyser sélectivement certains constituants de la pâte. Dans le point de vue adopté ici, c'est la pâte céramique qui définit les productions, de façon globale, en y intégrant l'ensemble de ses ingrédients. Ceci impose un prélèvement et un volume analysé suffisamment importants pour qu'ils soient représentatifs.

Pour que les résultats soient reproductibles, le prélèvement doit en général être homogénéisé (analyse sous forme de poudre, de pastille ou de perle), de façon à obtenir une composition moyenne du matériau par nature hétérogène qu'est la céramique (cf. 2.1), et l'analyse menée selon des protocoles et dispositifs expérimentaux bien définis (géométrie fixe...) [17]. Les analyses élémentaires réalisées avec des méthodes d'analyses ponctuelles (LA-ICP-MS, µXRF et SEM-EDS), directement sur l'échan-

16. Dans ce cas des procédures d'intercalibration préalables restent en général nécessaires [*e.g.* 26].

17. Par ailleurs, il convient de s'assurer que le volume analysé ne contient par de composantes autres que la pâte : revêtement (engobe, pigment, glaçure...), produit d'altération, ou surface en contact avec le milieu d'enfouissement. Même si cette dernière ne présente pas de modification visible, elle est la première affectée par des variations de composition dues aux interactions avec le milieu d'enfouissement.

tillon ou dans des conditions expérimentales non reproductibles (XRF portable) sont de ce fait peu adaptées aux études de provenance. Elles pourront toutefois être utiles pour examiner des composants spécifiques, ou pour donner une première estimation des compositions lorsque les prélèvements ne sont pas autorisés.

Dans le choix du laboratoire, les données de référence qu'il possède déjà vont souvent constituer un argument déterminant. Il sera judicieux de s'adresser à un laboratoire ayant déjà travaillé sur la problématique étudiée, en s'appuyant sur des données de références et une méthodologie fiables, tant du point de vue analytique que de celui de la démarche archéométrique et de l'identification archéologique des objets analysés.

10.2.2.4 Contextes d'utilisation et problématiques archéologiques

Si classification et attribution constituent la base des recherches de provenances, les contextes et problématiques archéologiques dans lesquels on est amené à les mettre en oeuvre sont multiples. Les questionnements, la stratégie d'échantillonnage, le mode de raisonnement dépendent du cas considéré.

Étude d'un site

Le cas le plus banal est celui d'un site archéologique, dont on ne connaît pas les quartiers artisanaux, et dont le matériel céramique a été l'objet d'un classement à partir de critères macroscopiques (forme, décor, aspect des pâtes et des revêtements). Les analyses pourront être sollicitées pour confirmer la pertinence de ce classement, déterminer quelles catégories de céramiques relèvent d'une même production, examiner les choix de matériau selon les catégories. La distinction entre productions locales et importées, les hypothèses sur l'approvisionnement du site et son insertion dans les circuits de commerce ou d'échange, pourront ensuite être abordées si l'on dispose de références adéquates. Des groupes de références au sens strict sont utilisés pour l'attribution de céramiques importées à leur origine respective. D'autres groupes de composition, correspondant à des productions définies analytiquement mais dont les ateliers ne sont pas encore localisés, permettent de déterminer si le site étudié fait partie de leur aire de diffusion.

Étude d'un atelier

Si l'on a la chance de retrouver les vestiges d'un atelier de potiers, il est possible de définir les productions et les groupes de référence correspondants, tant du point de vue archéologique que de celui du laboratoire. Les différentes catégories et types appartenant au répertoire local, leur répartition en terme de productions, le choix de matériaux spécifiques et la justification de ces choix (techniques ? culturels ? ...), l'évolution de l'approvisionnement en matières argileuses, la spécialisation et l'organisation de l'atelier... font partie des questions susceptibles d'être abordées. Les données de références pourront également être utilisées pour identifier des productions locales non attestées archéologiquement (par exemple antérieures ou postérieures aux vestiges d'atelier), à condition qu'elles relèvent des mêmes matériaux et traditions techniques.

L'étude de la diffusion d'un atelier passe par un échantillonnage sur des sites de consommation, et ouvre un autre champ de questionnement : quelle est son aire de diffusion ? dans quelles quantités exporte-t-il ? est-il en concurrence avec d'autres

ateliers fabriquant des produits similaires ? quelle est sa part de marché dans les approvisionnements, selon les périodes et régions, etc.

Étude d'un type de céramiques

Un autre angle d'approche consiste à étudier un type particulier de céramiques : a-t-il été fabriqué par plusieurs ateliers ? peut-on distinguer ces différentes productions ? certains ateliers ont-ils été plus importants que d'autres dans les circuits commerciaux ? quelles sont leurs parts respectives dans l'approvisionnement d'un site donné ? y a-t-il des dominantes géographiques ? chronologiques ? ce type provient-il d'ateliers spécialisés ou ayant fabriqué également d'autres produits ? etc.

Ces différentes approches constituent les facettes d'une même image, pour un cadre géo-chronologique donné. Il est cependant rare qu'on ait la possibilité de les traiter simultanément. En général, on est placé dans l'un ou l'autre de ces cadres, ce qui va déterminer la stratégie d'échantillonnage.

10.3 Mise en oeuvre

10.3.1 Échantillonnage et prélèvement

Le choix de l'échantillonnage est une étape décisive du processus, qui conditionne en grande partie les résultats que l'on peut attendre. Ce choix dépend des données archéologiques (contexte, problématique, cf. 2.2.4) et archéométriques (analyses comparatives disponibles au laboratoire). Nous distinguerons trois situations typiques :

- la définition d'une ou plusieurs productions hors contexte d'atelier ;
- la définition d'une ou plusieurs productions en contexte d'atelier ;
- l'échantillonnage en vue d'attribuer des céramiques à une production précédemment définie.

10.3.1.1 Définition d'une production

Productions non localisées

Dans ce cas, qui est le plus courant, on cherchera en général à vérifier si des exemplaires d'un type, ou de plusieurs types présentant des pâtes d'aspect similaire, correspondent à la même production. Les échantillons, qui peuvent provenir d'un ou de plusieurs sites, sont choisis parmi les **représentants les plus banals** de cette production supposée. Une erreur fréquente est de constituer l'échantillonnage à partir de tessons atypiques, car ce sont ceux qui posent des problèmes d'identification sur la base de critères macroscopiques. En pratique, il faut d'abord définir analytiquement le « coeur » même de la production, avant d'envisager d'en considérer les variantes éventuelles.

On veillera également à échantillonner des tessons bien **documentés** (contexte archéologique, dessin, photos), et dont les caractéristiques de forme, et de décor le cas échéant, sont suffisamment bien conservées pour qu'ils soient représentatifs d'une catégorie typologiquement bien définie. La possibilité d'extrapoler l'interprétation des résultats d'analyse, de l'échantillonnage particulier de l'étude à la catégorie typologique, dépendra en grande partie de cette représentativité.

Productions localisées

Ce cas suppose que l'on dispose sur le site d'indices de production, sous la forme d'**échantillons de référence** correspondant à des matériaux sûrement locaux. Il peut s'agir de pièces défectueuses rejetées en cours de fabrication : pièces inachevées, déformées, surcuites [18], ou de mobilier de four susceptible d'avoir été fabriqué avec les mêmes matériaux que les céramiques : cazettes, trépieds d'enfournement, barres de four [19]... (figure 10.3). En contexte d'atelier, les dépotoirs fourniront en général amplement matière à ce type d'échantillonnage. Outre les déchets de fabrication et autres échantillons de référence, on sélectionnera également des produits finis représentatifs du répertoire local, en se basant sur les mêmes critères que dans le cas précédent. Quelques pièges sont à éviter : comblement de four postérieur à son abandon, céramiques importées dans l'atelier, présentes par exemple dans des entrepôts ou boutiques adjacents (redistribution). Hors contexte d'atelier, on se gardera des « faux ratés » surcuits (foyers, contextes de destruction avec incendie).



Figure 10.3 – Échantillons de référence, production byzantine tardive, Thessalonique, Grèce. On distingue du mobilier d'enfournement - trépieds, dont certains sont restés collés à des bases de céramiques (à gauche), des échantillons surcuits, des pièces inachevées (biscuits non glaçurés, à droite) (photo S.Y. Waksman).

Les produits finis ne sont cependant pas toujours présents en quantité dans l'atelier lui-même, et on aura intérêt à étendre l'échantillonnage, dans un deuxième temps, à du matériel de sites de consommation. Ces derniers peuvent contribuer de façon significative à la connaissance du répertoire de l'atelier et à son évolution typo-chronologique (cf. 4).

18. Les pièces surcuites étant davantage sujettes aux altérations par le milieu d'enfouissement [27], on leur préfèrera dans la mesure du possible d'autres types d'échantillons de référence.

19. Les parois constitutives des fours de potiers sont en revanche souvent fabriquées avec des matériaux spécifiques, différents de ceux utilisés pour les céramiques.

Dans le cas où plusieurs productions sont mises en évidence (différentes catégories de produits, évolution de l'approvisionnement en matériaux argileux au cours du temps...), chacune d'entre elles est à définir de façon indépendante. On sera dans ce cas souvent amené à compléter l'échantillonnage initial pour obtenir une représentativité satisfaisante de chaque production.

10.3.1.2 Définition d'une production, cas des analyses chimiques

Une production est définie par la distribution des valeurs de concentrations élémentaires prises par un échantillonnage représentatif. On se ramènera souvent à une définition en terme de moyennes m et d'écart-types σ, caractérisant la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Cette distribution est en général supposée normale, ou log-normale [*e.g.* 1]. Selon le cas, on pourra avoir affaire aussi bien à des productions vérifiant ce postulat, même sur un nombre d'échantillons relativement restreint, ou au contraire à un ensemble de groupes chimiques sans délimitation nette, correspondant à des variantes du même matériau (cf. *infra* 4., cas de Beyrouth). Des dispersions plus ou moins importantes pourront être observées selon l'élément considéré, la nature minéralogique du matériau et le contexte géologique dont il est issu. Par exemple, dans des argiles liées à des contextes géologiques ultrabasiques, les teneurs en chrome et nickel pourront varier fortement, tout en restant élevées, ou très élevées (Ni>200 ppm, cf. 3.2.2. figure 10.5) ; autre exemple, celui des pâtes kaolinitiques, qui ont souvent des teneurs variables, et relativement élevées, en titane (TiO_2>1 %) ; dans les pâtes calcaires, les teneurs en calcium peuvent varier de façon importante (CaO variant de plus de 10 % en valeur absolue), etc... Il n'existe pas à notre connaissance de règles générales, il s'agit davantage de la résultante d'une combinaison de paramètres chimiques, cristallographiques, géologiques, générant des tendances que l'archéomètre-céramologue expérimenté aura empiriquement appris à reconnaître.

Le nombre d'échantillons nécessaire pour définir une production varie selon son degré de standardisation, l'homogénéité du matériau... Sans rentrer dans des critères purement statistiques [*e.g.* 28], on peut considérer qu'une vingtaine d'échantillons permet le plus souvent de faire une première estimation, et de déterminer s'il y a lieu de compléter l'échantillonnage. Dans la mesure du possible, on procède de façon itérative : échantillonnage initial, analyses, examen des résultats, complément d'échantillonnage éventuel en renforçant, dans le cas de productions multiples, la représentativité des groupes et sous-groupes chimiques ou pétrographiques les moins bien définis. Pour ce faire, on cherchera à corréler ces groupes avec les caractéristiques typologiques et macroscopiques de l'échantillonnage initial.

Lorsqu'il s'agit d'attribuer des céramiques à des productions pré-définies (localisées ou non), le nombre d'échantillons importe peu. Il est cependant difficile de se prononcer sur des cas individuels, qui peuvent présenter des ressemblances ou dissemblances accidentelles. On raisonnera donc là aussi sur un ensemble d'échantillons représentatifs.

10.3.2 Données d'analyse, interprétation des données, modes de représentation

10.3.2.1 Données d'analyses et paramètres à prendre en compte

Selon le type d'analyse mis en oeuvre, les résultats se présentent initialement sous la forme d'un tableau de données quantitatives (analyses élémentaires) ou d'une description incluant données qualitatives et éventuellement quantitatives (analyses pétrographiques). Les descriptions des analyses pétrographiques sont déjà le fruit d'une interprétation, contrairement aux analyses élémentaires où l'interprétation intervient en aval de la phase de production de données. De plus, elles se prêtent également à un traitement automatisé de la phase de classification, en raison du grand nombre de variables qui rend, de fait, le recours à des méthodes statistiques multivariables quasiment incontournable [20]. Dans tous les cas, la dernière étape, qui consiste à exprimer les classifications ou autres traitements des données en terme de productions et d'origines, devrait être une phase interprétative.

Elle doit prendre en compte l'ensemble des paramètres en jeu, depuis l'extraction de la matière première jusqu'aux traitements statistiques des données [21] :

- les données géologiques de terrain, lorsqu'elles sont connues, et d'une manière générale la nature du matériau en tant que matériau géologique, qui va influer sur ses caractéristiques minéralogiques et géochimiques ;
- les aspects technologiques : préparation de la pâte (ajouts, décantation, mélanges...), façonnage, décoration et cuisson [22]. Le caractère plus ou moins standardisé des productions va intervenir dans cette phase ;
- les altérations éventuelles liées aux utilisations du produit fini ;
- après la fin de vie de l'objet, les altérations liées aux interactions avec le milieu d'enfouissement ;
- les imprécisions et biais analytiques ;
- les biais introduits par les traitements statistiques des données ;
- « last but not least », les données archéologiques. Ces dernières doivent à notre sens faire partie du raisonnement, sans pour autant nous influencer par des résultats éventuellement attendus.

Si certains de ces aspects peuvent être formalisés et intégrés dans des traitements statistiques [e.g. 30], on comprendra aisément que ce n'est pas le cas général et que la plupart relèvent de l'appréciation de l'archéomètre. Il lui appartient en effet d'identifier les liens entre les effets observés (sur la distribution des valeurs chimiques, sur les caractéristiques pétrographiques...) et leurs causes potentielles. De notre point de vue, qui suit celui de M. Picon, les traitements statistiques doivent être considérés comme des **guides d'interprétation** et ne se substituent pas à elle. Par ailleurs, ils proposent des **supports de représentation** utiles pour expliciter les résultats. Nous évoquerons rapidement quelques-uns de ces outils, par nombre de variables croissant, et renvoyons à d'autres ouvrages pour des présentations plus détaillées [*e.g.* 31-32].

20. À titre d'exemple, 24 éléments sont déterminés au Laboratoire de Céramologie de Lyon, dont 17 sont utilisés pour les classifications.

21. Cette séquence est représentée de façon imagée - et fort efficace ! - par Maggetti [29].

22. On peut citer, à titre d'exemple, le cas des céramiques à glaçures plombifères, pour lesquelles une diffusion dans la pâte des éléments du fondant (plomb) et des colorants des glaçures lors de la cuisson est souvent mise en évidence.

10.3.2.2 Traitements des données quantitatives d'analyse et modes de représentation

Même si classifications et attributions impliquent généralement des traitements multivariables, les représentations mono- ou bi-variables sont couramment utilisées, notamment pour illustrer des différences entre productions. En principe, il suffit que de telles différences existent sur les concentrations d'au moins un élément, dont les variations sont considérées comme significatives, pour que l'on puisse distinguer des productions entre elles.

Les **histogrammes** de fréquence rendent compte de la forme et de la position relative de distributions de valeurs (concentrations élémentaires ou distances). À titre d'exemple, la figure 10.4 (gauche) montre une asymétrie sur les teneurs en baryum d'une production, révélatrice d'une pollution (apport) par le milieu d'enfouissement. La figure 10.4 (droite) représente la distance de Mahalanobis entre des échantillons d'un groupe de référence (en rouge) et des échantillons à attribuer (en noir), indiquant que seul l'un d'entre eux peut être attribué au groupe.

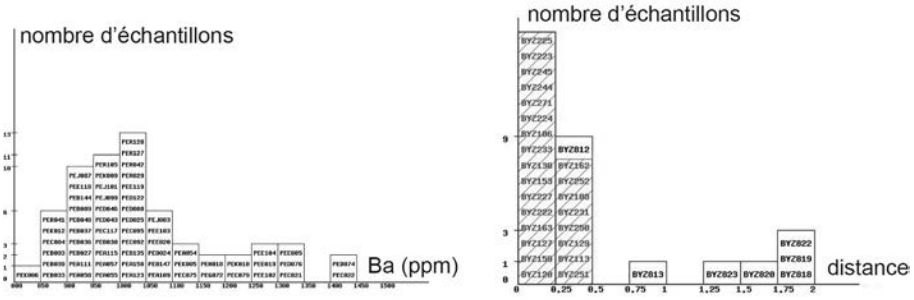


FIGURE 10.4 – Exemples de représentations sous forme d'histogrammes : à gauche, distribution asymétrique mettant en évidence une pollution portant sur l'élément baryum ; à droite histogramme des distances de Mahalanobis entre des échantillons d'un groupe de référence (en hachuré) et des échantillons à attribuer.

On ne raisonne cependant en général pas sur un seul élément et on leur préfèrera souvent des **diagrammes binaires**. Ceux-ci offrent davantage de possibilités d'interprétation, en montrant des différences portant sur deux éléments (figure 10.5, gauche), ou en mettant en évidence des corrélations inter-élémentaires susceptibles de caractériser un matériau (Figure 10.5, droite).

Les **classifications** permettent de constituer des groupes (ou « grappes », « clusters »...) d'échantillons de composition chimique similaire, en se basant sur un calcul de distance (au sens généralisé du terme) qui rend compte de la plus ou moins grande similitude de composition chimique entre individus ou groupes d'individus. Elles procèdent en plusieurs opérations de regroupements successifs [23]. Les techniques de classifications existent en de nombreuses variantes, selon les options choisies : transformation des variables initiales [24] (centrées normées, lognormées...), définition de la

23. Lorsque les aggrégations sont « emboîtées » et ne sont pas remises en question à un stade ultérieur du processus, on parle de classification hiérarchique.

24. Ces transformations de variables ont notamment pour but de faire jouer aux différents éléments, qu'ils soient majeurs et traces, un rôle équivalent dans le calcul de distance.

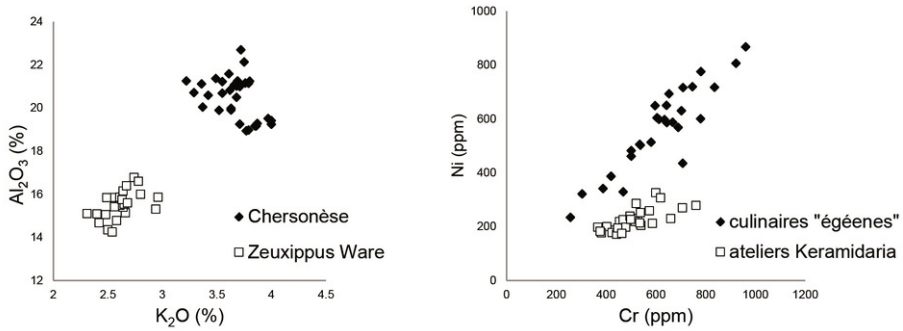


FIGURE 10.5 – Exemples de diagrammes binaires : à gauche, les éléments aluminium et potassium différencient nettement les productions byzantines attribuées à Chersonèse (Crimée) et la production dite « Zeuxippus Ware » ; à droite, les teneurs en chrome et nickel varient fortement au sein d'un échantillonnage de céramiques culinaires antiques tardives dites « égéennes », mais sont bien correlées, une tendance que l'on peut aussi observer dans une moindre mesure au sein des productions de Keramidaria (Samothrace).

distance (euclidienne, de Ward, de Mahalanobis...), critère d'agrégation, caractère hiérarchique ou non de l'algorithme, etc [25] [*e.g.* 17, 32]. Elles ont l'avantage de tenir compte de l'ensemble des variables (ou du moins de l'ensemble des variables choisies comme actives, car considérées comme les plus significatives). Mais elles les ramènent à une donnée unique, la distance, qui n'est pas interprétable en tant que telle en termes géochimiques. Il est nécessaire de ce fait de revenir aux données initiales, en s'appuyant sur les résultats de la classification, et plus précisément sur la façon dont la classification les a ordonnées. La figure 10.6 montre, à titre d'exemple, un dendrogramme résultant d'une classification hiérarchique ascendante (CAH). Chaque échantillon y est initialement représenté par une barre verticale à la base du graphique. Les deux échantillons les plus semblables du point de vue de leurs compositions sont reliés par une barre horizontale, positionnée à une hauteur d'autant plus faible que leur ressemblance est forte. Ils sont alors fusionnés en un « pseudo-échantillon » de composition moyenne. Le même procédé est répété, la liaison s'opérant à hauteur croissante, jusqu'à ce que tous les échantillons soient reliés entre eux. Le dendrogramme se présente ainsi sous la forme de « grappes » d'échantillons de compositions semblables reliés à bas niveau, qui sont rattachées entre elles au sommet de la figure. Les échantillons rattachés à une hauteur relativement élevée à l'un ou l'autre des groupes auront une probabilité d'autant plus faible d'en faire partie.

La représentation d'une classification en dendrogramme ne permet généralement pas, à elle seule, de constituer des groupes de composition. La délimitation des groupes et l'estimation de leur caractère significatif relèvent, comme nous l'avons dit, d'une interprétation des données brutes reposant sur l'ensemble des facteurs à prendre en compte (cf. 3.2.1). Par ailleurs, outre le choix des variables et des différentes options mentionnées ci-dessus, les classifications sont sensibles aux effets d'échantillonnage,

25. Celles mises en oeuvre au Laboratoire de Céramologie de Lyon sont des classifications hiérarchiques ascendantes, portant sur les données centrées normées, et utilisant les distances euclidiennes et le critère d'aggrégation du lien moyen [17]. Elles procèdent à des transformations relativement simples des données initiales, ce qui en facilite l'interprétation.

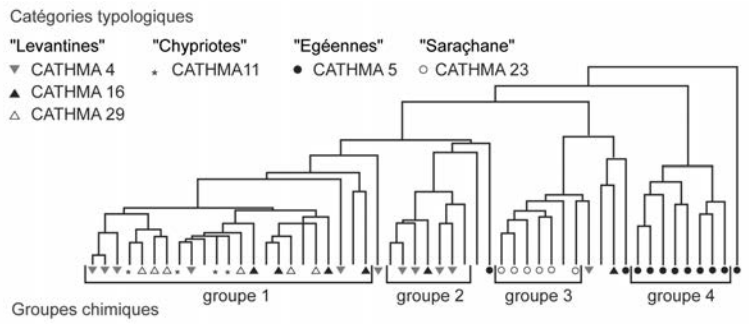


FIGURE 10.6 – Classification hiérarchique ascendante, productions culinaires antiques tardives originaires de Méditerranée orientale et trouvées dans le Sud de la France. Les principaux groupes chimiques sont soulignés. Ils correspondent à des productions qui peuvent associer plusieurs catégories typologiques, indiquées par des symboles.

et plusieurs classifications successives sont en général nécessaires (élimination des échantillons marginaux...).

La dernière catégorie de traitements statistiques multivariables que nous mentionnerons ici inclut **analyse par composantes principales** (ACP) et **analyse discriminante** (AD). Elle se base sur un changement de variables, destiné à se ramener à un plus petit nombre de variables indépendantes. Ces dernières sont calculées de façon à exprimer au mieux, par ordre décroissant, la variance globale de l'échantillonnage (ACP), ou à optimiser la séparation de groupes d'échantillons préalablement définis (AD). L'AD est typiquement utilisée lorsque l'on doit choisir entre plusieurs hypothèses d'attribution, les productions correspondantes ayant au préalable été caractérisées. On utilise en général la représentation des projections sur les premières variables (premiers plans principaux de l'ACP) pour visualiser la séparation entre les différents groupes, ou l'intégration des échantillons à attribuer dans l'un ou l'autre d'entre eux (figure 10.7). La projection des variables initiales sur les mêmes plans montre lesquelles contribuent le plus aux nouvelles variables (les plus discriminantes), et la façon dont elles sont associées. Ces méthodes ont un grand potentiel interprétatif, mais sont en même temps délicates d'utilisation : grande sensibilité à l'échantillonnage, effets de projection qui peuvent masquer des informations, surtout pour les groupes d'échantillons de plus faible effectif. Pour savoir si un échantillon est bien représenté sur les plans principaux, on aura intérêt à connaître l'angle de projection, donnée rarement fournie par les logiciels.

Quelque soit le choix de la méthode et du paramétrage, chacun présente des biais potentiels dont l'utilisateur doit être conscient, ce qui n'est pas toujours aisé lorsqu'il utilise des logiciels commerciaux proposant une multitude d'options.

10.4 Une étude de cas : les productions médiévales de Beyrouth

Le centre-ville de Beyrouth a été l'objet de fouilles de grande envergure, qui ont notamment mis au jour des fours et des dépotoirs d'ateliers de potiers, certains datés de

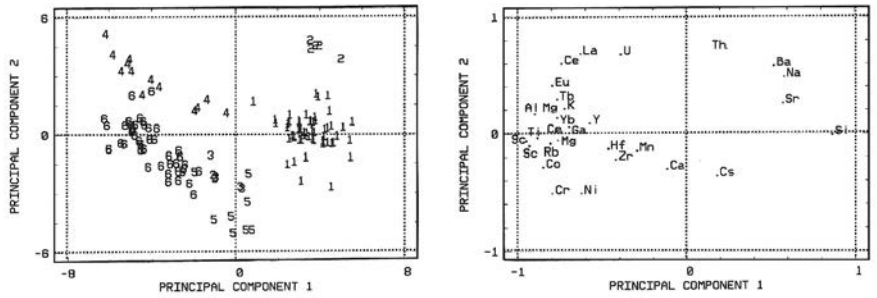


FIGURE 10.7 – Analyse en composantes principales, projection selon les 2 premiers axes. À gauche, projection des vecteurs représentatifs des échantillons, indiqués par leur numéro de groupe obtenu lors d'une classification préalable (CAH) ; à droite, projection des variables initiales selon les mêmes axes.

l'époque romaine, d'autres de la période médiévale [33-34]. Ces vestiges ont donné lieu à plusieurs séries d'analyse en laboratoire, dont nous reprenons ici le volet médiéval [35-36], à titre d'illustration des différentes facettes que peuvent présenter les études de provenance.

10.4.1 Définition des productions médiévales de Beyrouth

La production de céramiques à l'époque médiévale est attestée archéologiquement à Beyrouth par des vestiges d'ateliers. La première étape a consisté à créer les groupes de référence chimiques correspondants. Au sein de notre échantillonnage, différents degrés de confiance vis-à-vis du statut local pouvaient être distingués : matériaux sûrement locaux (pièces inachevées et autres déchets de fabrication, mobilier de four), céramiques issues de comblements de fours,produits finis trouvés en grandes quantités dans des contextes d'ateliers (figure 10.8). Les références locales se répartissant dans tous les groupes et sous-groupes chimiques, les analyses confirment que les échantillons considérés sont des productions beyrouthaines, avec quelques exceptions notables, tel un exemplaire de céramique chypriote trouvé dans le comblement d'un four (non représenté sur la figure 10.8).

Deux matériaux très différents ont été utilisés par les potiers (figure 10.8) : d'une part, des pâtes moyennement à non calcaires, de compositions variables mais présentant un certain nombre de caractéristiques chimiques communes (teneurs faibles en alcalins, élevées en fer et titane...). Dans ce cas particulier, on ne peut pas représenter ces productions par un groupe chimique unique, qui serait bien défini par sa moyenne et son écart-type, mais plutôt par un ensemble de sous-groupes couvrant une large gamme de compositions chimiques (Tableau 1). Ces matériaux ont servi à la fabrication de céramiques culinaires (pour les moins calcaires) ou de table, à pâtes rouges à violacées, partiellement ou complètement couvertes d'une glaçure plombifère et, dans le cas des céramiques de table, d'un engobe. Une autre production de céramiques de table, très différente, correspond à des pâtes beiges très calcaires (plus de 30 % de CaO en moyenne), associées à des glaçures alcalino-plombifères (permettant notamment l'obtention de teintes turquoises). Cette association pâte-glaçure relève d'une

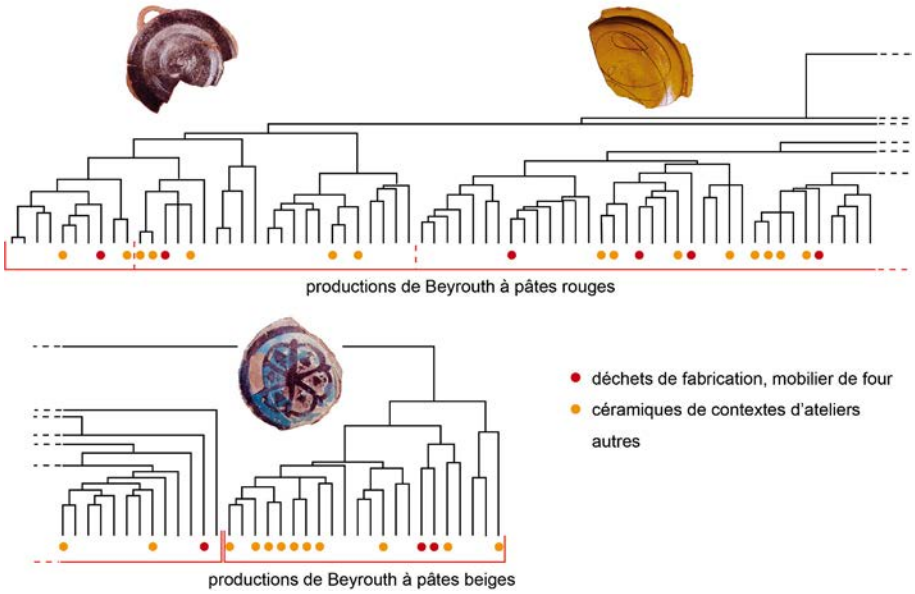


FIGURE 10.8 – Classification hiérarchique ascendante, céramiques médiévales de Beyrouth. Les différents groupes et sous-groupes chimiques correspondent à des productions locales, identifiées comme telles grâce aux échantillons de référence au sens strict (points rouges), complétés de façon cohérente par des tessons trouvés en contexte d'atelier (points jaunes). Deux matériaux très différents ont été utilisés : l'un pour des céramiques à pâte rouge, culinaires (sous-groupes de la partie supérieure gauche) ou de table, l'autre pour des céramiques de table à pâte beige (groupe de la partie inférieure droite) correspondant à une autre tradition technique.

autre tradition technique, correspondant plus spécifiquement à des céramiques dites islamiques.

La première partie de l'étude met en évidence un choix de matériaux qui peut être lié à des critères techniques (argiles non calcaires adaptées à un usage culinaire [22], argiles très calcaires permettant un meilleur accord avec des glaçures alcalino-plombifères [37]...) mais également à des facteurs culturels (valeur symbolique de la couleur turquoise [38]). Elle montre aussi qu'en terme de productions il n'y a pas lieu de distinguer entre différents types de céramiques habituellement séparés dans les publications selon leur techniques de décoration : engobage partiel, décor peint à l'engobe, décor au sgraffito.

10.4.2 Diffusion des productions beyrouthaines et compléments de définition

Les productions à pâte rouge de Beyrouth étaient déjà connues avant que les ateliers ne soient mis au jour lors de fouilles. Elles avaient été en partie définies analytiquement, à partir d'un échantillonnage issu de contextes de consommation [39-40]. Ces études avaient permis une première approche de leur diffusion, importante en Méditerranée orientale et occasionnelle en Méditerranée occidentale et en mer Noire. Des analyses pétrographiques réalisées par N. Porat avaient identifié les formations du Crétacé

Tableau 10.1 – Moyennes et écart-types des compositions des groupes et sous-groupes chimiques correspondant aux productions beyrouthaines médiévales (éléments majeurs et mineurs en %, éléments trace en ppm). Les céramiques à pâtes beiges très calcaires constituent un groupe chimique relativement bien défini, contrairement aux pâtes rouges non ou peu calcaires, qui se présentent en de multiples variantes d'un même matériau. Dans ce cas précis, on se basera pour les traitements ultérieurs sur l'ensemble des compositions individuelles [35] plutôt que sur les moyennes et écart-types.

	CaO	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	SiO_2	Al_2O_3	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	N	Ba	V	Ce
Productions de Beyrouth à pâtes rouges (moyennement ou non calcaires)																			
B1 (n=17)																			
m	11,26	9,92	1,777	0,92	61,23	12,97	1,16	0,1053	0,27	0,21	463	195	37	85	144	93	225	132	80
σ	3,36	0,80	0,158	0,21	4,16	0,99	0,23	0,0179	0,08	0,11	43	43	7	20	13	10	44	9	5
B2 (n=8)																			
m	1,66	9,92	1,790	0,81	69,89	14,65	0,77	0,1153	0,36	0,16	477	95	42	90	144	98	229	142	95
σ	0,55	0,97	0,193	0,23	2,51	1,31	0,07	0,0127	0,19	0,07	36	30	5	14	14	11	28	20	7
B3 (n=19)																			
m	2,09	8,26	1,790	0,43	73,60	12,66	0,67	0,0528	0,24	0,11	506	76	33	67	129	69	143	121	78
σ	1,82	0,97	0,178	0,08	3,25	1,02	0,14	0,0094	0,10	0,07	32	25	5	19	15	10	61	16	10
B4 (n=6)																			
m	11,93	7,98	1,476	0,58	65,42	11,07	0,96	0,0685	0,26	0,16	429	169	29	62	114	62	169	112	75
σ	2,46	0,51	0,157	0,10	1,62	0,65	0,15	0,0156	0,02	0,07	32	18	5	8	8	8	55	10	4
B5 (n=8)																			
m	1,19	11,46	2,319	0,66	66,34	16,67	0,79	0,0636	0,23	0,15	515	81	38	90	176	111	154	128	90
σ	0,26	0,87	0,184	0,08	1,57	1,05	0,08	0,0106	0,05	0,12	24	7	4	15	19	17	49	20	10
Productions de Beyrouth à pâtes beiges (très calcaires, n=26)																			
m	32,14	6,82	1,012	0,68	47,04	9,12	2,05	0,0769	0,47	0,24	292	389	18	63	95	49	255	93	58
σ	4,96	0,57	0,105	0,23	4,24	0,77	0,86	0,0148	0,23	0,22	30	60	11	7	12	10	126	16	10

inférieur, s'étendant entre le Liban, Israel et la Jordanie, comme la source la plus probable du matériau utilisé par les potiers. La découverte des ateliers a confirmé cette hypothèse et a en premier lieu permis de les localiser.

L'étude des sites de consommation apporte des informations précieuses à la connaissance des productions : informations chronologiques, souvent plus précises en contextes de consommation que d'atelier ; répertoire typologique, pas toujours complètement représenté dans les dépotoirs d'ateliers ; partie du répertoire ayant été diffusé ; importance relative dans les circuits commerciaux, lorsque les différentes catégories ont fait l'objet de comptages ; productions différentes associées par un même mode de commercialisation, etc...

Ces « compléments de définition » sont par exemple bien illustrés par l'apport de l'étude d'E.J. Stern, du matériel d'époque franque de Saint-Jean d'Acre, à la connaissance des ateliers beyrouthains [39, 41]. Elle a établi leur typo-chronologie aux 12ème-13ème siècles, et montré le caractère massif de leur diffusion dans la région. Elle a aussi permis de comprendre quelle partie de la production était exportée. Contrairement à un préjugé encore solidement ancré, ce sont les céramiques culinaires qui ont fait l'objet de la diffusion la plus large. Des céramiques de table beyrouthaines (décorées au sgraffito ou partiellement engobées) leur étaient associées, ainsi que des céramiques décorées à l'engobe issues d'ateliers encore non identifiés, dont les produits suivaient les mêmes circuits commerciaux que ceux de Beyrouth.

10.4.3 Attribution d'autres types à la production beyrouthaine

Il est probable que la production de céramiques ait existé à Beyrouth en dehors des périodes pour lesquelles nous disposons de vestiges d'ateliers. Les groupes de références que nous avons définis grâce à ces derniers nous permettent de l'identifier, dans la mesure où les mêmes matériaux ont été utilisés, et qu'ils ont été mis en oeuvre avec des traditions techniques similaires. On a ainsi pu mettre en évidence les productions d'époque fatimide, dont la fabrication locale n'était pas attestée archéologiquement [36]. Certaines d'entre elles sont visuellement très semblables à une cargaison trouvée dans l'épave du Serçe Limanı, échouée au large de la Turquie [42]. De précédentes études avaient proposé une origine cairote, levantine ou nord africaine pour ce type de céramiques, qui présente des parallèles stylistiques avec des vaisselles attribuées au Caire [43-44]. Nous savons maintenant, grâce à leur similitude de composition chimique avec des productions d'époque franque, qu'elles sont d'origine beyrouthaine [36]. Leur attribution à Beyrouth suggère également une origine levantine pour le verre de recyclage qui constitue la cargaison principale de l'épave. Inversement, l'épave apporte des indications précieuses sur la datation des céramiques beyrouthaines, grâce à des poids en verre précisément datés du début du 11ème siècle, et sur leur répertoire à l'époque fatimide. Elle montre aussi que céramiques culinaires et de table originaires de Beyrouth circulaient sur des distances relativement importantes à cette période, même si leur diffusion semble plus restreinte qu'à la période franque.

Cet aperçu de l'étude en laboratoire des céramiques médiévales de Beyrouth aura permis de montrer sur un exemple concret les différentes étapes de la démarche :

— définition des productions (multiples, dans ce cas) et constitution de groupes de références locales, basée sur l'analyse d'un échantillonnage de déchets de fabrication et de mobilier de four. On notera que ces productions avaient pu être définies avant la découverte des ateliers, laquelle a permis d'identifier leur localisation. On notera également l'apport des analyses pétrographiques dans cette phase préalable comme indicateur, sinon d'une origine précise, du moins d'une région d'origine potentielle ;
— étude de diffusion, avec contribution des contextes de consommation dans la connaissance de la typo-chronologie des productions et de leur positionnement dans les marchés ;
— utilisation des données de référence pour tester (et, dans ce cas, prouver) l'attribution à Beyrouth de productions dont le caractère local n'est pas attesté archéologiquement.

10.5 Conclusion

Les études de provenance de céramiques relèvent de méthodes qui peuvent paraître bien établies. De nouveaux usages, liés aux développements de l'instrumentation (pXRF) [*e.g.* 45] et des grands équipements (synchrotron), sont cependant apparus ces dernières années. S'ils peuvent avoir un intérêt dans des cas particuliers [*e.g.* 46], ils mettent surtout en évidence le besoin de revenir à des notions fondamentales sur le matériau, l'échantillonnage et la façon d'aborder des problématiques archéologiques. Certaines « écoles », dont celle de Lyon, incitent à une réelle implication dans les questionnements archéologiques, une démarche fructueuse pour l'approfondissement et le suivi des recherches. Elle se justifie également par la nécessité de construire des référentiels géochimiques et pétrographiques adaptés à chaque problématique.

De plus, à la différence d'autres matériaux, le caractère ubiquiste des argiles et la nature composite de la pâte céramique ne permettent pas en général de se baser uniquement sur la localisation des gisements de matières premières. On est amené à raisonner en terme de productions, définies par un ensemble de données archéologiques et archéométriques. L'un des enjeux actuels relève du bon usage de la donnée archéométrique, en relation avec le niveau d'information contenu dans les bases de données utilisées dans les recherches de provenance. Il concerne aussi bien la pérennisation des bases de données « historiques » que la mise en réseau de bases de données céramologiques complémentaires, interconnectées et interopérables. La construction de tels réseaux, s'appuyant sur des technologies émergentes de modélisation et de partage des données complexes, en parallèle avec une plus grande exigence sur la documentation archéologique des données d'analyse, pourrait ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine.

Remerciements

Ce chapitre est le fruit d'une collaboration avec de nombreux partenaires céramologues, archéologues et archéomètres. Qu'ils en soient remerciés, ainsi que : les « sponsors » qui ont rendu ces recherches possibles ; H. Pommier et D. Roux qui les ont accompagnées ; les autorités ayant permis l'exportation d'échantillons ; l'équipe du

Laboratoire de Céramologie de Lyon ; M.-O. Rousset et C. Armand-Carré qui ont eu la patience de relire ce manuscrit.

10.6 Bibliographie

[1] G. Harbottle, Activation analysis in archaeology. Radiochemistry. 3, 33-72, 1976.

[2] F. Fouqué, Santorin et ses éruptions, Éditions Masson, Paris, 440 pages, 1879.

[3] H.W. Catling, E.E. Richards, A.E. Blin-Stoyle, Correlations between composition and provenance of Mycenaean and Minoan pottery. Annual of the British School at Athens. 58, 94-115, 1963.

[4] I. Perlman, F. Asaro, Pottery analysis by neutron activation analysis. Archaeometry. 11, 21-52, 1969.

[5] A.O. Shepard, Ceramics for the archaeologist, Éditions Carnegie Institution, Washington D.C., 414 pages, 1963.

[6] M. Picon, Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux. Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, Éditions Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, Dijon, 29 pages, 1973.

[7] D.E. Arnold, Ceramic theory and cultural process, Éditions Cambridge University Press, Cambridge, 268 pages, 1985.

[8] R.E. Jones, Greek and Cypriot pottery. A review of scientific studies. Fitch Laboratory Occasional Papers 1, Éditions British School at Athens, Athènes, 938 pages, 1986.

[9] D.P.S. Peacock, D.F. Williams, Amphorae and the Roman economy. An introductory guide, Éditions Longman, Londres, 239 pages, 1986.

[10] P.M. Rice, Pottery analysis. A sourcebook, Éditions University of Chicago Press, Chicago, 559 pages, 1987.

[11] T. Mannoni, 25 Anni di archeologia globale, vol. 5 : Archaeometria geoarcheologia dei manufatti, Éditions Escum, Gênes, 463 pages, 1994.

[12] M. Maggetti, « Archaeometry : quo vadis ? » dans Geomaterials in Cultural Heritage, eds. M. Maggett, B. Messiga, Geological Society, Londres (Special Publications 257). p. 1-8, 2006.

[13] R.J. Speakman, M.D. Glascock (eds.). Archaeometry. 49, 2, 2007.

[14] M.S. Tite, Ceramic production, provenance and use - a review. Archaeometry. 50, 216–231, 2008.

[15] Minéralogie des argiles (2e édition), 2 volumes, Éditions Masson, Paris, 184 et 189 pages, 1982.

[16] R. Tomber, J. Dore, The national reference Roman fabric reference collection. A handbook, Éditions Museum of London Archaeological Service, Londres, 247 pages, 1998.

[17] Datation-caractérisation des céramiques anciennes, PACT. 10, 1984.

[18] M. Picon, « L'analyse chimique des céramiques : bilan et perspectives », Archeometria della Ceramica. Problemi di Metodo, Atti 8° Simposio Internazionale della Ceramica, eds. S. Santoto Bianchi, A. Failla, M.P. Guermandi, Int. Centro Ceramico, Bologne. p. 3-26, 1993.

[19] La céramique (2ème édition), Éditions Errance, Paris, 334 pages, 2011.

[20] W. Gauss, E. Kiriatzi, Pottery production and supply at Bronze Age Kolonna, Aegina : an integrated archaeological and scientific study of a ceramic landscape, Éditions Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Vienne, 527 pages, 2011.

[21] Premières sociétés paysannes de Méditerranée occidentale. Structures des productions céramiques, Séance de la Société Préhistorique Française, Toulouse, 11-12 mai 2007 (SPF Mémoire LI), 281 pages. 2010.

[22] Picon, M., « Grises et grises : quelques réflexions sur les céramiques cuites en mode B », Actas das 1as Jornadas de Cerâmica Medieval e Pós-Medieval, Camara Municipal de Tondela, Porto, Maio. p. 283-292, 1995.

[23] M.S. Tite, V. Kilikoglou, G. Vekinis, Review article : strength, toughness and thermal shock resistance of ancient ceramics, and their influence on technological choice. Archaeometry. 43, 301-324, 2001.

[24] B. Velde, L. Courtois, Yellow garnets in roman amphorae - a possible tracer of ancient commerce. Journal of Archaeological Science. 10, 531-539, 1983.

[25] I.K. Whitbread, « Image and data processing in ceramic petrology » dans Recent developments in ceramic petrology, eds. A. Middleton, I. Freestone, British Museum Occasional Papers. 81, Londres. p. 369-391, 1991.

[26] S.Y. Waksman, « The wandering scientist, or the quest for intercalibration », 34th International Symposium on Archaeometry, Institución « Fernando el Católico », Saragosse, p. 563-568, 2006, http ://ifc.dpz.es/publicaciones/ebooks/id/2610

[27] M. Picon, La fixation du baryum et du strontium par les céramiques. Revue d'archéométrie. 11, 41-47, 1987.

[28] M. J. Baxter, Exploratory multivariate analysis in archaeology, Éditions Edinburgh University Press, Edimbourg, 307 pages, 1994.

[29] M. Maggetti, « Phase Analysis and its Significance for Technology and Origin » dans Archaeological Ceramics, eds. J.S. Olin, A.D. Franklin, Smithsonian Institution, Washington D.C.. p.121-133, 1982.

[30] Th. Beier, H. Mommsen, Modified Mahalanobis filters for grouping pottery by chemical composition. Archaeometry. 36, 287-306, 1994.

[31] Pratique archéologique statistique et graphique, Éditions Errance, Paris, 162 pages, 1996.

[32] L'analyse des données, Éditions PUF, Paris, 127 pages, 1989.

[33] P. Reynolds, S.Y. Waksman, S. Lemaître, H. Curvers, M. Roumié, B. Nsouli, An early Imperial Roman pottery production site in Beirut (BEY 015) : chemical analyses and a ceramic typology. Berytus. 51-52, 71-115, 2008-2009.

[34] V. François, A. Nicolaïdès, L. Vallauri, Y. Waksman, « Premiers éléments pour une caractérisation des productions de Beyrouth entre domination franque et mamelouke », Actes du VII^{e} Congrès International sur la Céramique Médiévale en Méditerranée, ed. Ch. Bakirtzis, Caisse des Recettes Archéologiques, Athènes. p. 325-340, 2003.

[35] S.Y. Waksman, Céramiques levantines de l'époque des Croisades : le cas des productions à pâte rouge des ateliers de Beyrouth. Revue d'Archéométrie. 26, 67-77, 2002.

[36] S.Y. Waksman, Ceramics of the « Serçe Limanı type » and Fatimid pottery production in Beirut. Levant. 43.2, 201-212, 2011.

[37] M. Picon, J. Thiriot, L. Vallauri, « Techniques, évolutions et mutations » dans Le Vert et le Brun, de Kairouan à Avignon, X^{e}-XV^{e} siècle, Musées de Marseille, Marseille. p. 41-50, 1995.

[38] Encyclopædia Iranica, http ://www.iranicaonline.org/articles/color-pers-rang. Site consulté en Juin 2013.

[39] E.J. Stern, S.Y. Waksman, « Pottery from recent excavations in Crusader Acre : typological and analytical study », Actes du VII^{e} Congrès International sur la Céramique Médiévale en Méditerranée, ed. Ch. Bakirtzis, Caisse des Recettes Archéologiques, Athènes. p. 167-180, 2003.

[40] S.Y. Waksman, E.J. Stern, I. Segal, N. Porat, J. Yellin, Some local and imported ceramics from Crusader Acre investigated by elemental and petrographic analysis. 'Atiqot. 59, 157-190, 2008.

[41] E.J. Stern, 'Akko I, The 1991-1998 Excavations. The Crusader-Period Pottery. 2 vols. (IAA Reports 51), Éditions Israel Antiquities Authorities, Jerusalem, 183 et 164 pages, 2012.

[42] G.F., Bass, F.H. van Doorninck, An 11th century shipwreck at Serçe Liman, Turkey. International Journal of Nautical Archaeology. 7, 119-132, 1978.

[43] M. Jenkins, Early medieval islamic pottery : the eleventh century reconsidered. Muqarnas. 9, 56-66, 1992.

[44] R.B. Mason, Shine Like the Sun : Lustre-painted and Associated Pottery from the Medieval Middle East, Éditions Mazda Publishers, Costa Mesa, CA ; Royal Ontario Museum, Toronto, 266 pages, 2004.

[45] R.J. Speakman, N.C. Little, D. Creel, M.R. Miller, J.G. Iñañez, Sourcing ceramics with portable XRF spectrometers ? A comparison with INAA using Mimbres pottery from the American Southwest. Journal of Archaeological Science. 38, 3483-3496, 2011.

[46] J. Molera, J. Coll, A. Labrador, T. Pradell, Manganese Brown decorations in 10th to 18th centuries Spanish tin glazed ceramics. Applied Clay Sciences. 82, 86-90, 2013.