

le terrain permettent d'en déterminer la provenance ou, au moins, de formuler des hypothèses en ce qui la concerne, hypothèses qui peuvent ensuite être, ou non, étayées par des arguments archéologiques.

ANALYSE DES CERAMIQUES ET QUELQUES PROBLEMES AMPHORIQUES A THASOS

HISTORIQUE

L'idée d'utiliser les compositions chimiques des céramiques pour identifier sur des sites de consommation les différentes productions d'un atelier est fort ancienne. On en trouve quelques

mentions dès le XIX^e siècle, mais il fallut attendre le développement des méthodes physiques d'analyse - permettant de réaliser de nombreuses analyses en un temps relativement bref - pour que les premières applications archéologiques de quelque importance voient le jour. On peut citer, parmi ces tout premiers travaux, ceux du Laboratory for Archaeology and History of Art à Oxford dont les publications en ce domaine débutent vers 1958. La méthode d'analyse en vogue à cette époque était la spectrographie optique d'émission et c'est tout naturellement qu'elle fut employée par les chercheurs d'Oxford dans leurs recherches sur les céramiques. Par la suite d'autres méthodes d'analyse s'imposèrent, comme l'activation neutronique et la fluorescence X, qui furent à leur tour utilisées pour des applications archéologiques.

MÉTHODES D'ANALYSE

Rappelons brièvement le principe de ces méthodes. En spectrographie optique l'échantillon à analyser, qui peut être tout simplement la céramique réduite en poudre ou mise en solution, est soumise à une excitation, celle d'un arc électrique continu ou d'une décharge oscillante jaillissant entre deux électrodes par exemple. Un certain nombre d'atomes de la céramique sont alors "excités" ; ils émettent, en revenant à leur état normal, diverses radiations dont les longueurs d'onde sont caractéris-



Ci-contre et page suivante : le processus d'analyse des céramiques au laboratoire de céramologie de Lyon.



tiques des éléments chimiques présents (analyse qualitative) et dont l'intensité dépend du nombre d'atomes de l'élément correspondant contenus dans la céramique (analyse quantitative).

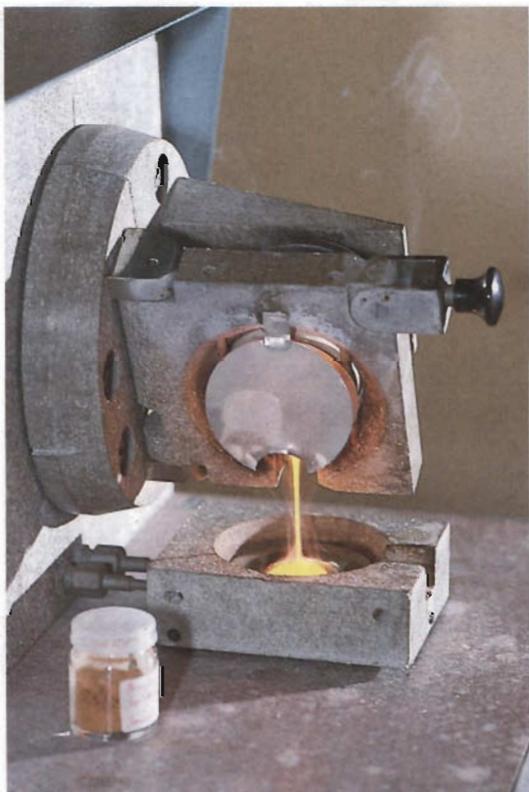
Dans le cas de la fluorescence X, la source d'excitation est constituée par un faisceau de rayons X, issu généralement d'un tube à rayons X, qui provoque l'émission d'un rayonnement X de fluorescence dont les longueurs d'onde et les intensités dépendent des atomes présents et de leur nombre, permettant ainsi l'analyse qualitative et quantitative de l'échantillon.

Enfin, dans le cas de l'activation neutronique, l'échantillon est soumis à l'action d'un faisceau de neutrons produits dans un réacteur nucléaire, une pile atomique par exemple. Les radioisotopes qui se forment alors émettent des radiations nucléaires et notamment des rayons gamma dont les caractéristiques de longueur d'onde et l'intensité sont utilisées pour l'analyse.

Il existe en fait une très grande variété de méthodes physiques d'analyse, et il serait difficile d'énumérer toutes celles qui, à un moment ou à un autre, ont servi à l'étude des céramiques anciennes. C'est qu'il est possible de caractériser une production céramique de bien des manières, et que la méthode d'analyse employée pour cela n'a pas une très grande importance, sous réserve d'un niveau de qualité minimal, concernant notamment la fidélité et la précision.

On notera toutefois que les différentes méthodes d'analyse ne permettent pas de doser tous les constituants chimiques avec un égal succès. C'est ainsi par exemple que la fluorescence X est particulièrement bien adaptée au dosage des constituants principaux de la céramique, mais qu'elle rencontre des difficultés pour la mesure de certaines traces, alors que l'analyse par activation neutronique permet le dosage des traces dans d'excellentes conditions. Mais l'expérience montre qu'il n'y a pas lieu — pour les applications archéologiques — de privilégier les traces plutôt que les constituants principaux de la céramique, l'idéal étant de pouvoir disposer des deux, et qu'il y ait au moins dix à douze constituants qui soient mesurés sur chaque céramique.

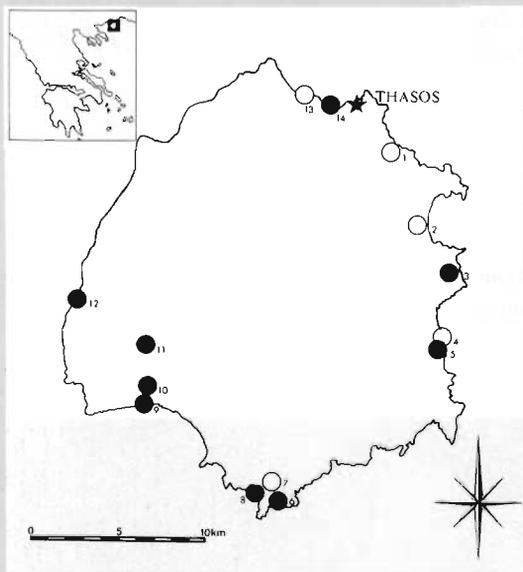
Enfin, il faut rappeler qu'il est pratiquement impossible de procéder à l'analyse d'une céramique sans effectuer un prélèvement (généralement de quelques centaines de milligrammes) sur cette céramique.



Les amphores de Thasos présentent fréquemment un timbre imprimé sur l'une des anses. Sur les timbres anciens figurent le plus souvent l'ethnique, c'est à dire le nom par lequel se désignaient les Thasiens, et deux noms de personnes : celui du "fabricant" et celui d'un magistrat annuel jouant le rôle d'"éponyme", car il permet ici de désigner l'année, ainsi qu'un emblème : oiseau, poisson, corne d'abondance, vase, etc. Sur les timbres récents figure

encore l'ethnique, mais un seul nom de personne et un symbole ; on a pu montrer qu'il s'agissait du nom du magistrat éponyme et du symbole de l'atelier.

Avant que les fouilles d'ateliers aient permis de proposer une interprétation cohérente du timbrage thasien, diverses autres solutions avaient été avancées, particulièrement pour les timbres récents, car, dans ce cas, c'est non seulement le nom du magistrat qui change chaque année, mais également le symbole de l'atelier.



Situation de l'île de Thasos et carte des ateliers d'amphores thasiens : ateliers certains (cercles noirs), ateliers probables (cercles blancs). Etat des recherches en 1984.

Timbre récent de Thasos (325-310) sur lequel figurent le nom de l'ethnique : Thasion, celui du magistrat éponyme : Arkênax, et le symbole de l'atelier : tortue.



THASOS, SON VIN ET SES AMPHORES

Pour illustrer quelques-unes des applications de l'analyse des céramiques à la résolution de problèmes archéologiques, on a retenu le cas des amphores de Thasos qui ont servi à commercialiser l'un des vins parmi les plus célèbres du monde grec.

Ces amphores ont été produites au moins depuis le V^e siècle avant notre ère et jusqu'au II^e siècle, dans de nombreux ateliers de l'île dont un certain nombre ont été retrouvés et dont plusieurs ont fait l'objet de fouilles.

COMPOSITIONS DANS LES ATELIERS THASIENS

Nous examinerons à titre d'exemple le cas de l'atelier de Kalonero, dont 25 des amphores produites dans l'atelier ont été analysées.

On suppose que ces 25 amphores représentent bien l'ensemble des compositions des argiles employées dans l'atelier de Kalonero, et l'on va chercher à donner de ces 25 compositions une expression plus simple et surtout plus maniable qu'une longue liste de compositions.

L'expérience montre que dans les ateliers, quels qu'ils soient, les pourcentages de chacun des constituants chimiques se regroupent autour

d'une valeur moyenne, dont ils s'écartent plus ou moins selon les ateliers et selon le constituant pris en compte. On sera donc amené à remplacer les 25 valeurs particulières correspondant à un constituant donné par la valeur moyenne prise par ce constituant, et par une grandeur, l'écart-type, permettant de préciser si les compositions individuelles s'écartent plus ou moins de la moyenne.

Cette représentation réduite des compositions, qui ne conserve plus que 2 valeurs (moyenne et écart-type) pour chaque constituant, permet par ailleurs de calculer facilement la ressemblance qui peut exister entre la composition d'un exemplaire d'origine inconnue et les compositions de l'atelier pris en compte. Or c'est là une opération qui joue un rôle essentiel dans les applications archéologiques, car plus cette ressemblance est faible, moins l'exemplaire inconnu a de chances d'appartenir à l'atelier considéré.

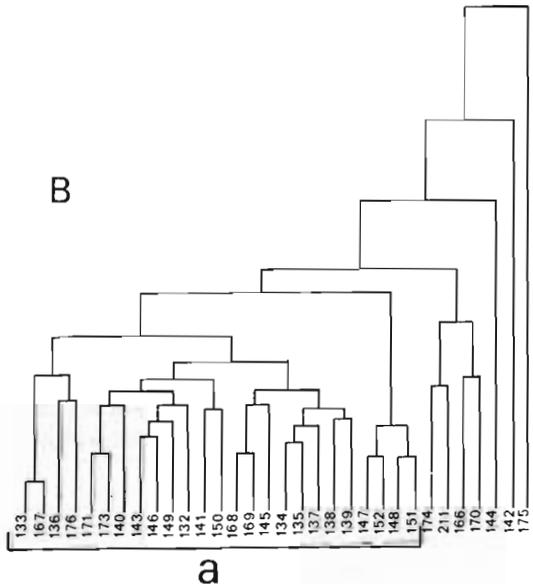
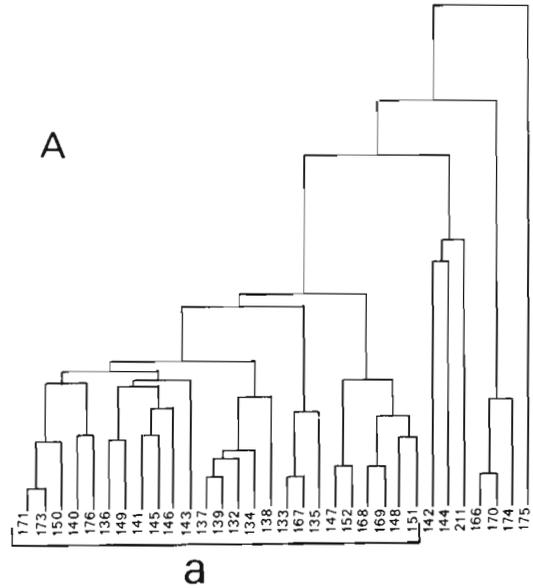
La représentation précédente est cependant incomplète dans la mesure où elle considère chacun des constituants de manière indépendante, alors que des relations peuvent exister entre les variations d'un constituant et celles d'un ou plusieurs autres. Ces relations peuvent être décrites par un ensemble de coefficients dits de corrélation qui donnent avec les moyennes et les écarts-types une représentation réduite, mais complète, de l'ensemble des compositions d'un atelier.

On notera enfin que s'il est possible de donner une représentation simplifiée des compositions d'un atelier, et de s'en servir pour des calculs de ressemblance, c'est que les histogrammes correspondants ont des formes simples.

Par contre on ne sait pas donner de représentation simple des compositions d'une région, dont les histogrammes sont en principe très complexes. Cela veut dire, par exemple, que l'on est dans l'incapacité de décrire l'ensemble des compositions d'argile employées dans l'île de Thasos autrement qu'en passant par l'intermédiaire des différents ateliers qui s'y trouvent. On ne peut donc, dans un cas général, dire que telle composition n'est pas de l'île de Thasos, à moins qu'il soit possible de la rattacher à un atelier extérieur, ou qu'elle présente des caractéris-

tiques géochimiques incompatibles avec la géologie de l'île (ce qui reste un cas très particulier, plus courant dans le cas des caractéristiques minéralogiques et pétrographiques). De même

Dendrogramme de la classification par analyse de grappes de 25 références de l'atelier de Kalonero (groupe a) et de 7 exemplaires à tester. A, classification effectuée sur 8 constituants principaux : K, Mg, Ca, Mn, Al, Fe, Si et Ti. B, classification effectuée sur 9 traces : Rb, Sr, Ba, Ni, Zn, Cr, Zr, Ce et V. On notera que si les deux classifications diffèrent dans le détail, elles conduisent exactement aux mêmes conclusions concernant les exemplaires qui sont en position marginale par rapport aux 25 références.



on ne peut dire qu'une céramique est de Thasos que s'il est possible de la rattacher à l'un ou l'autre des ateliers thasiens étudiés.

LES TIMBRES D'ORIGINE ÉTRANGÈRE

La mise en évidence, dans un atelier, de produits étrangers mêlés accidentellement aux rebuts des fabrications locales, compte parmi les applications les plus simples de l'analyse des céramiques. Très souvent, il s'agit de céramiques qui se distinguent des productions locales par quelques caractéristiques particulières de forme, de décor, ou, dans les cas des amphores thasiennes, par quelque timbre particulier. La question posée au laboratoire est alors de confirmer (ou d'infirmer) les soupçons que ces caractéristiques rares avaient fait naître.

Dans le cas de l'atelier de Kalonero les exemplaires testés étaient soit des timbres trouvés sur le site en un seul exemplaire, soit des timbres dont la date ne correspondait pas à la période d'activité connue de cet atelier. Pour vérifier le caractère étranger possible de ces exemplaires, on a effectué une classification par analyse de grappes de l'ensemble constitué des 25 références de Kalonero et des 7 exemplaires à tester.

Rappelons qu'une opération de classification consiste à regrouper les céramiques dont les compositions se ressemblent. Les résultats de l'analyse de grappes utilisée à cette fin sont traduits graphiquement en un diagramme arborescent ou dendrogramme, sur lequel chaque céramique est représentée par un trait vertical à la base du diagramme, les chiffres renvoyant aux numéros d'analyse.

La ressemblance de composition qui existe entre deux ou plusieurs céramiques est matérialisée par la hauteur, au-dessus de la base du diagramme, où se situe le départ du rameau vertical qui réunit les exemplaires considérés. Plus cette hauteur est grande, plus faible est la ressemblance existant entre les compositions des céramiques qui se trouvent rattachées au même rameau vertical.

L'observation la plus évidente qui peut être faite sur le diagramme (page 203), c'est l'existence

d'une opposition marquée entre le groupe a (de l'exemplaire 171 à l'exemplaire 151) qui réunit les 25 références de Kalonero, et les 7 exemplaires testés qui se placent à l'extrémité droite du diagramme. Les exemplaires du groupe a se rattachent à un même rameau vertical dont le départ se situe relativement bas, témoignant ainsi d'une nette homogénéité des compositions. Les 7 exemplaires testés viennent se rattacher au groupe a, isolément ou par groupes, à des hauteurs beaucoup plus élevées, ce qui signifie que leurs compositions diffèrent notablement de celles du groupe a. Dans ces conditions, la concordance observée entre les caractéristiques particulières de ces timbres et leurs compositions, différentes de celles des productions locales, accredit l'hypothèse de leur origine étrangère.

CALCULS DE DISTANCE

Il existe bien entendu beaucoup d'autres méthodes qui auraient permis de mettre en évidence les différences de composition qui existent entre les exemplaires testés et les références de l'atelier de Kalonero. L'une d'elles mérite d'être présentée car elle donne lieu à des développements particulièrement féconds.

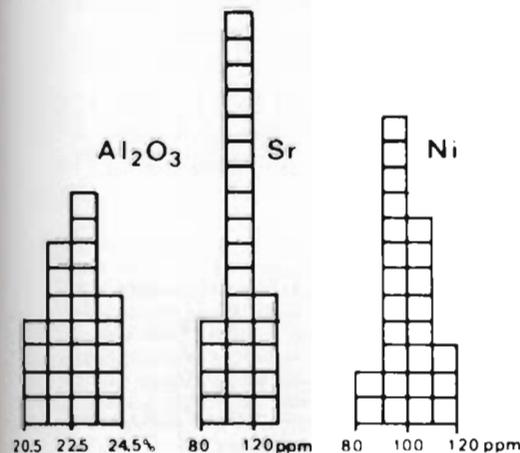
Il s'agit du calcul des distances, en l'occurrence la distance dite de Mahalanobis qui mesure la dissemblance qui existe entre un groupe de référence, ici les 25 amphores de Kalonero, et une céramique quelconque, que l'on souhaite tester. Plus la distance est grande, moins la céramique ressemble au groupe, et donc moins elle a de chance d'appartenir à ce groupe. Dans ce calcul le groupe de référence est représenté par les valeurs moyennes des constituants chimiques pris en compte, les écarts-types correspondants et les coefficients de corrélation, ce qui constitue la représentation réduite la meilleure possible pour un groupe (pour des problèmes simples, on peut se contenter des distances euclidiennes qui ne prennent en compte que les moyennes et les écarts-types correspondant aux divers constituants utilisés, négligeant donc les coefficients de corrélation. On notera d'ailleurs qu'en analyse de grappes les calculs ne peuvent se faire que sur des distances euclidiennes, ce qui

contribue à limiter les performances de la méthode).

On a appliqué ce calcul aux mêmes 7 exemplaires que précédemment, le groupe de référence étant toujours constitué par les 25 références de Kalonero. Les résultats ont été reportés, sous forme d'histogramme des distances, à la partie inférieure de la figure page ci-contre.

A la partie supérieure se trouvent rassemblées les distances des 25 références de Kalonero, rien n'empêchant en effet de calculer la distance au groupe de Kalonero (défini par ses moyennes, écarts-types et coefficients de corrélation) d'une céramique quelconque appartenant ou non au groupe de référence. Pour les 25 références de Kalonero ce calcul permet de déterminer quels sont les exemplaires qui sont les plus proches des caractéristiques générales du groupe (ceux dont les distances sont les plus faibles, proches ici de 0,2), et quels sont ceux qui sont en position marginale à l'intérieur du groupe (ceux dont les distances sont les plus grandes, proches ici de 0,5). Si parmi les 7 exemplaires testés il s'en était trouvé un qui eût été fabriqué à Kalonero, sa distance devrait nécessairement se situer elle-aussi entre 0,2 et 0,5 (Pour autant que les 25 références de Kalonero représentent bien l'ensemble des compositions des argiles employées dans l'atelier). On voit que cela ne concerne aucun des exemplaires testés, leurs distances et donc leurs

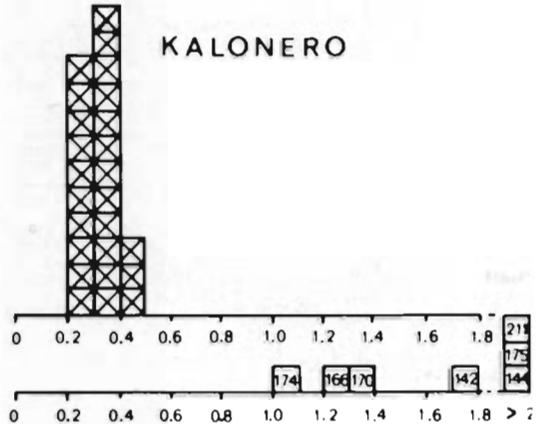
Histogramme des concentrations en alumine, strontium et nickel des 25 exemplaires d'amphores de Kalonero (pourcentages pour l'alumine, parties par million ou ppm pour le strontium et le nickel).



caractéristiques de composition étant même très différentes de celles des exemplaires de Kalonero.

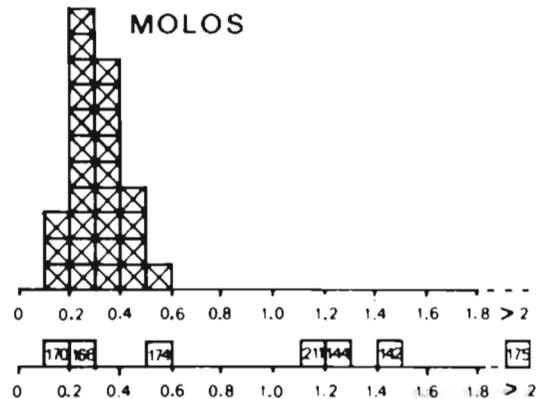
DÉTERMINATIONS D'ORIGINE

On peut évidemment calculer les distances des mêmes 7 exemplaires que précédemment, par rapport à d'autres ateliers connus de Thasos.



Histogramme des distances de Mahalanobis - calculées par rapport au groupe des 25 références de Kalonero - des 7 exemplaires à tester (ligne inférieure), et des 25 références de Kalonero elles-mêmes (ligne supérieure). Constituants chimiques pris en compte : K, Mg, Ca, Mn, Al, Fe, Si et Ti ; distances moyennes par constituant.

Histogramme des distances de Mahalanobis - calculées par rapport au groupe des 28 références de l'atelier du Molos - des 7 exemplaires à tester (ligne inférieure), et des 28 références du Molos elles-mêmes (ligne supérieure). Constituants chimiques pris en compte : K, Mg, Ca, Mn, Al, Fe, Si et Ti ; distances moyennes par constituant.



Timbres dont la matrice a été regravée

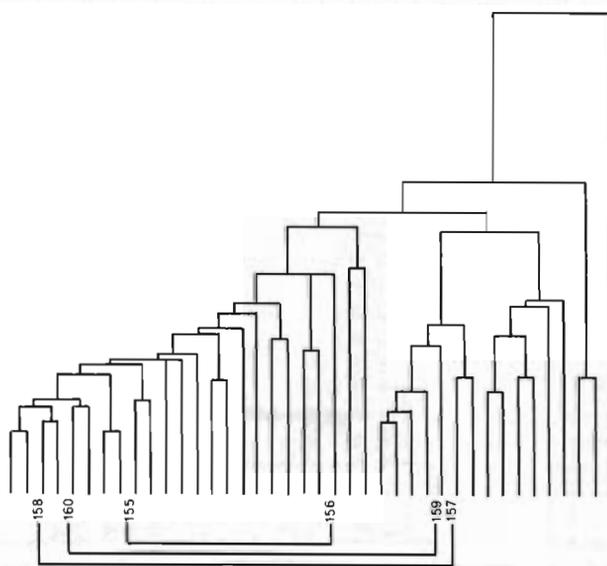
A côté des déterminations d'origine qui constituent le principal objectif de l'analyse des céramiques, de nombreuses applications particulières peuvent se présenter, dont on donnera un premier exemple. Il s'agit d'une vérification en laboratoire des règles du timbrage récent à Thasos. On a observé sur un certain nombre d'amphores que la matrice ayant servi au timbrage avait été modifiée par regravure. Le nom de l'éponyme a été effacé, puis remplacé par un nouvel éponyme, l'emblème de l'atelier demeurant inchangé. L'opération, plus ou moins réussie, permet d'identifier les deux états successifs de la matrice et de rapprocher les anses timbrées correspondantes. Or les règles du timbrage mises en évidence à Thasos imposant que l'emblème de l'atelier change tous les ans avec l'éponyme, ces anses doivent nécessairement provenir d'ateliers différents. Ce qui suppose donc, dans le cas présent, la récupération des matrices en fin d'exercice, leur regravure et

leur redistribution sur d'autres ateliers.

Ces six exemplaires ont été classifiés par analyse de grappes avec un échantillonnage d'une trentaine d'exemplaires où figurent toutes les compositions actuellement discernables à Thasos. Sur le dendrogramme correspondant on voit nettement que les deux exemplaires de chaque couple se placent très loin l'un de l'autre, ce qui correspond, dans le cas des références thasiennes choisies, à des différences de composition importantes, et donc à des origines différentes (une vérification supplémentaire consiste à calculer la distance euclidienne des 2 exemplaires de chaque couple (en se servant de l'écart-type moyen observé dans les ateliers thasiens, faute de connaître les ateliers d'où sont originaires ces exemplaires). On constate que cette différence est très supérieure à celle que l'on observe à Thasos entre les exemplaires qui ont une même origine).

Les vérifications effectuées en laboratoire ont porté sur les 3 couples suivants :

	1 ^{er} éponyme	emblème	2 ^e éponyme	emblème
155 / 156 :	Aristophanes	- gouvernail	/ Poulys	- gouvernail
157 / 158 :	Aristophanes	- Hermès	/ Poulys	- Hermès
159 / 160 :	Aristophanes	- tête de boeuf	/ Poulys	- tête de boeuf



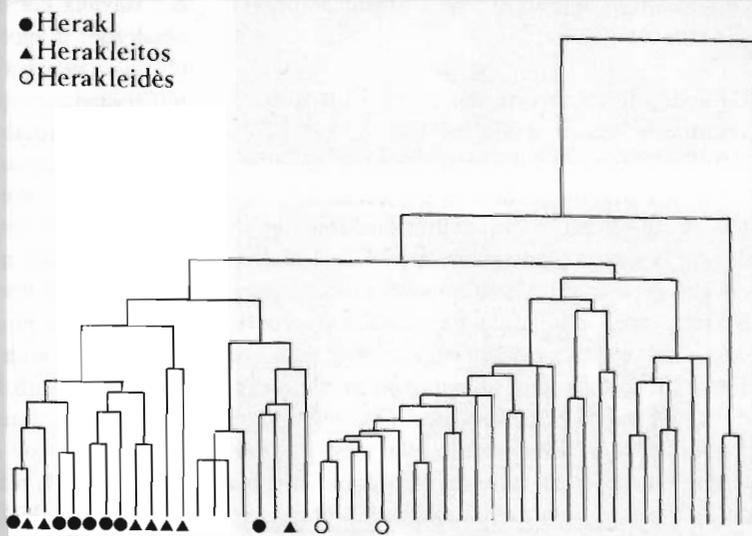
Analyse de grappes d'un groupe où figurent les différentes compositions actuellement discernables à Thasos, et 3 couples d'amphores comportant chacun un exemplaire timbré avec une matrice originelle, et un autre exemplaire timbré avec la même matrice, mais après regravure. Constituants pris en compte : K, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Ni, Al, Cr, Fe, Ce, Si, Ti, Zr, V.

Développement de noms abrégés

Une autre application particulière des analyses concerne les amphores dont les timbres portent des noms abrégés pour lesquels existent plusieurs possibilités de développement. Ainsi en est-il de Hèrakl-, développable en Hèrakteitos et en Hèrakteidès, deux fabricants connus. Si le nom abrégé correspond à un seul de ces deux fabricants, il devrait être possible de savoir lequel, à condition toutefois que Hèrakteitos et Hèrakteidès n'aient pas œuvré dans le même atelier. Mais il est possible également que le nom abrégé ait été employé par les deux fabricants, voire même par un troisième.

La vérification a porté sur 7 timbres portant le nom abrégé Hèrakl-, 7 portant Hèrakteitos et 2 Hèrakteidès. On a classifié par analyse de grappes ces 16 exemplaires et le petit échantillonnage d'une trentaine d'exemplaires, utilisé précédemment, où figurent toutes les com-

positions actuellement discernables à Thasos. Sur le dendrogramme correspondant on observe qu'aucun exemplaire portant le nom abrégé Hèrakl- ne se rapproche de Hèrakteidès, alors que Hèrakl- et Hèrakteitos ont des compositions très semblables et pourraient donc provenir du même atelier. Un doute subsiste pour les deux échantillons qui se placent un peu à l'écart des précédents. Peut-être s'expliquent-ils par le fait que Hèrakteitos aurait changé d'atelier au cours de sa carrière, comme cela semble s'être assez souvent produit à Thasos (mais le calcul des distances euclidiennes entre le groupe des 14 exemplaires Hèrakl-, Hèrakteitos situé à l'extrémité gauche du dendrogramme, et les deux exemplaires situés à l'écart des précédents, montre que l'hypothèse la plus probable reste celle de deux exemplaires marginaux appartenant au même atelier que les 14 autres).



C'est ce qui a été fait par exemple pour l'atelier du Molos (figure page 205). Les distances correspondantes - calculées par rapport au groupe des 28 références analysées pour l'atelier du Molos - ont été reportées sur la figure ci-contre, à droite, à la partie inférieure, tandis qu'à la partie supérieure se trouvent rassemblées les distances des 28 références du Molos, toujours calculées par rapport au groupe de référence du Molos.

On voit cette fois-ci que 3 des 7 exemplaires testés présentent des distances qui sont compatibles avec une origine qui serait l'atelier du Molos. Cette constatation entraîne deux remarques.

La première concerne le cas où les exemplaires 166, 170 et 174 ne se seraient différenciés des autres productions de l'atelier de Kalonero que par la composition (et donc par aucune autre caractéristique particulière). Dans ces conditions on ne pourrait exclure l'hypothèse selon laquelle ces trois exemplaires correspondraient à des essais pour lesquels on aurait utilisé d'autres argiles. Mais si l'on peut montrer que la composition de ces exemplaires correspond à des compositions qui sont connues dans un autre atelier, leur origine étrangère devient quasi certaine. Il n'existe en effet qu'une probabilité infime - au cas où l'on aurait affaire à des essais - pour que les potiers soient tombés par le plus grand des hasards sur une argile présentant les mêmes compositions que celles de l'argile employée dans un autre atelier.

La seconde remarque concerne l'attribution éventuelle des exemplaires 166, 170 et 174 à l'atelier du Molos. La concordance observée entre les distances de ces 3 exemplaires au groupe de référence de l'atelier du Molos et les distances des propres références de cet atelier, est une condition nécessaire pour une telle attribution, mais elle n'est pas suffisante (cette concordance doit évidemment subsister quel que soit le nombre des constituants pris en compte, et il est non moins évident que celui-ci devrait être le plus élevé possible. Mais cela n'est pas toujours réalisable par suite du trop grand nombre de références que le calcul exigerait alors. Aussi procède-t-on souvent à différentes vérifications

partielles, comme celle qui ne concerne que les 8 constituants principaux sur la figure page 205 en bas à droite). Il faut notamment vérifier, avant toute attribution d'origine, que les caractéristiques des argiles employées dans l'atelier du Molos ne se retrouvent pas dans une très vaste région, comme cela se produit parfois. Cette vérification, indispensable dans un cas général, reste souhaitable, même s'il s'agit, comme c'est le cas pour deux de ces exemplaires, de timbres qui sont effectivement connus dans l'atelier du Molos.

ANALYSE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

La détermination de la composition chimique des céramiques n'est pas l'unique méthode qui ait été employée dans le but d'identifier, sur les sites de consommation, les différentes productions d'un atelier. C'est ainsi que l'étude en lame mince des céramiques au microscope polarisant (méthodes pétrographiques), et celle des minéraux lourds après broyage des céramiques (méthodes minéralogiques) ont été largement employées à des fins archéologiques. Mais alors que les méthodes géochimiques d'étude des céramiques (celles qui utilisent les compositions chimiques) ont été élaborées spécialement pour la recherche archéologique, et ont donné lieu à des travaux considérables afin d'en préciser les conditions d'application, rien de comparable n'a été fait pour les méthodes pétrographiques et minéralogiques qui ont simplement été empruntées telles quelles à la géologie (où elles ont cependant des utilisations fort différentes). Il en résulte que l'étude pétrographique et minéralogique des céramiques reste largement tributaire de l'inspiration personnelle, et qu'il faudra sans doute encore longtemps avant qu'un accord se fasse sur les possibilités et les limites de ces méthodes en archéologie.

Dans le cas de Thasos, de réelles difficultés restreignent considérablement les possibilités d'utilisation de ces méthodes. Elles tiennent d'une part à la relative monotonie des formations géologiques de l'île, alternance de calcaires et dolomies recristallisés, de gneiss et de schistes

cristallins, et au grand nombre des ateliers. Il en résulte qu'on retrouve les mêmes composants minéralogiques et pétrographiques dans les céramiques de nombreux ateliers et que les distinctions reposent principalement sur le nombre et la taille des inclusions. Il n'y a donc rien d'étonnant dans ces conditions que ces méthodes n'aient donné jusqu'ici, à Thasos, que des résultats insignifiants.

On a cependant déjà signalé que les méthodes pétrographiques et minéralogiques peuvent apporter quelquefois des renseignements que les méthodes géochimiques sont dans l'incapacité de fournir. C'est que les données pétrographiques et minéralogiques sont directement interprétables en termes d'environnement géologique, mais il ne faut pas oublier que cet environnement peut être celui qui existait au cours des temps géologiques et qu'il peut avoir entièrement disparu depuis.

COMPOSITION DES CUIVRES ET DES BRONZES PROTOHISTORIQUES

Comment suivre l'évolution de la composition des cuivres et des bronzes protohistoriques par l'analyse spectrographique ? La connaissance de la composition des instruments en bronze protohistoriques fut pendant longtemps un souci des archéologues. Remplaçant les méthodes chimiques, le développement des méthodes spectrographiques permit de doser de multiples éléments, majeurs ou traces, à partir d'échantillons prélevés sur l'objet en très petite quantité. Récemment, l'utilisation d'un plasma inductif (argon ionisé) couplé à un spectromètre d'émission (ICP) a permis de réaliser d'importants progrès dans ce type d'analyse : pas ou peu d'effets inter-éléments, grande sensibilité, linéarité et

