

La préparation de l'alun à partir de l'alunite aux époques antique et médiévale

*Maurice PICON**

RÉSUMÉ

On présente d'abord les propriétés et les emplois de l'alun artificiel qui est fabriqué à partir de l'alunite, ainsi que sa préparation par un procédé complexe relevant des arts du feu. Phocée en est le principal centre producteur à l'époque médiévale. On observe aussi que l'alun naturel semble être le seul que mentionnent les textes de l'Antiquité. On n'y trouve d'ailleurs aucune mention de Phocée. Mais on peut montrer, en étudiant la diffusion et la répartition des sigillées phocéennes, Late Roman C, des V^e et VI^e siècles, que la production d'alun à Phocée semble bien antérieure à l'époque médiévale.

ABSTRACT

First are presented properties and use of the artificial alum, manufactured from alunite, as well as its preparation through a complex procedure related to pyrotechnology. Phocaea is its principal production center in the medieval period. Only natural alum seems to be mentioned in ancient literature, which, by the way, does not point out any reference to Phocaea itself. But the study of diffusion and distribution of Phocaeen sigillatas, Late Roman C ware, of the Vth and VIth centuries, indicates that alum production at Phocaea nearly started in a period prior to the medieval age.



L'alun fut une substance très recherchée aux époques antique, médiévale et moderne, pour ses propriétés spécifiques et les nombreuses applications qui en découlèrent, que l'on rappellera plus loin. C'est une substance qui existe à l'état

* CNRS, Laboratoire de céramologie, UPR 7524, Maison de l'Orient méditerranéen, 7, rue Raulin, 69365 Lyon cedex 7.

naturel, et qui a souvent été confondue – à juste titre d'ailleurs – avec d'autres produits existant eux aussi dans la nature, doués de propriétés semblables. Les uns et les autres ont donné lieu à de nombreuses exploitations, à l'air libre ou en galeries. Ces différents produits ont été utilisés tels quels, sans préparation spéciale, ou après avoir subi quelque opération de purification sur laquelle nous savons peu de chose.

D'autre part on constate, au moins dès l'époque médiévale, qu'une production artificielle particulièrement importante d'alun a été mise en œuvre, qui utilise l'alunite comme matériau de base. Sa transformation en alun est relativement complexe ; elle requiert notamment l'utilisation de températures élevées, ce qui en fait un domaine – un peu à part toutefois – des arts du feu. Cette préparation de l'alun à partir de l'alunite a eu pour effet de permettre l'obtention d'un produit très pur, aux propriétés bien définies ; elle marque en quelque sorte la naissance de l'industrie chimique moderne (Singer, 1948). L'une des questions que l'on évoquera consiste d'ailleurs à savoir jusqu'à quelle époque il est possible de la faire remonter.

Dans la première partie de ce travail, il sera question de l'alun de la période médiévale et moderne, et particulièrement de celui qui est préparé à partir de l'alunite. On en rappellera les propriétés et les usages, avant d'en décrire la fabrication, et de présenter un court panorama de la situation de l'alun médiéval en Méditerranée. La seconde partie abordera la question de l'alun dans l'Antiquité, sa diversité, ses gisements. Elle se terminera par l'évocation des recherches en cours.

L'alun aux époques médiévale et moderne

La nature de l'alun et ses utilisations

L'alun fabriqué à partir de l'alunite est un sulfate double d'aluminium et de potassium qui répond à la formule $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$. Il s'agit d'un corps cristallisé, incolore (sauf impuretés), qui se dissout en faible quantité dans l'eau froide (ce qui laisse quand même peu d'espoir d'en rencontrer dans les fouilles), mais qui possède une solubilité incomparablement plus élevée au voisinage de l'ébullition (ce qui permet, lors de sa fabrication, de le faire cristalliser dans des moules, par simple refroidissement de la solution saturée).

Chauffé au voisinage des 100 °C, il fond dans son eau de cristallisation, perdant 6 de ses 12 H_2O à moins de 140 °C, et les 6 autres entre 300 et 700 °C. C'est ce dégagement important de vapeur d'eau qui explique son remarquable pouvoir ignifuge, les bois imprégnés d'alun devenant pratiquement impossibles à enflammer.

On notera que l'alun dissous dans son eau de cristallisation, un peu au-dessus de 100 °C, a été utilisé pour effectuer des scellements et des collages, la solution chaude durcissant rapidement par cristallisation, lors du refroidissement. Cet emploi suppose évidemment que l'humidité ambiante ne soit pas trop importante.

L'alun présente une double affinité, pour les fibres textiles d'une part, et pour un grand nombre de colorants organiques d'autre part, ce qui assure une excellente fixation de ces colorants lors des opérations de teinture, et une très bonne stabilité des couleurs à l'usage. L'alun est donc un mordant de qualité. Cette affinité de l'alun pour les fibres organiques l'a parfois fait utiliser par les foulons, afin d'obtenir une meilleure tenue des tissus. C'est encore elle qui intervient dans le tannage des peaux (à côté d'autres procédés, ceux à base de tannins végétaux notamment). Le tannage et le mordantage comptent parmi les utilisations les plus fréquentes de l'alun ; leur impact économique a été particulièrement important à l'époque médiévale (*cf. infra*).

Les propriétés astringentes bien connues de l'alun peuvent être rapprochées des usages précédents. Elles expliquent son emploi comme hémostatique, et pour le traitement des plaies et des blessures. Sans doute sont-elles aussi à l'origine des innombrables prescriptions médicales, plus ou moins assurées, où entrait l'alun.

Bien d'autres usages de l'alun pourraient être signalés encore ; ils concernent notamment l'amélioration de la conservation de certains produits alimentaires comme les poissons salés, la fabrication de « laques » colorées utilisées en peinture et en enluminure, sans oublier les nombreuses recettes où il intervient comme fondant et purificateur des métaux, ou dans des opérations d'alchimie... (et, pour mémoire, des emplois plus récents dans les industries papetière, sucrière, verrière...).

On verra plus loin quelles furent, parmi toutes ces utilisations, celles qui remontent à l'Antiquité (*cf. infra*).

La fabrication de l'alun à partir de l'alunite

L'alunite, ou pierre à alun, de formule $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$, est un minéral blanc, ou coloré par des oxydes métalliques, qui résulte de l'action de fumerolles, ou de solutions acides liées par exemple au dépôt ou à l'altération des pyrites, sur des roches alumineuses, souvent d'origine volcanique. C'est le cas notamment pour les célèbres gisements de La Tolfa au nord de Rome, près de Civitavecchia, et pour ceux de Phocée au nord d'Izmir (Smyrne) (fig. 1).

L'alunite est insoluble dans l'eau, ce qui assure sa pérennité dans ses gisements, alors que l'alun se disperse facilement sous l'effet des eaux météoriques, et disparaît à plus ou moins long terme, à moins qu'il ne soit constamment renouvelé, comme cela se produit si l'on a affaire à un volcanisme toujours actif (dans les îles Éoliennes, par exemple). À moins également qu'on ne se trouve en climat désertique comme c'est le cas pour les gisements d'Égypte, etc.

Chauffé, l'alunite subit peu de modification de poids en dessous de 500 °C, ainsi qu'on peut le constater sur la courbe de la figure 2 qui donne la variation relative de la masse d'un échantillon d'alunite de La Tolfa, en fonction de la température à laquelle il a été porté. Au-delà, et jusque vers 700 °C, il se produit un départ d'eau

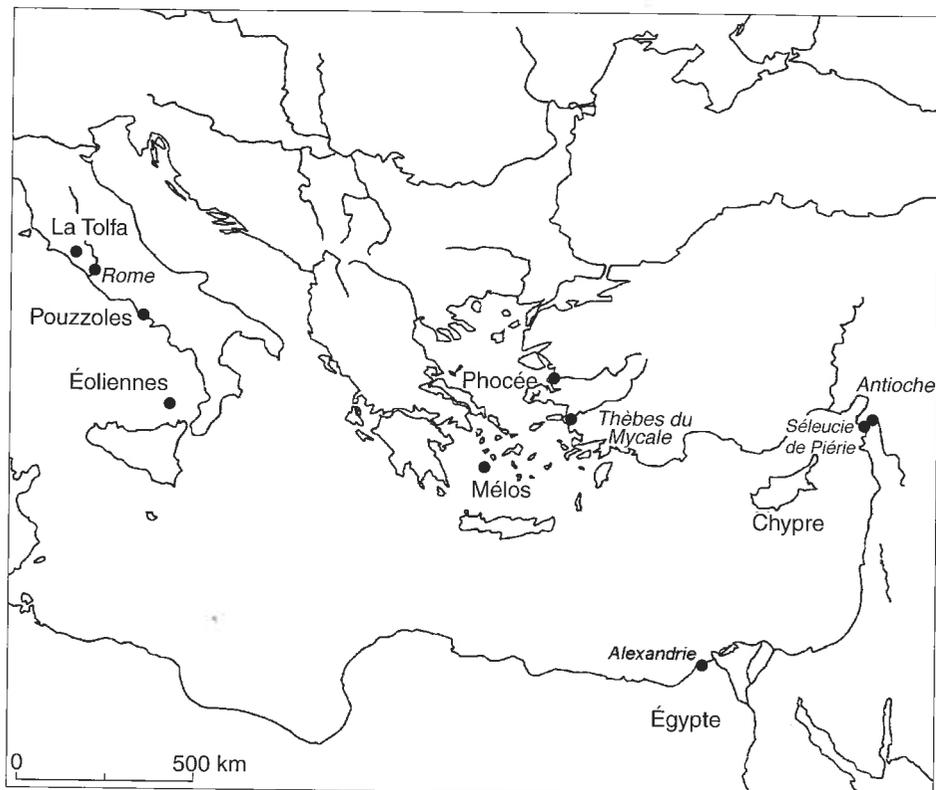


Fig. 1. Situation de quelques sites de production de l'alun dans l'Antiquité et à l'époque médiévale, et de quelques localités citées dans le texte (en italique).

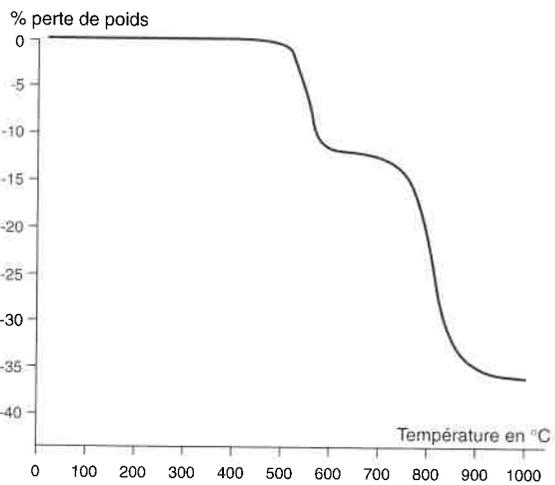


Fig. 2. Courbes de perte de poids d'un échantillon d'alunite de La Tolfa au cours de sa calcination (5 °C/min).

qui s'accompagne de la formation du sulfate anhydre $KAl(SO_4)_2$ et d'alumine Al_2O_3 . À plus haute température encore, les sulfates sont décomposés avec perte de SO_3 .

Pour la fabrication de l'alun, c'est le sulfate $KAl(SO_4)_2$ qu'il est intéressant d'obtenir, car, par une longue macération en milieu humide, il est possible de le réhydrater et de le transformer en alun. Il faut donc maîtriser la calcination de l'alunite en faisant en sorte de ne guère dépasser la température de 700 °C. En dessous, la décomposition de l'alunite est incomplète et le rendement peu élevé, au-dessus il y a une perte de soufre, et la rentabilité de l'opération diminue également.

On dispose pour La Tolfa d'assez nombreuses sources écrites qui nous permettent de connaître le détail des opérations de fabrication de l'alun (Di Carlo *et al.*, 1984). Celle-ci comprenait quatre (ou cinq) opérations distinctes : calcination, macération, lixiviation, concentration et cristallisation, exposées déjà dans le chapitre 6 de *La Pirotechnia* (Biringuccio, 1540-1572, feuillets 49 à 52). Une représentation du traitement de l'alunite parmi les plus intéressantes – mais peut-être pas très exacte dans tous ses détails – est celle qui est donnée dans le livre XII du *De Re Metallica* et qui est reproduite, figure 3 (Agricola, 1556, 1992, p. 462).

Le four où l'on procède à la calcination ressemble à un four à chaux (A, fig. 3). Les pierres à alun (C) y sont chauffées au rouge pendant 10 à 12 heures. Une fois refroidies, elles sont mises en tas sur une aire découverte (B) où elles sont arrosées (D), afin de les maintenir humides, pendant une quarantaine de jours ; c'est la macération. Si l'opération de calcination a été bien conduite, elles s'y désagrègent progressivement. Le produit boueux ainsi obtenu est transporté dans une chaudière (E) contenant de l'eau, et porté à ébullition. C'est la lixiviation qui consiste à extraire l'alun, soluble, des résidus insolubles qui sont retirés peu à peu de la chaudière. En même temps – ou dans une opération distincte –, la solution d'alun est concentrée, puis versée dans une canalisation (F) qui la conduit dans des cuveaux en bois (G) où elle cristallise et se solidifie en se refroidissant.

La production médiévale et moderne

L'alun extrait de l'alunite n'est pas la seule substance à avoir été utilisée à l'époque médiévale, pour le mordantage, comme dans la plupart de ses autres applications. De nombreux sulfates naturels d'aluminium et de magnésium, comportant souvent une proportion élevée de fer, ont en effet des propriétés qui sont proches de celles de l'alun. Ils ont été extraits de gisements exploités fréquemment depuis l'Antiquité, et diversement conditionnés afin d'être commercialisés. Un bon nombre d'entre eux étaient considérés, semble-t-il, comme des aluns de moins bonne qualité. Cette production – dont Agricola décrit quelques-uns des modes opératoires (Agricola, 1556-1992, p. 459-463) – est en réalité fort mal connue, comme l'est d'ailleurs l'alun antique dont elle semble perpétuer certaines des traditions. Elle paraît, en tout cas, avoir été fortement marginalisée par le développement de l'alun fabriqué à partir de l'alunite.



Fig. 3. La fabrication de l'alun à partir de l'alunite, selon le *De Re Metallica* d'Agricola.

L'expansion de l'industrie textile européenne à l'époque médiévale ayant multiplié les besoins en alun, les commerçants génois avaient au cours de la seconde moitié du XIII^e siècle commencé à exploiter à grande échelle les riches gisements d'alunite de Phocée. La production d'alun, poursuivie, malgré quelques vicissitudes passagères, durant le XIV^e siècle et la première moitié du XV^e, pouvait y être estimée alors à 800 tonnes par an (Heers, 1971, p. 280). Les Génois exerçaient de fait un véritable monopole sur la production de l'alun en Méditerranée orientale, avec plusieurs mines de moindre importance : Maronia près de la Maritsa (30 tonnes par an), Mytilène, et plusieurs autres affermées aux Turcs. Mais ce monopole n'allait pas survivre à la prise de Constantinople en 1453 et à celle de Phocée en 1455.

Les conditions se trouvaient donc réunies pour qu'apparaissent en Europe occidentale les signes avant-coureurs d'une sévère disette d'alun, laquelle ne se manifesta d'ailleurs qu'au bout de quelques années vers 1460, compte tenu de l'importance des stocks accumulés à Chios. Cette période fut mise à profit pour réactiver en Occident certaines exploitations anciennes ou pour chercher de nouveaux gisements. Mais l'alun produit était de mauvaise qualité ou en quantité insuffisante. C'est sur ces entrefaites qu'eut lieu la découverte par Giovanni da Castro des très riches gisements de La Tolfa, sur les territoires du Pape, découverte jugée « providentielle ». On connaît les enjeux économiques et les intrigues qui entourèrent leur mise en exploitation. Celle-ci débuta semble-t-il en 1462, et la production atteignit rapidement 1800 tonnes par an (Delumeau, 1962, 1996).

Il est évident qu'on ne saurait pour La Tolfa, pas plus que pour Phocée, parler d'artisanat, s'agissant de structures manufacturières caractérisées. C'est ainsi que près de 800 personnes travaillaient à La Tolfa en 1557, année au cours de laquelle la production n'eut rien d'exceptionnel (Di Carlo *et al.*, 1984, p. 75). Mais on aurait sans doute tort d'imaginer que l'exploitation de l'alun, et son conditionnement, ne comportèrent pas d'installations artisanales modestes. Seulement elles ont laissé moins de traces, et n'ont guère intéressé la recherche.

C'est surtout parmi les installations exploitant les nombreux produits naturels qui furent utilisés comme alun qu'il faudrait rechercher de telles structures de production. D'autant que certaines d'entre elles fonctionnaient encore au début du XIX^e siècle, et qu'elles ont dû laisser des traces dans les archives. La difficulté principale étant plutôt de pouvoir répondre à quelques interrogations élémentaires : de quel produit s'agit-il, à quel type de gisement a-t-on affaire, quels furent les procédés d'extraction utilisés... C'est dire qu'il faudra, dans chaque cas, effectuer des recherches sur le terrain et en laboratoire, si l'on veut pouvoir établir une typologie élémentaire des sites de production, et des installations requises (*cf. infra*). Sans cela, il sera sans doute difficile de comprendre les caractéristiques d'une partie de la production médiévale, et celles de la quasi-totalité des productions antiques.

L'alun dans l'Antiquité

La nature de l'alun et ses utilisations

Il n'entre pas dans notre propos de parler longuement de l'alun antique sur lequel plusieurs programmes de recherches sont en cours (*cf. infra*). On les évoquera brièvement, mais on voudrait surtout examiner – comme le titre de cette communication le suggère – les questions que soulève l'utilisation éventuelle, dans l'Antiquité, de l'alunite pour la fabrication de l'alun. Car l'impression que l'on retire en parcourant les textes antiques qui parlent de l'alun, c'est qu'on a essentiellement affaire à des produits naturels, et pas à une fabrication en grande partie artificielle, un art du feu, comme ce serait le cas avec l'alunite.

Il n'est que de lire les paragraphes que Pline consacre à l'alun (*Histoire naturelle*, XXXV, 183 à 190) où ce produit est présenté à deux reprises comme une exsudation naturelle du sol, pour comprendre qu'on désignait sous ce terme tous les sulfates naturels d'aluminium, de magnésium et de fer dont on a déjà parlé (*cf. supra*), et sans doute très peu de véritable alun analogue à celui que l'alunite permet de fabriquer. D'ailleurs les appellations d'alun blanc et d'alun noir, utilisées à Chypre, vont dans le même sens, cette dernière expression désignant probablement quelque sulfate de fer que des recherches sur le terrain devraient permettre d'identifier...

Passant en revue les différents emplois de ces produits, on y retrouve, et au premier rang, le mordantage et le tannage. Et comme toujours de multiples recettes médicales, voire magiques ou religieuses. On notera également des mentions fréquentes concernant l'élaboration ou la purification des métaux (Berthelot, 1887-1963). En revanche, il existe très peu d'indications sur des emplois pour l'ignifugation des matériaux combustibles, qui auraient pu justifier une consommation importante d'alun. Toutefois, Aulu-Gelle et Ammien Marcellin en font clairement état (Ciusa, Lorusso, 1978). Au total peu de différence, semble-t-il, dans les utilisations, entre l'Antiquité et le Moyen Âge, n'était des applications médiévales plus étendues en teinturerie grâce à la plus grande pureté de l'alun fabriqué à partir de l'alunite. Mais en dehors de cet alun artificiel, on trouve une gamme de produits naturels, assez semblables sans doute aux deux époques, qui seront un peu marginalisés au cours du Moyen Âge par l'alun d'alunite, nullement exclus cependant étant donné l'augmentation des besoins.

Les régions productrices d'alun dans l'Antiquité

La liste en a été faite maintes fois (Nenci, 1982). On y trouve notamment l'Égypte et l'île de Mélos, dont les produits jouissaient d'une grande réputation, Chypre, les îles Éoliennes, Pouzzoles, la Sardaigne, etc. Quelques-unes de ces régions sont indiquées – avec les sites des exploitations médiévales de Phocée et de La Tolfa – sur la

carte de la figure 1 (les sites égyptiens des oasis de Dakhla et de Kharga, dans le désert occidental, sont situés en dehors de la carte, à près d'un millier de kilomètres au sud d'Alexandrie).

Nous n'avons nullement l'intention, ni la possibilité d'ailleurs, d'évoquer ces différentes régions productrices. En revanche, il est une absence – celle de l'alun de Phocée, qui n'est mentionné dans aucun texte antique – dont on a quelques raisons d'être surpris. Comment se peut-il en effet que la principale source d'alun de l'époque médiévale ait été ignorée des Anciens ? D'autant que les textes qui se rapportent à Phocée sont nombreux. Ne serait-on pas tenté alors d'interpréter ce silence en supposant que la fabrication de l'alun à partir de l'alunite – opération relativement complexe comme on l'a vu – n'a été mise au point qu'à une époque très tardive, et qu'elle n'était pas connue aux époques hellénistique et romaine, et *a fortiori* aux époques antérieures ?

Mais on ne peut exclure qu'il s'agisse simplement d'un oubli, et que le recours aux mêmes sources écrites ait fini par perpétuer cette omission. Il est toutefois bien difficile de se satisfaire de ce doute méthodologique, alors que ce sont les débuts de la chimie des Anciens que l'on voudrait pouvoir repérer. Il y a certes de très rares textes où l'on a cru découvrir quelque indication en faveur d'une exploitation ancienne de l'alun de Phocée. C'est le cas par exemple de l'histoire, rapportée par Hérodote (*Histoires*, II, 180), des 1000 talents d'alun (17 tonnes) offerts par le Pharaon Amasis pour la reconstruction du temple de Delphes détruit par un incendie en 548. Le rapprochement avec Phocée met en avant une explication hasardeuse reposant sur le désir que l'on prête aux habitants de Delphes de disposer d'une grande quantité d'alun afin d'ignifuger leurs nouvelles constructions, et à l'impossibilité pour eux de se fournir à Phocée occupée par les Perses en 546... Plus intéressante est l'inscription découverte à Thèbes du Mycale (fig. 1) qui contient un contrat de cession de la prêtrise de plusieurs divinités, où il est accordé au prêtre la taxe sur la vente de l'alun (Sokolowski, 1955). L'inscription est du III^e siècle avant notre ère, mais elle ne nous renseigne guère. Phocée n'est pas nommée, mais cette localisation reste la plus probable. En outre, on ne sait évidemment rien sur la nature du produit commercialisé, pas plus que sur le volume de ces exportations. Or, dans le contexte géologique phocéen, on peut penser – sous réserve de vérifications plus approfondies effectuées sur le terrain – que des exportations importantes supposent qu'on ait affaire à de l'alun fabriqué à partir de l'alunite. C'est une des raisons qui nous ont amené à tenter de suivre les pérégrinations d'un produit, l'alun, qui pouvait n'avoir laissé aucune trace.

Les exportations antiques de l'alun de Phocée

Bien que Phocée soit au cœur des préoccupations manifestées ici, qui concernent les débuts de la chimie dans l'Antiquité, notre intérêt pour ce site a d'autres origines. L'une fut la découverte que nous y avons faite de l'atelier ayant produit les

sigillées tardives Late Roman C (= LRC), qui connurent aux V^e et VI^e siècles de notre ère une large diffusion, en Méditerranée, mais également sur la côte atlantique, en Espagne, au Portugal et jusqu'en Angleterre (Mayet, Picon, 1986). Une autre fut une observation qui nous avait fortement surpris lorsque nous avons effectué une première reconnaissance à Séleucie de Piérie, le port d'Antioche (fig. 1), à la recherche des ateliers d'amphores, et particulièrement de ceux des Late Amphoras 1 (Empereur, Picon, 1989). Il s'agissait de la présence sur ce site d'une impressionnante quantité de sigillées LRC. Ce qui nous avait fait nous interroger sur l'éventualité d'une production locale, hypothèse que les analyses devaient démentir, confirmant l'origine indubitablement phocéenne de ces exemplaires.

On ne pouvait manquer alors de faire le rapprochement entre cette présence exceptionnellement forte et la réputation d'Antioche comme centre de production textile, dont témoigne par exemple le creusement, à la fin du I^{er} siècle de notre ère, d'un canal destiné à l'activité des foulons. Ce canal qui avait 2,6 km de long pouvait permettre l'installation de plusieurs centaines d'ateliers (Feissel, 1985). Ainsi était-on enclin à penser que les LRC avaient pu être un matériel d'accompagnement ou un complément de cargaison pour les navires transportant l'alun de Phocée. Ce qui permettrait alors d'en suivre les exportations.

Une autre observation semble accréditer cette supposition. C'est la rareté, plusieurs fois signalée, des LRC à Chypre et en Égypte (Hayes, 1997). Différentes explications en ont été données, mais la plus simple n'est-elle pas que Chypre et l'Égypte sont justement, l'une et l'autre, des régions productrices d'alun, et donc largement autosuffisantes de ce point de vue ?

Enfin nous devons à l'amitié de Ph. Borgard d'avoir eu connaissance d'une thèse publiée il y a quelques années en Italie (Volpe, 1996). L'auteur, après avoir étudié les importations de sigillées tardives, principalement africaines, sur le littoral des Pouilles et de la Calabre, s'étonne de l'irrégularité que présente la répartition des LRC, « en taches de léopard », dit-il, et propose de mettre la singularité d'une telle distribution au compte du commerce de l'alun, dont on comprend qu'il ait été très sélectif.

Quel que soit le crédit que chacun accordera à ces arguments, il semble difficile de nier qu'il y ait là une orientation de recherche à développer, mais parmi beaucoup d'autres. C'est ce que nous allons examiner à présent, et le plus brièvement possible.

Les recherches en cours sur l'alun antique

Sur la fabrication de l'alun à partir de l'alunite, qui est un art du feu insuffisamment reconnu et l'une des opérations chimiques les plus anciennement mises en œuvre (à l'exception des opérations métallurgiques), les recherches actuelles concernent d'abord le cas de Phocée (et celui de La Tolfa, pour comparaison). Mais il n'est pas exclu que des sites de production, exploités dès l'Antiquité, viennent s'y joindre un jour, lorsque les enquêtes seront plus étendues.

Pour Phocée les axes de recherche sont clairs. Il s'agit de progresser dans la connaissance des exportations éventuelles d'alun en complétant les observations sur les LRC, et en les étendant à d'autres catégories de céramiques phocéennes. Il faut en même temps développer les recherches sur l'environnement géologique de Phocée, afin de vérifier que les exportations étudiées ne peuvent avoir été de l'alun naturel, mais nécessairement de l'alun d'alunite. Au cours des recherches sur le terrain imposées par cette seconde partie du programme, il n'est pas envisageable de se dispenser de rechercher aussi les indices archéologiques que les exploitations ultérieures auraient pu épargner.

Beaucoup plus complexes, en revanche, sont les recherches sur l'alun naturel. Bien que ne concernant pas directement les arts du feu, il est difficile de les dissocier des précédentes. On a déjà souligné l'aide que ces recherches trouveraient dans l'examen de procédés encore en usage à la fin du XVIII^e siècle ou au début du XIX^e. Ce sont des études qu'il faudra entreprendre dès que les investigations sur les sites producteurs de l'Antiquité seront plus avancées. Actuellement des travaux sont effectués, par Ph. Borgard du Centre Camille-Julian à Aix-en-Provence, dans les îles Éoliennes (Borgard, 1994), d'autres le sont par nous-même en Égypte, en collaboration avec P. Ballet et M. Vichy, et le seront sans doute très prochainement à Mélos. Dans ces régions, l'identification des matériaux, l'étude de leurs propriétés, de leurs conditions de gisement, de leurs modes d'extraction et de conditionnement, sont prioritaires. Sans oublier les procédés de purification indispensables, et l'obtention de sous-produits, comme les colorants bleus au cobalt qui semblent avoir été extraits des aluns d'Égypte (Kaczmarczyk, Hedges, 1983 ; Kaczmarczyk, 1986). Ainsi rejoint-on encore la chimie des Anciens, dont l'alun demeure certainement l'une des clefs.

Bibliographie

- AGRICOLA (G.), 1556.– *De Re Metallica*, Basel, Froben. Traduction française de A. France-Lanord, 2^e édition, 1992, Thionville, G. Klopp, 510 p.
- BERTHELOT (M.), 1887.– *Collection des anciens alchimistes grecs*, réimpression 1963, London, The Holland Press Ltd., vol. 1, 284 p. ; vol. 2, 458 p. ; vol. 3, 477 p.
- BIRINGUCCIO (V.), 1540.– *De la Pirotechnia*, Venise. Traduction J. Vincent : *La Pyrotechnie*, Paris, 1572.
- BORGARD (P.), 1994.– L'origine liparote des amphores « Richborough 527 » et la détermination de leur contenu. *SFEACAG, actes du congrès de Millau*, p. 197-203.
- CIUSA (W.), LORUSSO (S.), 1978.– L'allume come ignifugo nel periodo Greco-Romano. In : *Studi in memoria di Federico Melis*, I, Giannini editore, p. 115-125.
- DELUMEAU (F.), 1962.– *L'alun de Rome, XV^e-XIX^e siècle*, Paris, EHESS, 352 p.
- DELUMEAU (J.), 1996.– L'allume dei Monti della Tolfa, un grande « personaggio » della storia. In : *Notiziario VIII – Atti del Convegno « Il ruolo dell'allume nello sviluppo economico dell'Europa dal XV al XVIII secolo »*, Allumiere, Aprile 1990, p. 55-65.

- DI CARLO (M.), DI GIULO (N.), FRANCESCHINI (P.), MORETTI (C.), TORRETI (F.), 1984.– *La Società dell'Allume/Cultura materiale, economia e territorio in un piccolo borgo*, Roma, Officina edizioni, 111 p.
- EMPEREUR (J.-Y.), PICON (M.), 1989.– Les régions de production d'amphores impériales en Méditerranée orientale. In : *Amphores romaines et Histoire économique/Dix ans de recherche, Collection de l'École française de Rome*, 114, p. 223-248.
- FEISSEL (D.), 1985.– Deux listes de quartiers d'Antioche astreints au creusement d'un canal (73-74 après J.-C.). *Syria*, LXII, p. 77-103.
- HAYES (J.W.), 1997.– Réflexions sur les céramiques paléochrétiennes d'Orient et leurs liens avec l'Occident. In : *La Céramique médiévale en Méditerranée*, actes du 6^e congrès, Aix-en-Provence, p. 49-52.
- HEERS (J.), 1971.– *Gênes au XV^e siècle/Civilisation méditerranéenne, grand capitalisme et capitalisme populaire*, Paris, Flammarion-Science, 437 p.
- HÉRODOTE.– *Histoires*, II. Traduction P.-E. Legrand, Paris 1948, Les Belles Lettres.
- KACZMARCZYK (A.), HEDGES (R. E. M.), 1983.– *Ancient Egyptian Faience*, Warminster, Aris and Phillips, 587 p.
- KACZMARCZYK (A.), 1986.– The Source of Cobalt in Ancient Egyptian Pigments. In : *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*, Washington, Smithsonian Institution Press, p. 369-376.
- MAYET (F.), PICON (M.), 1986.– Une sigillée phocéenne tardive (« Late Roman C ware ») et sa diffusion en Occident. *Figlina*, 7, p. 129-142.
- NENCI (G.), 1982.– L'allume di Focea, in I Focei dall'Anatolia all'Oceano. *La Parola del Passato*, XXXII, p. 183-188.
- PLINE L'ANCIEN.– *Histoire naturelle*, XXXV. Traduction J.-M. Croisille, Paris 1985, Les Belles Lettres.
- SINGER (C.), 1948.– *The Earliest Chemical Industry, An Essay in the Historical Relations of Economics and Technology as illustrated from Alum Trade*, London, Folio Society.
- SOKOLOWSKI (F.), 1955.– Thèbes du Mycale. Règlement relatif à une prêtrise. III^e siècle av. J.-C. In : Sokolowski, *Lois sacrées de l'Asie Mineure*, EFA, Travaux et mémoires des membres étrangers, IX, Paris, de Boccard, p. 40-41.
- VOLPE (G.), 1996.– *Contadini, pastori e mercanti nell'Apulia tardoantica*, Bari, Edipuglia.