

Les ressources en cuivre des montagnes d'al-Hajjar en péninsule d'Oman et de leur exploitation ancienne

Cécile Le Carlier de Veslud, CNRS, Laboratoire Archéosciences Rennes 1, UMR 6566-CReAAH

Julie Goy, doctorante Paris I, UMR 7041-ArScAn

Anne Benoist, CNRS, MOM Lyon, UMR 5133-Archéorient

L'évaluation des ressources en cuivre de la péninsule d'Oman est une des études actuellement menées en collaboration entre l'UMR 7041-ArScAn, l'UMR 6566-CReAAH et la MOM pour comprendre la production ancienne du cuivre dans les montagnes d'al-Hajjar situées au Nord-Est de la péninsule arabique et s'étirant entre les Emirats Arabes Unis et l'Oman. Ce travail en cours est réalisé dans le cadre de la thèse de doctorat de Julie Goy. Le présent billet précise avant tout la nature des minéralisations de cuivre et leur mode de formation. Puis dans une seconde partie, nous abordons brièvement les modes de production de cuivre dans les sociétés anciennes. L'accent est également mis sur les méthodes et protocoles d'étude mis en place, du terrain au laboratoire, pour appréhender cette activité productrice, notamment à l'âge du Fer. Si seuls quelques résultats sont sommairement présentés, bien que cette étude soit presque finalisée, c'est que nous ne voulons pas dévoiler l'essentiel des avancées ; ces dernières seront présentées dans leur globalité dans la thèse de doctorat.

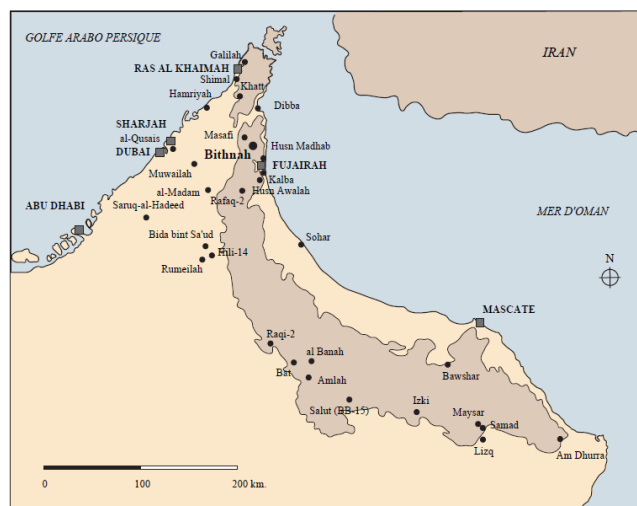


Figure 1 : Montagnes d'Al Hajjar en péninsule d'Oman, et localisation de sites archéologiques de l'âge du Fer

Cette chaîne de montagnes, liée à la fermeture d'un océan, marque l'emplacement d'une zone de compression où une portion d'une croûte océanique plonge sous la croûte terrestre continentale lui faisant face. Quelques fragments de la croûte océanique associés à la partie supérieure du manteau ont cependant chevauché la croûte terrestre continentale formant ce que l'on appelle une ophiolite. Ainsi, une succession de formations rocheuses est visible d'Ouest en Est, correspondant à la croûte terrestre ayant été chevauchée, puis à des péridotites et des harzburgites, relief du manteau sous croûte océanique, puis des dunités, wherlites et gabbros correspondant à la partie inférieure de la croûte océanique, et enfin la zone des dykes et des pillows lavas de la partie supérieure de cette croûte. Le cuivre, initialement présent dans le manteau terrestre, se concentre à la faveur de mouvements de fluides dans la partie supérieure de la croûte océanique au niveau des rifts océaniques lors de la création de nouvelles croûtes océaniques. Ainsi donc, la croûte océanique

ayant chevauché la croûte terrestre présente des enrichissements en cuivre, d'autant plus que le cuivre a été remobilisé au moment de la création de cette ophiolite par d'autres circulations de fluides, dans des fractures notamment, conduisant à la formation de filons minéralisés. Ces filons sont composés de sulfures en partie profonde. En s'approchant de la surface, les sulfures s'altèrent et d'autres minéraux cristallisent, en accord avec les conditions oxydantes de surface. Ce sont des sulfates de cuivre, mais aussi et surtout des oxydes et des carbonates de cuivre. Au niveau de la surface, la zone d'altération est telle qu'il se forme ce que l'on appelle un chapeau de fer, concentrant divers métaux mais plus particulièrement du fer, donnant au sol une couleur rouille à l'emplacement de ces filons de cuivre. La chaîne de montagnes al-Hajjar correspond donc à une région riche en cuivre, particulièrement dans sa partie centrale localisée sur l'Oman. Néanmoins, la partie nord de la chaîne, notamment dans l'émirat de Fujairah, recèle également des filons qui ont pu être exploités aux périodes anciennes.



Figure 2 : Exploitations minières de surface par grattage du flan de colline. Les déblais sont visibles sous forme de monticules bruns et gris.

La production de cuivre dans les périodes anciennes s'est faite via des procédés aujourd'hui assez bien connus. Ainsi, des fours de réduction sont construits en pierre et argile, permettant la transformation du minerai en cuivre métallique. Ils correspondent à des colonnes hautes d'environ 1.20 à 1.50 m. A la base, une ou plusieurs ouvertures sont réalisées pour insuffler l'air dans le four au moyen de soufflets, afin de faire monter la température d'augmenter la température de chauffe. Le four est d'abord chargé entièrement en charbon. Quand la température est stabilisée, le minerai est chargé par le haut du four. Le charbon de bois en brûlant au niveau des arrivées d'air à la base, se transforme en cendres et donc perd du volume. Ainsi, le minerai descend progressivement dans la colonne, allant doucement dans la zone la plus chaude, qui atteint au minimum 1100°C. L'opération de réduction dure plusieurs heures, le four étant chargé régulièrement en alternant couches de charbon et couches de minerai. Le minerai contenant encore des parties stériles, des déchets appelés « scories » issus de la fusion de ces dernières se forment. Le cuivre métallique se sépare de ces déchets par effet de densité, le métal étant plus lourd. Les scories, inutiles, sont abandonnées sur place, à proximité des fours. C'est grâce à la présence de ces scories sur le terrain que les ateliers de métallurgie peuvent être repérés au cours des prospections.



Figure 3 : Reconstitution de fours de réduction des minerais de cuivre

Un projet de recherche a été initié suite à la découverte d'un atelier de métallurgie dans la vallée de Bithnah (Emirat de Fujāirah) grâce aux scories. D'autres ont été trouvées également sous forme de dépôts dans des bâtiments, probablement à vocation culturelle. Mais le programme de recherche sur la production du cuivre a véritablement été engagé lors de la fouille du site de Masafi (Emirat de Fujāirah, Dir. Anne Benoist), qui a conduit à la découverte de deux jarres enterrées et remplies de lingots et de fonds de fours de cuivre, au nombre de 265 dans un bâtiment collectif. Ce projet de recherche s'intéresse à la métallurgie de cuivre à l'âge du Fer (1250-300 BC), à la technologie employée, et à l'organisation générale de cette production au sein des sociétés. En d'autres termes, il s'agit de repérer et d'identifier les sites de production (mines et ateliers de réduction) et les sites de fabrication des objets manufacturés, et de déterminer les techniques de réduction du minerai. Il s'agit également d'identifier la signature chimique du métal tout au long de la chaîne opératoire, depuis le minerai jusqu'aux objets finis, et de son changement en lien avec les traitements subis au cours des diverses opérations. Enfin, le programme s'intéresse aussi à l'usage de ce métal, à savoir s'il était destiné à un usage local ou si la production était suffisante pour permettre un commerce à grande distance.



Figure 4 : Fragments de scories épandues sur le sol

Ainsi, le travail a démarré par des prospections principalement localisées dans l'émirat de Fujāirah, mais également dans le nord du sultanat d'Oman. Ces prospections ont été préparées en étudiant au préalable les cartes géologiques, mais aussi les photos satellites et en reprenant les rapports des

équipes de paléométallurgistes et de géologues qui nous ont précédés. Ainsi, un certain nombre de secteurs miniers a été reconnu. Parfois, les travaux miniers sont évidents, avec une exploitation par tranchée ou par creusement de cavités à flanc de montagne et encore accessibles. Certains creusements correspondent également à des puits, dont la grande majorité est rebouchée. Une très grande part des travaux miniers correspondent cependant à des « grattages » de surfaces, notamment à flanc de colline. Ils sont repérables, pour les plus grands d'entre eux, par les stériles miniers qui s'accumulent en forme de cône à leur base. L'ensemble de ces mines se situent dans des secteurs particulièrement rocheux, mais souvent en connexion avec les wadis. Les ateliers de réduction se situent justement dans ces derniers, au niveau des terrasses sédimentaires, du fait de la proximité de l'eau et donc du combustible. L'identification des ateliers de l'âge du Fer est très difficile sur le terrain, car des ateliers de différentes périodes peuvent se succéder sur le même lieu. L'absence de stratigraphie a conduit ensuite à un mélange des vestiges de toutes les époques. Seule la datation par C-14 sur charbons pris dans les scories peut permettre d'identifier la production protohistorique. Les techniques de réduction changent au cours du temps, avec essentiellement une évolution dans la taille et la forme des fours, dans l'emploi ou non d'ajouts, et dans la manière d'écouler le métal produit. Elles conduisent à la production de scories qui ont des formes, tailles et aspects différents. Il est alors possible de réaliser une typologie de ces déchets (en les associant avec les caractères d'organisation des sites eux-mêmes), depuis la production de l'âge du Bronze jusqu'à des périodes très récentes, incluant les productions de l'âge du Fer et de la période islamique. Sur chaque site rencontré, des échantillons de scories ont été prélevés pour une observation au microscope optique, puis des analyses chimiques ont été réalisées par fluorescence X portable. L'étude a porté sur 364 échantillons. Elle montre une assez bonne homogénéité de composition des déchets avec une présence constante de fer en grande quantité qui semble indiquer l'emploi d'un ajout. La présence systématique de mattes sulfurées au sein des scories, qui correspondent à des fragments de minerais fondus, semble également indiquer l'exploitation des parties profondes non altérées et donc sulfurées des gisements, et cela pour toutes les époques. Un site se distingue des autres par une plus grande richesse en calcium dans les déchets. Serait-ce la marque d'un autre procédé employé, peut être en relation avec une autre étape de la chaîne opératoire, telle que l'affinage du métal ?

L'étude a également porté sur l'analyse du métal. Ce métal correspond aux billes métalliques encore présentes dans les scories de réduction, mais également aux lingots (produits de la réduction) trouvés sur le site de Masafi. Enfin, des objets manufacturés ont également été analysés, provenant d'atelier (exemple de Kalba) ou de lieux de culte. Les analyses correspondent à des analyses élémentaires par ICP-AES (réalisées au Laboratoire Archéosciences de Rennes) permettant de connaître la teneur des élémentaires majeurs, dits d'alliage (si alliage il y a), et ceux des élémentaires présents en plus faible proportion, dits éléments mineurs ou en trace. Des analyses isotopiques du plomb ont aussi été pratiquées. L'ensemble de ces éléments sont apportés par le cuivre et peuvent contribuer à "signer" le métal produit dans la région, et donc à permettre de l'identifier dans des objets trouvés dans d'autres pays. Il serait alors possible de retracer des circuits commerciaux à différentes périodes, et notamment à l'âge du Fer. Les analyses ont en effet montré une évolution des teneurs entre les différents types d'échantillons, montrant ainsi que la composition du métal évolue avec les traitements métallurgiques subis. La signature chimique est assez variable, mais correspond à celle obtenue par L. Weeks sur les objets de l'âge du Bronze de la même région. Elle correspond également à celle obtenue sur les minerais, permettant de confirmer cette signature élémentaire et isotopique.

Peut-elle servir à retracer l'origine des objets en cuivre trouvés dans certains pays du Mont-Orient, notamment des objets mésopotamiens ? La comparaison de ces résultats avec ceux provenant des bases de données dans les autres grands secteurs de production du cuivre, tels que les gisements de Chypre, montre de très fortes ressemblances entre tous ces secteurs de production qui empêchent pour le moment de répondre à ces questions. Pour pouvoir répondre un jour à cette question primordiale de l'origine des sources du cuivre des objets métalliques à une échelle interrégionale, il

sera sans doute nécessaire de développer des méthodes d'analyse sur de nouveaux isotopes qui permettraient de discriminer les grands secteurs miniers.