

## **La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau et la question de l'utilisation de la minette dans le procédé direct**

Marc Leroy (MCC, LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060)

L'affirmation que la production du fer ne repose, avant la Révolution Industrielle, que sur l'utilisation de minerais riches et que seuls les progrès techniques réalisés au cours du XIX<sup>e</sup> siècle ont permis l'utilisation de minerais plus pauvres en fer et à gangue composite, comme la minette de Lorraine, est une constante dans la littérature historique et technique. Pourtant, les recherches archéométallurgiques menées depuis la fin des années 1980, en Lorraine centrale et septentrionale, ont complètement modifié la trame de l'histoire du développement de la production primaire du fer en Lorraine avant le XV<sup>e</sup> siècle, en démontrant que la minette apparaissait comme le minerai de fer le plus largement utilisé durant tout le Moyen Âge, et peut-être même dès l'Antiquité, alors même que les gîtes de minerais riches de surface étaient facilement accessibles.

La compréhension détaillée des processus de transformation de la minette dans les fourneaux de réduction, par les études archéométriques et les reconstitutions expérimentales, amène à considérer que la composition chimique singulière de la minette la rend remarquablement adaptée au procédé de réduction directe, en procurant notamment d'intéressants rendements en fer, qui compensent la faible teneur initiale du minerai, mais qui nécessitent toutefois des gammes de températures de fonctionnement significativement plus élevées qu'avec un minerai à gangue siliceuse, entraînant des conditions proches, par certains aspects, de celles du procédé indirect.

L'orientation actuelle des recherches tente d'identifier la nature des productions de ces ateliers, en traçant la signature chimique de ce système de production dans une gamme de produits ferreux utilisés en Lorraine, notamment dans l'architecture monumentale, mais aussi de caractériser les étapes des changements techniques qui interviennent, comme ailleurs en Europe, à la fin du Moyen Âge, dans les systèmes de production du fer (passage au procédé indirect). Il semble en effet que la production du fer par le procédé direct perdure largement, dans les espaces où la minette est utilisée, alors même que le procédé indirect s'implante et se développe au même moment dans les secteurs périphériques où des gisements de minerai de fer d'une autre nature sont utilisés.

Leroy M., Merluzzo P., Le Carlier C., *Archéologie du fer en Lorraine. Minette et production du fer en bas fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen Âge*, Fensch Vallée Editions, Knutange, 2015, 372 p.

Leroy M., Le Carlier C., Merluzzo P., - Entre bas et haut fourneau. L'utilisation de la minette de Lorraine au Moyen Âge : une parfaite adéquation avec la technique du bas fourneau, 4<sup>e</sup> congrès international d'archéologie médiévale et moderne, *Medieval Europe Paris 2007 : l'Europe en mouvement*, Paris, INHA, septembre 2007 (édition électronique Internet : [medieval-europe-paris-2007.univ-paris1.fr](http://medieval-europe-paris-2007.univ-paris1.fr)), 18 p.

Leroy M. et Merluzzo P., Un protocole d'expérimentations de réduction en bas fourneau d'un minerai calcique (la minette de Lorraine), *Les Nouvelles de l'Archéologie*, n° 116, juin 2009, (dossier Archéologie expérimentale du bas fourneau), Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, éditions Errance, Paris, 2009, pp. 17-22.

## L'apport des isotopes aux problématiques liées à la diffusion des métaux durant les périodes anciennes

Sandrine Baron (CNRS, TRACES-UMR5608)

Depuis l'avènement des nouveaux spectromètres de masse de « haute résolution » (Walder *et al.*, 1993), de nouveaux systèmes isotopiques sont développés notamment dans le domaine des Sciences de la Terre puis, beaucoup plus récemment, en archéométrie (Jung *et al.*, 2003). Malgré les développements actuellement possibles vers de nouveaux systèmes isotopiques dans des études dites « de provenance » (Klein *et al.*, 2004, Desaulty *et al.*, 2011) et à la possibilité d'interpréter plus finement les mesures, plusieurs paramètres limitent toujours la restitution minéral – objet. Ces derniers sont d'ordre géologiques, physico-chimiques et bien sûr anthropiques (Baron *et al.*, 2014). En réponse à la persistance de ces paramètres limitatifs, deux possibilités permettent d'optimiser la résolution des réseaux d'échanges durant les périodes anciennes. Il s'agit d'une part de privilégier l'intégration effective des « archéomètres » du terrain au laboratoire et d'autre part de mettre en œuvre un réel protocole interdisciplinaire en amont du démarrage du projet de recherche pour rendre pertinent les nouveaux développements.

Dans le cadre de ce séminaire, des résultats issus de différentes problématiques archéologiques seront présentés. Il s'agira d'exposer plusieurs études de caractérisations élémentaires et multi isotopiques (plomb et cuivre) sur la production de métaux non ferreux puis du développement d'un nouvel outil de traçage pour les métaux ferreux, les isotopes du fer.

Les résultats qui seront présentés ici sont issus de différents terrains archéologiques portés par le laboratoire TRACES (Université de Toulouse). Au regard de l'état d'avancement sur certains terrains d'études, mais également des analyses en laboratoire, il sera présenté différentes problématiques de recherches diachroniques sur des matériaux archéologiques (minerais et scories de réduction) : or et argent en Dacie romaine et en Gaule, cuivre et étain en Morvan et Bretagne durant la protohistoire, plomb et argent durant la période romaine à Carthagène (Espagne), fer en Montagne Noire à la période romaine et au Togo à la période médiévale.

Baron, S., Tamas, C.G. and Le Carlier C. (2014). How mineralogy and geochemistry can improve the significance of Pb isotopes in métal provenance studies ? *Archaeometry* 56, 4, 665-680.

Desaulty, A.-M., Telouk, Ph., Albalata, E. and Albarède, F. (2011). Isotopic Ag-Cu-Pb record of silver circulation through 16th-18th Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108, 22, 8917-9316.

Junk, S.A and Pernicka, E. (2003). An assessment of Osmium isotope ratio as a new tool to determine the provenance of gold with platinum-group metal inclusions. *Archaeometry* 45, 2, 313-331.

Klein, S., Lahaye, Y. and Brey, G. P. (2004). The early Roman Imperial age coinage II : tracing the copper sources by analysis of lead and copper isotopes – Copper coins of Augustus and Tiberius. *Archaeometry* 46, 469-480.

Walder, A. J., Platzner, I. and Freedman, P. A. (1993). Isotope ratio measurements of Lead, Neodymium and Neodymium-Samarium mixtures, Hafnium and Hafnium-Lutetium mixtures with a double focusing multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 8, 19-23.

## **LANGAU : étude de la métallurgie du cuivre et de ses alliages à Angkor et dans le royaume khmer**

Brice Vincent (EFEO, CASE-UMR8170)

Des récentes fouilles archéologiques sur le site d'Angkor ont permis d'identifier le premier atelier de bronziers d'époque historique attesté au Cambodge et, plus largement, en Asie du Sud-Est. Son implantation à proximité du palais royal d'Angkor Thom, soit au cœur de l'ancienne capitale du royaume khmer, invite à y reconnaître un atelier au service du roi et de son entourage, ce qui ajoute encore à l'intérêt de ce site de production métallurgique.

Le projet de recherche LANGAU, « cuivre » en vieux khmer, entend saisir la formidable opportunité scientifique que constitue cette découverte pour conduire une étude résolument pluridisciplinaire de la métallurgie du cuivre et de ses alliages dans le Cambodge angkorien, avec un intérêt historique particulier pour la période comprise entre le XI<sup>e</sup> et le XIII<sup>e</sup> siècle.

Notre intervention aux RIMs se propose d'esquisser les grandes lignes de ce nouveau programme de recherche impliquant à la fois des acteurs locaux de l'archéologie et des membres d'institutions de recherche françaises et internationales, à travers une présentation non seulement de son cadre théorique et méthodologique, mais aussi des premiers résultats obtenus dans chacune de ses composantes :

- Aux sources du cuivre d'Angkor : prospections minières dans la région de Vat Phu (Laos) ;
- Fondre pour le roi : étude archéométallurgique de l'atelier de bronziers du palais royal d'Angkor Thom (Cambodge) ;
- De la cire au *samrit* : caractérisation technologique d'un corpus raisonné de bronzes angkoriens (Cambodge et pays voisins) ;
- Mémoire de bronziers : enquête ethnoarchéologique auprès des fondeurs khmers contemporains (Cambodge).