Études océan Indien

46-47 | 2011

Vohémar, cité-État malgache

Archéométabllurgie du fer

Vincent Serneels

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/oceanindien/1366>

DOI : 10.4000/oceanindien.1366

ISSN : 2260-7730

Éditeur

INALCO

Édition imprimée

Date de publication : 1 janvier 2011

Pagination : 365-375

ISBN : 978-2-85831-199-6

ISSN : 0246-0092

Référence électronique

Vincent Serneels, « Archéométabllurgie du fer », *Études océan Indien* [En ligne], 46-47 | 2011, mis en ligne le 03 mars 2013, consulté le 30 juin 2021. URL : <http://journals.openedition.org/oceanindien/1366> ;

DOI : <https://doi.org/10.4000/oceanindien.1366>

Ce document a été généré automatiquement le 30 juin 2021.

Études océan Indien est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International.

Archéométaballurgie du fer

Vincent Serneels

Le fer et sa métaballurgie

- 1 Le fer est une matière première très importante dans les sociétés anciennes. C'est le métal le plus efficace pour la production des armes et des outils. Pour cette raison, il joue un rôle à la fois en ce qui concerne le pouvoir, qui dépend souvent des armes, et l'économie, qui repose sur les outils comme moyens de production agricole et artisanale.
- 2 Dans la nature, les météorites ferreuses, fort rares et difficiles à trouver, sont la seule source de fer métaballurgique. Par contre, les minerais, c'est-à-dire les roches contenant une forte proportion de minéraux riches en fer, sont très fréquents, souvent riches et plutôt faciles à identifier. Ces minerais sont le plus souvent composés d'oxydes et hydroxydes de fer (magnétite, hématite, goethite, etc.).
- 3 Pour obtenir le métal, il est nécessaire de procéder à un traitement métaballurgique de ces minerais (Serneels 1998, Mangin 2004). Les oxydes de fer doivent être chauffés en présence de carbone. À hautes températures, ils subissent une réduction par les gaz de combustion riches en monoxyde de carbone et sont transformés en fer métaballurgique. Si les conditions de réduction sont relativement faibles (températures inférieures à 1200°C, atmosphère pauvre en monoxyde de carbone, temps de réaction court), on forme du fer métaballurgique pauvre en carbone et à l'état solide car l'opération se passe à des températures qui sont inférieures au point de fusion du fer pur (1530°C). À la fin de l'opération, le bloc de fer doit être extrait du fourneau. Si les conditions de réduction sont plus fortes, on forme un alliage de fer et de carbone, la fonte, dont le point de fusion est nettement plus bas (1130°C). Il se forme donc un liquide métaballurgique à la base du fourneau et, pendant l'opération, il est possible de faire s'écouler ce liquide dans un moule à l'extérieur du fourneau.
- 4 Sur le plan technique, pour produire du fer, il existe donc deux grandes familles de procédés qui permettent la production d'un alliage à base de fer à partir d'un minerai naturel. À l'intérieur de chacune de ces familles, si les principes restent les mêmes, les

procédés sont fort variés. On trouve des fourneaux de toutes les tailles (de 0,5 à 25 m³ avant la révolution industrielle) et avec des formes très diverses (simples fosses, coupoles, cheminées, etc.). Certains fourneaux fonctionnent avec un tirage naturel, qu'il soit basé sur l'effet de cheminée ou sur celui d'un vent dominant ; d'autres utilisent des soufflets, qu'ils soient manuels ou hydrauliques. D'autres pratiques, comme le mélange des minerais ou l'ajout d'un fondant, introduisent des variations supplémentaires.

- 5 Par ailleurs, le produit brut de l'opération de réduction, que ce soit un bloc solide de fer pauvre en carbone ou une coulée de fonte, ne convient généralement pas pour un usage immédiat. Il est nécessaire de le transformer de manière à améliorer ses propriétés physiques pour pouvoir le mettre en forme et en tirer le meilleur parti. Au cours de cette étape de travail, on modifie la structure du métal (déformation des grains, augmentation de la compacité, diminution de la quantité d'inclusions non métalliques, etc.) et sa composition chimique (modification du taux de carbone et des autres éléments d'alliage). Une multitude de techniques ont été élaborées pour y parvenir, en fonction de la nature du produit initial et du résultat final escompté. Une des plus importantes, qui comporte d'ailleurs de nombreuses variantes, est celle de l'affinage de la fonte qui consiste à décarburer la fonte de manière à produire de l'acier ou du fer pur. On peut ranger dans la même catégorie les productions d'acier au creuset. Enfin, la dernière étape de l'élaboration d'un objet en fer est sa mise en forme, le plus souvent par forgeage, c'est-à-dire déformation plastique à chaud ou à froid. En même temps qu'il modifie la forme du métal, le forgeron change la structure et la composition du métal, donc ses propriétés physiques. C'est aussi une étape qui peut atteindre une grande complexité, par exemple pour la production des armes en damas de soudure.

L'étude des vestiges archéologiques liés au fer

- 6 Deux grandes catégories de vestiges permettent d'étudier la production sidérurgique : d'une part, les objets en fer eux-mêmes, de l'autre, tous les vestiges, débris ou structures, qui sont liés au travail du fer.
- 7 Les objets archéologiques en fer, par leur forme, témoignent à la fois de la culture qui les a produits et de leur fonction. C'est l'approche typologique traditionnelle de l'archéologie qui s'applique à n'importe quel type d'objets manufacturés. Malheureusement, les objets en fer sont le plus souvent fortement corrodés, ce qui masque les détails de leur forme et des surfaces. Pour être interprétés correctement, les objets en fer demandent souvent un long travail de dégagement et de conservation. Par ailleurs, les objets en fer sont le plus souvent des objets usuels dont la forme reflète la fonction plus que des goûts, des modes ou d'autres contraintes culturelles. Certaines catégories (clous, tiges, anneaux, etc.) se retrouvent dans toutes sortes de contextes culturels sans variations significatives de la forme.
- 8 Par contre, si l'on étudie la structure interne de l'objet, c'est généralement la méthode de mise en forme et, parfois au-delà, la méthode de production primaire du métal que l'on peut mettre en évidence. En effet, le matériau retient, au moins partiellement, la mémoire des traitements qu'il a subis. Ainsi, un refroidissement brusque après mise en forme (trempe), dont l'effet est de durcir l'acier, se marque par le développement de grains de martensite, un composé spécifique qui ne se forme pas dans des conditions normales. De même, si deux morceaux de métal ont été soudés l'un à l'autre, par

exemple une barre d'acier dur et un bloc de fer plus souple, on peut observer cette ligne de soudure. La métallographie est la méthode qui, basée sur l'observation au microscope des grains de métal, permet de décrire toutes les nuances du matériau et de restituer les conditions de son élaboration.

- 9 L'analyse chimique du métal permet également d'apporter des informations utiles sur la nature du minerai utilisé et les conditions de l'élaboration. Au cours de la dernière décennie, l'étude des inclusions non métalliques dans les métaux est devenue une approche prometteuse (Dillmann & L'Héritier 2007). Dans les fers produits à l'état solide, les inclusions sont principalement des substances qui étaient présentes dans le minerai d'origine et elles reflètent donc celui-ci. Au contraire, dans les fers élaborés à l'état liquide, la séparation d'avec les impuretés du minerai est beaucoup plus complète et les inclusions proviennent plutôt de réactions qui se produisent aux autres étapes de la chaîne opératoire.
- 10 Les objets en fer sont le produit final de la sidérurgie. Ils peuvent fournir des informations sur les techniques de production, mais, avant tout, ils reflètent la consommation du métal. Les objets sont généralement retrouvés dans des contextes d'utilisation (habitat, nécropole, dépôt) et non sur les lieux de production.
- 11 Au contraire, les activités de production sont caractérisées par des vestiges spécifiques. L'extraction du minerai laisse parfois des marques visibles dans la topographie : fosses, puits et galeries ainsi que des amoncellements de déblais, des chemins et, parfois, des structures de stockage. La fabrication du charbon de bois peut aussi laisser des traces (aires ou fosses de charbonnage), mais elles sont très discrètes. On peut par contre repérer des signes indirects de cette activité : la déforestation favorise l'érosion et les glissements de terrain ; les fines particules de charbons sédimentent dans le fond des lacs ou les tourbières.
- 12 La réduction du minerai de fer est l'étape qui laisse les vestiges les plus faciles à identifier. En général, c'est une activité qui prend place sur des sites spécialement aménagés, non loin des mines. Les fourneaux sont des constructions relativement importantes, en argile ou en pierres, souvent partiellement creusés dans le substrat mais munis d'une importante superstructure. Surtout, au cours de l'opération de réduction, il se forme des déchets, que l'on appelle des scories et qui contiennent toutes les impuretés du minerai ainsi que l'oxyde de fer qui n'a pas pu être transformé. Ces scories présentent souvent l'aspect d'une roche grisâtre, composée principalement de silicates de fer (fayalite) avec des formes d'écoulement qui témoignent de son état liquide au moment de sa formation. La quantité de scorie qui se forme dépend de la composition du minerai, mais de manière générale, même pour des minerais riches, on fabrique au moins autant de scorie que de métal, parfois dix fois plus. Outre le fait que ces scories permettent de localiser les anciens lieux de production, leur étude au laboratoire peut fournir des informations très importantes sur les technologies mises en œuvre et sur l'efficacité de celles-ci. L'étude des scories doit prendre en compte leur morphologie et leur nature. On utilise les méthodes de la pétrographie et de la minéralogie (analyses chimiques, détermination des minéraux par diffraction des rayons X, microscopie optique et microscopie électronique, etc.). La composition chimique reflète les impuretés du minerai. La composition minéralogique et la texture interne renseignent sur les conditions physiques de l'opération de réduction et du refroidissement (température, efficacité de la réduction, etc.). En connaissant les compositions chimiques des minerais, des scories et des autres matériaux qui

interviennent dans le processus, on peut calculer un bilan des masses qui permet de faire une évaluation de la quantité de fer produite (Serneels 1993).

- 13 Les activités de forgeage se distinguent aussi par les vestiges qu'elles laissent. On travaille le fer dans un foyer muni d'une soufflerie et une enclume, en général dans un atelier organisé. Des déchets spécifiques se forment au moment du martelage du fer sur l'enclume, ce sont les battitures. Une croûte d'oxyde de fer se forme à la surface du fer chaud au contact de l'oxygène de l'air. Lorsque l'on frappe avec le marteau, cette croûte est pulvérisée en fines particules lamellaires grises et magnétiques. Elles s'accumulent au pied de l'enclume. Dans le foyer, divers débris et impuretés s'accumulent pendant le travail. Elles fondent et s'amalgament pour former une scorie dont la forme est le plus souvent hémisphérique et correspond au fond du foyer. On utilise les mêmes méthodes de la pétrographie pour étudier ces scories de forge, mais comme elles contiennent aussi souvent des particules métalliques, on peut aussi mettre en œuvre les techniques de la métallographie.
- 14 À l'échelle d'un site archéologique, l'étude des déchets métallurgiques (scories, etc.) et des structures de production (fourneaux, etc.) permet de décrire les activités métallurgiques qui ont été menées à bien sur le site, tant du point de vue qualitatif que quantitatif. L'étude des objets en fer permet de caractériser la consommation. À l'échelle d'une région, une approche globale sur les ressources minières, les vestiges des différentes étapes de la production et les objets en fer permet de reconstituer l'organisation de la production et de percevoir d'éventuels changements au cours du temps. En comparant les techniques mises en œuvre dans une aire géographique donnée à celles connues ailleurs, on contribue à une véritable histoire des techniques.

Une histoire technique et sociale complexe

- 15 On attribue généralement la découverte de la métallurgie du fer aux Hittites, un peuple qui occupait une partie de l'Anatolie, vers le milieu du deuxième millénaire avant notre ère. Le fer apparaît dans une société qui pratique la production du bronze depuis des siècles.
- 16 À partir de ce foyer précoce, la maîtrise de ce nouveau métal se répand en Méditerranée orientale (Levant, Chypres, Anatolie, Grèce) aux alentours de 1000 BC. Ensuite, ce sont le Caucase, les Balkans, l'Italie et la côte sud de la péninsule ibérique qui sont touchés et, pour finir, les régions plus éloignées des rivages de la Méditerranée (Pleiner 2000). On peut suivre cette pénétration progressive grâce aux très nombreuses découvertes archéologiques d'objets en fer. Les vestiges de la production (mines, fourneaux, ateliers de forge) sont beaucoup plus rares et moins bien connus ; il est donc plus difficile de reconstituer la diffusion des techniques de production. Malgré les insuffisances de la documentation, le schéma général diffusionniste semble cohérent. Vers 300 BC, le fer s'est imposé partout en Europe comme le principal métal usuel dans la vie quotidienne. Sous la domination romaine, la production de fer connaîtra un essor remarquable, surtout dans les provinces non méditerranéennes. Avec la chute de l'Empire, on assiste à une réorganisation complète de l'industrie et une baisse de la production. Après l'an mil, en Europe centrale et du Nord, il semble qu'une forte demande stimule profondément la production, favorisant l'innovation technologique. Dans les siècles qui suivent, on voit se développer une nouvelle technique de

production basée sur la fabrication de la fonte au haut fourneau et son affinage. Cette innovation médiévale ouvre la voie à la révolution industrielle.

- 17 En ce qui concerne l'Asie, on propose un courant de diffusion des objets en fer et, éventuellement, des techniques de production par l'intermédiaire des populations qui occupent la grande plaine d'Asie centrale, entre les bords de la mer Noire et la côte du Pacifique (Wagner 1999). À l'Ouest, les Scythes sont en contact avec la première zone de diffusion du fer (Grèce/Anatolie/Caucase). À l'autre extrémité, dans le sud de la Sibérie, on voit apparaître des objets en fer dès le VIII^e siècle BC. Quelques objets précoces isolés ont également été trouvés en Chine du Nord.
- 18 Le développement de la production de fer au Sud de la Chine semble suivre un autre chemin.
- 19 À partir du V^e siècle BC, les premiers objets à base de fer que livrent les fouilles archéologiques sont en fonte. Si l'on ne connaît pas les fourneaux de cette époque, des installations datant du I^{er} siècle BC ont été retrouvées. Ce développement technologique pourrait être une innovation locale indépendante, dérivant de la maîtrise par les Chinois des techniques sophistiquées de la fonderie du bronze.
- 20 Dans le Nord de la péninsule indochinoise, le fer semble apparaître pendant la seconde moitié du premier millénaire BC, probablement sous l'influence de la Chine du Sud, mais les études approfondies et les données archéologiques de terrain font grandement défaut dans toute la zone. Plus au Sud et dans l'archipel indonésien, le fer n'arrive que pendant les derniers siècles BC ou même au début de notre ère. Ce n'est qu'avec le développement du grand commerce de l'océan Indien que le fer devient progressivement abondant.
- 21 Dans le Nord de l'Inde (Uttar Pradesh), les premiers objets en fer apparaissent très tôt dans la chronologie, au milieu du I^{er} millénaire BC, c'est-à-dire de manière contemporaine ou même plus précoce qu'en Anatolie (Tewari 2003). Un peu avant 1000 BC, le fer apparaît également dans le Sud du sous-continent (Mysore). L'usage du fer et sa production se développent rapidement dans l'ensemble du sous-continent pendant le I^{er} millénaire BC. Au début de notre ère, une nouvelle technique se met en place pour la production d'acier au creuset, le fameux acier wootz, qui sera produit à grande échelle et largement exporté, en particulier vers le monde arabe (Bronson 1986). Au Sri Lanka, entre le VII^e et le XI^e siècle AD, une intense production, utilisant de curieux fourneaux bas à tirage naturel, a été identifiée et également mise en relation avec le commerce intense de l'océan Indien (Juleff 1996).
- 22 En Afrique, un vif débat anime la question de l'origine de la sidérurgie (Alpern 2005, Killick 2009). Les traditionnelles explications diffusionnistes, faisant intervenir comme intermédiaires les Egyptiens, les colons phéniciens de Carthage ou des comptoirs atlantiques ou encore les populations du sud de la péninsule arabique en relation avec celles de la Corne de l'Afrique, ne trouvent que peu de soutien dans les découvertes archéologiques. En effet, en Afrique de l'Ouest (Nigeria, Niger, etc.), mais aussi dans la région des Grands Lacs (Rwanda, Tanzanie, etc.), des vestiges de production très anciens ont été identifiés. Les datations proposées, dont certaines remontent avant 1000 BC, suggèrent un ou deux foyers autonomes de développement de la métallurgie du fer. Toutefois, les données sont encore peu nombreuses et mal assurées et il est donc encore trop tôt pour conclure. Les données archéologiques, encore trop peu

nombreuses, ne permettent pas non plus de suivre dans le détail la diffusion de l'utilisation du fer.

- 23 À la fin du premier millénaire avant notre ère, le fer est présent au sein des sociétés de la bande de savanes au Sud du Sahara et sur les hauts plateaux de l'Afrique centrale. À l'extrême sud du continent, il n'apparaît que quelques siècles après le début de notre ère. La production restera endémique sur tout le continent avant l'arrivée des Européens pour alimenter des marchés locaux. D'innombrables types de fourneaux différents ont été décrits par les premiers observateurs européens et retrouvés grâce aux fouilles archéologiques. À partir de 1000 AD, l'usage du fer semble s'accroître très fortement dans certaines zones, en relation avec la formation de sociétés structurées (empires, royaumes), et donner lieu à des entreprises de production massive à vocation exportatrice (de Barros 1986, Serneels *et al.* 2007, Robion-Brunner 2010).
- 24 À l'échelle de l'Ancien Monde, l'histoire de la sidérurgie apparaît donc comme un développement complexe, multipolaire, présentant certainement des évolutions locales fortement contrastées. Le tableau est cependant encore loin d'être complet et des recherches doivent encore être menées à bien dans beaucoup de régions.

Et à Madagascar ?

- 25 Vers l'an 1000 AD, Madagascar se situe au croisement d'influences venues de l'Afrique continentale, de la péninsule arabique, de l'Inde, de l'Asie du Sud-Est et de la Chine. Ce n'est que quelques 500 ans plus tard qu'arriveront les premiers Européens. Ils y trouvent une société complexe, avec plusieurs groupes ethniques distincts et des formes d'organisation politique avancées (royaumes). L'agriculture est la base de la subsistance et la métallurgie du fer est pratiquée. C'est donc au cours de la première phase de peuplement de l'île que les techniques de production et du travail du fer se sont implantées à Madagascar. Mais d'où venaient-elles ?
- 26 Les observations ethnographiques faites par Ellis (1858) sont un remarquable témoignage concernant les techniques métallurgiques traditionnelles de la région centrale de l'île. Le point saillant est que le système de soufflerie en usage, constitué de deux pistons en bois, rappelle très fortement le dispositif traditionnel en usage en Indonésie pour la ventilation des forges et déjà représenté sur le fameux bas-relief de Candi Sukuh au XV^e siècle AD. Cet argument, ainsi que des indices linguistiques, ont été mis en avant pour supporter l'hypothèse d'une introduction de la sidérurgie par les navigateurs austronésiens originaires de l'actuelle Indonésie. Des recherches archéologiques entreprises sur l'île ont également permis de localiser divers sites où sont présents des traces d'activités métallurgiques (Radimilahy 1988) et même d'en étudier quelques-uns (Gabler 2005). Les informations actuellement disponibles restent cependant bien peu nombreuses pour comprendre l'histoire de la sidérurgie malgache.

BIBLIOGRAPHIE

- ALPERN S.B., 2005, "Did they or didn't they invent it? Iron in Sub-Saharan Africa", *History in Africa*, no 32, pp. 41-94
- BRONSON B., 1986, "The Making and Seiling of Wootz, a Crucible Steel of India", *Archaeomaterials*, no 1.1, pp. 13-51.
- BARROS P. de, 1986, "Bassar: A Quantified, Chronologically Controlled, Regional Approach to a Traditional Iron Production Center in West Africa", *Journal of the International African Institute*, no 56/2, pp. 148-174.
- DILLMANN P. & L'HÉRITIER M., 2007, "Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes", *Journal of Archaeological Science*, no 34, pp. 1810-1823.
- ELLIS W., 1858, *Three Visits to Madagascar During the Years 1853-1854-1856. Including a journey to the capital; with notices of the natural history of the country and of the present civilization of the people*, London, John Murray.
- GABLER S., 2005, *Iron Furnaces and Future Kings: Craft Specialization and the Emergence of Political Power in Central Madagascar*, PhD, University of Michigan.
- JULEFF G., 1996, "An Ancient Wind-Powered Iron Smelting Technology in Sri Lanka", *Nature*, no 379, pp. 60-63.
- KILLICK D., 2009, "Cairo to Cape: The spread of Metallurgy Through Eatsern and Southern Africa", *Journal of World Prehistory* (online).
- MANGIN M. (dir.), 2004, *Le fer*, Paris, Errance.
- PLEINER R., 2000, *Iron in Archaeology: The European Bloomery Smelters*, Praha, Archeologicky Ustav AVCR.
- RADIMILAHY C., 1988, *L'ancienne métallurgie du fer à Madagascar*, British Archaeological Reports, International Series 422, Oxford, Archaeopress.
- ROBION-BRUNNER C., 2010, *Peuplement des forgerons et traditions sidérurgiques : vers une histoire de la production du fer sur le plateau de Bandiagara (apys dogon, Mali) durant les empires précoloniaux*, Francfort, Monographie du programme Paléoenvironnement et peuplement humain en Afrique de l'Ouest, Journal of African Archaeology.
- SERNEELS V., 1993, « Archéologie des scories de fer, recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale », *Cahiers d'Archéologie Romande*, n° 61, Lausanne.
- SERNEELS V., 1998, « La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne », dans : M. Feugère & V. Serneels (dir.), *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale*, Monographie Instru-mentum 4, Édition M. Mergoil, Montagnac. pp. 7-44.
- SERNEELS V., ROBION-BRUNNER C. & Perret S., 2007, « La sidérurgie en pays dogon : problématiques, premiers résultats et perspectives », *Études maliennes*, n° 65, p. 113-126.
- TEWARI R., 2003, "The origins of iron-working in India: new evidence from the Central Ganga Plain and the Eastern Vindhya", *Antiquity*, no 77/297, pp. 536-544.

WAGNER, 1999, "The earliest use of iron in China", dans : S.M. YOUNG, M. POLLARD, P. BUDD & R.A. IXER, *Metals in Antiquity*, British Archaeological Reports, International Series 792, Oxford, Archaeopress. pp. 1-9.

RÉSUMÉS

Le peuplement de Madagascar intervient à une époque où la technologie de production du fer est déjà établie dans différentes parties du monde (Afrique centrale, Asie du Sud et du Sud-Est). L'étude sur place des vestiges liés à la métallurgie du fer (mines, ateliers de réduction, fourneau, forge, scories et déchets associés) permettrait de mieux comprendre les différentes influences culturelles et retracer l'histoire de la sidérurgie malgache.

The populating of Madagascar occurred at a time when the technology of iron production is already mastered in different areas of the world (Central Africa, South and south-East Asia). The study of the material remains linked to iron production (mines, smelting workshops, furnaces, smithing hearth, slag and related wastes) should allow a better understanding of the different cultural influences and to redrawn the history of iron production in Madagascar.

INDEX

Thèmes : archéologie

Mots-clés : métallurgie, fer

Keywords : Archaeology, Iron, Metallurgy