

LES ARTICLES EN LIGNE DE

KADATH



Petite histoire de la métallurgie précolombienne

Michel Dethier

F é v r i e r 2 0 1 7

Petite histoire de la métallurgie précolombienne



Michel Dethier
(Photo Erzsébet Dethier)

Introduction

Au sens strict, la métallurgie consiste en l'extraction et la purification des métaux, soit trouvés dans la nature et travaillés à froid, soit fondus, éventuellement pour former des alliages, afin de fabriquer des objets. Pratiquée depuis des millénaires dans l'Ancien Monde, elle semble beaucoup plus récente dans le Nouveau Monde et on a souvent mis en doute la maîtrise du bronze par les Amérindiens.

En effet, les civilisations de l'Amérique précolombienne, pour brillantes que furent certaines d'entre elles, ne semblent cependant pas avoir été remarquables par leur métallurgie. Tant chez les Aztèques, les Mayas, les Incas et autres peuples amérindiens hautement civilisés, le travail des métaux semble s'être essentiellement limité à l'or et à l'argent, métaux certes précieux mais très malléables et ne présentant pas en outre une température de fusion très élevée. C'est une opinion encore largement répandue de nos jours que, dans le Nouveau Monde, on ne connaissait pas le cuivre et encore moins le bronze. Pourtant des travaux, dont certains déjà anciens et un peu oubliés (car écrits en français pour la plupart ?), montrent bien que des civilisations amérindiennes, en particulier andines, pouvaient s'enorgueillir d'une maîtrise du travail des métaux remarquable. Dès le début du siècle dernier, divers auteurs avaient déjà mis en évidence l'existence de deux centres bronziers en Amérique du Sud, l'un utilisant l'arsenic (nord du Pérou, Colombie...) et l'autre l'étain (Bolivie, Argentine...) (Nordenskiöld, 1921 ; Rivet, 1921a & b ; Clément, 1932, 1935 ; Arsandaux & Rivet, 1921 ; Rivet & Arsandaux, 1946 ; etc.).

Plus récemment, divers auteurs américains ont publié des synthèses dans lesquelles ils n'hésitent pas, comme certains de leurs prédécesseurs européens, à parler d'« Âge du bronze » en Amérique latine, plus précisément dans les Andes (González, 1966a et b, 1979 ; Benson, 1979 ; Cooke & al., 2008). C'est ainsi qu'au cours de ces dernières décennies, on a progressivement « redécouvert » que certains peuples amérindiens connaissaient et utilisaient non seulement le cuivre mais pratiquaient sur ce métal un travail assez sophistiqué. Ils connaissaient aussi les alliages d'or, d'argent et de cuivre et les conquistadors, guidés par leur soif de l'or, l'avaient déjà appris à leurs dépens : en fondant des objets qu'ils croyaient en or pur, ils avaient obtenu un liquide qui, en fait, ne contenait parfois que fort peu de métal précieux. On sait maintenant que les Amérindiens ont utilisé des métaux natifs précieux dans les Andes il y a déjà plus de 3000 ans (Aldenderfer & al., 2008), mais aussi le cuivre, il y a plus de 7000 ans, en Amérique du Nord (Beukens & al., 1992). À ce jour néanmoins, on n'a pas trouvé trace de fonte de métal et encore moins de minerai au nord du Rio Grande. Tous les artefacts ont été obtenus par martelage à froid (Martin, 1999).

La situation est radicalement différente en Amérique du Sud où, depuis très longtemps, les habitants pratiquaient une métallurgie beaucoup plus élaborée, avec fonte des métaux et réalisation d'alliages. Les Andes abritent en effet les plus riches gisements de métaux des Amériques et sont, selon toute vraisemblance, le lieu de naissance de la métallurgie proprement dite dans le Nouveau Monde. En Amérique centrale, il semble bien que la métallurgie se soit développée grâce à des contacts avec l'Amérique du Sud.

Mais l'une ou l'autre de ces civilisations connaissaient-elles le bronze, ce fameux alliage de cuivre et d'étain ? Beaucoup seraient tentés de répondre par la négative. Cependant, la situation est loin d'être aussi claire et tranchée et mérite qu'on l'examine attentivement car si, en Amérique, la découverte de cet alliage a été beaucoup plus tardive que dans l'Ancien Monde et si son usage a été bien moins intensif, il semble néanmoins avoir été découvert en quelques endroits d'Amérique du Sud tout à la fin de la période précolombienne, quelques siècles avant l'arrivée des Européens. Je vais donc tenter, dans les pages qui suivent, d'esquisser une histoire de l'utilisation des métaux, de la plus simple à la plus sophistiquée, dans le Nouveau Monde.

L'ocre rouge : en Amérique... et un peu partout

Il ne s'agit évidemment pas ici de métallurgie à proprement parler, mais simplement de l'extraction et de l'usage d'un minerai de fer. L'ocre est une terre argileuse et siliceuse contenant de l'oxyde de fer. Lorsque ce dernier est hydraté, l'ocre est jaune. En le chauffant à environ 250°C, l'oxyde se déshydrate et se transforme en hématite (Fe_2O_3) et l'ocre prend alors une belle teinte rouge. L'ocre est utilisée comme pigment depuis la fin du Paléolithique moyen et, dès le début du Paléolithique supérieur, l'homme a été capable de transformer, par calcination, l'ocre jaune, plus abondante dans la nature, en ocre rouge. Cette dernière servait non seulement à peindre les parois des grottes, mais encore à saupoudrer les morts dans leur sépulture (pour réduire l'odeur de cadavre ?) et à teindre certaines armes, à tanner les peaux utilisées pour les vêtements et les tentes, afin de les rendre plus souples et de les soustraire à la putréfaction. Les hommes s'en enduisaient sans doute aussi le corps, en raison des vertus médicinales (notamment antiseptiques et cicatrisantes) de cette substance. Le sol de la plupart des habitats des

hommes de cette époque en était littéralement imprégné, mais il n'est pas toujours possible d'établir avec certitude si l'ocre était répandue volontairement ou si elle s'accumulait à la suite d'un emploi régulier. La question peut également se poser aussi à propos de certaines sépultures très anciennes (et du mobilier funéraire en général : Perlès, 1982). Il semble néanmoins certain que l'ocre rouge n'avait pas seulement une utilisation « magique », mais également pratique. En Afrique, l'oxyde de fer est associé à l'expansion de *Homo sapiens* depuis quelque 160 000 ans (voire davantage) et en Amérique, il fait son apparition dès 13 000 BP. Son usage est également attesté depuis longtemps en Australie. Les oxydes de fer ont été intensivement utilisés aux Amériques, depuis la période paléo-indienne jusqu'à l'époque actuelle ; le terme de « Peaux-Rouges » appliqué par les Européens aux Indiens d'Amérique du Nord provient du fait que ces derniers s'enduisaient le corps d'ocre rouge.

Cependant, les anciens sites miniers étant rares dans le Nouveau Monde, on connaît encore peu de choses sur les techniques d'exploitation et de traitement du minerai. Récemment, une équipe de chercheurs de l'Université du Chili (Salazar & al., 2011) a découvert, à proximité de la ville côtière de Taltal, au nord du Chili, une mine d'oxyde de fer vieille de 12 000 ans et qui constitue la plus ancienne manifestation de travaux miniers organisés aux Amériques. Là, une tranchée de 40 m avait été creusée par la culture Huentelauquén (Jackson & al., in Vialou, 2011), premiers habitants de la région, qui utilisaient l'oxyde de fer comme pigment pour peindre des instruments en pierre ou en os et probablement aussi pour teindre leurs corps et leurs vêtements.

Les chercheurs chiliens estiment à 700 m³ et à 2000 tonnes la quantité de roches extraite de cette mine à l'aide de simples marteaux de pierre. Des datations au carbone 14 effectuées sur du charbon de bois et des coquillages trouvés dans la mine ont montré que le site avait été régulièrement occupé et exploité entre 12 000 et 10 500 ans environ (transition Pléistocène-Holocène), puis à nouveau à partir de 4300 ans BP (Archaïque tardif). Avant cela, les « mines » les plus anciennes d'oxyde de fer en Amérique du Sud étaient connues de la côte du sud du Pérou et étaient datées du début de notre ère. En Amérique du Nord, les mines les plus anciennes remontent à l'Archaïque tardif (4500-2500 BP), dans lesquelles les chasseurs-cueilleurs de l'époque extrayaient le cuivre natif (v. plus loin).

Cette exploitation régulière pendant plus d'un millénaire indique que les connaissances concernant la localisation de la mine, les propriétés du minerai extrait et les techniques requises pour l'extraction et le traitement des oxydes de fer ont été transmises pendant de très nombreuses générations au sein du complexe culturel Huentelauquén (chasseurs, cueilleurs et pêcheurs). Cela implique donc le fait que les premiers habitants de la côte du Pacifique de l'Amérique du Sud, bien que simples chasseurs-cueilleurs-pêcheurs, avaient une bonne connaissance des techniques d'exploitation minière et que l'accès aux pigments dérivés des oxydes de fer a influencé le mode de vie dans le nord du Chili. D'une manière générale, on admet cependant que l'acquisition du minerai était compatible avec les modèles de migrations imposées par les nécessités alimentaires.

En Amérique du Nord mais aussi dans le nord de l'Europe, une « culture circumpolaire mésolithique » fabriquait des pointes de flèche en ardoise polie, utilisait des embarcations

en peaux cousues (de type « oumiak »), construisait des sépultures « proto-dolméniques » (*stone chambers* de Nouvelle-Angleterre) assez semblables à celles du Magdalénien européen (Téviec, Hoëdic...) et y faisait un usage abondant de l'ocre rouge (Ferry, 1992). Plus près de nous dans le temps, rappelons que les Olmèques, dès 1400-1000 avant J.-C., extrayaient des oxydes de fer (hématite, magnétite, illménite) dans la vallée d'Oaxaca pour les transformer en miroirs (jusqu'à 10 cm de diamètre) et en « boussoles » dans des villes importantes (comme, par exemple, La Venta) situées parfois à plus de 130 km des sites d'extraction (Dupas, 1977).

Naissance de la métallurgie dans le monde

Pour mieux comprendre ce qui s'est passé dans le Nouveau Monde, il n'est peut-être pas inutile de rappeler ce qui s'est déroulé dans l'Ancien. Le plus ancien artefact métallique que l'on connaisse est le beau pendentif en cuivre natif (martelé et non fondu !) trouvé à Shanidar (Irak) et datant d'environ 9000 ans avant J.-C. Après, jusqu'en 6500 avant notre ère, on trouve de plus en plus d'objets en cuivre natif en Anatolie et parfois bien au-delà, ce qui implique des transports sur de longues distances, les gisements de cuivre natif étant plutôt rares dans la nature. Wertimé (1967, 1973) distingue les étapes suivantes dans le développement du travail des métaux au Proche-Orient :

1. Utilisation du cuivre natif comme une simple « pierre » ornementale, ainsi qu'on l'a fait aussi avec le fer météoritique.
2. Martelage à froid du cuivre natif afin de lui donner une forme (pendentif de Shanidar).
3. Chauffage du cuivre natif afin de remédier à la friabilité conférée par le martelage à froid. On peut alors obtenir des bords plus tranchants.
4. L'obtention du métal plus ou moins pur à partir de minerais de cuivre, même si ces derniers, comme la chalcopysite (sulfure mixte de cuivre et de fer) ou la malachite (oxyde de cuivre) sont beaucoup plus répandus dans la nature et facilement repérables, car souvent très colorés, est une autre paire de manches. Il faut en effet, pour obtenir du cuivre à partir d'un minerai oxygéné comme la malachite (méthode la plus « simple »), procéder à une réduction à chaud, en présence de carbone et en absence d'oxygène, du métal de son minerai. Ensuite, il faut encore séparer physiquement le métal du reste par fusion (le point de fusion du cuivre est de 1083°C). Comment cela a-t-il été découvert ? Certains évoquent une série de hasards. Depuis longtemps, on chauffait les poteries en atmosphère réductrice et en présence d'oxydes de cuivre afin d'obtenir un beau noir, comme chez les Chinois, par exemple. Un jour, un potier a observé une boulette de cuivre au fond de son four... (déjà à 700°C, sans four compliqué, on obtient de petits morceaux irréguliers de métal ; mais pour le coulage proprement dit, il faut arriver à la température de fusion). D'autres n'y croient guère et invoquent une phase intermédiaire, comme la fusion du cuivre natif, qui aurait été pratiquée il y a quelque 6000 ans, ou encore que les « expérimentateurs » savaient ce qu'ils voulaient et connaissaient à l'avance au moins une partie des étapes de l'expérience. Mais alors, qui les avait informés ?

Je pense pour ma part que ce genre de découvertes est lié à deux éléments inhérents à notre espèce :

- Il y a eu de tout temps des petits génies, des Archimède et des Einstein qui, au lieu de regarder stupidement la boulette au fond de leur four, ce sont dit « Bons Dieux, mais c'est du cuivre ! Comment est-ce possible ? ».
- Dans beaucoup (la plupart ?) des sociétés humaines, on a permis à ce genre d'individus de consacrer tout leur temps et leur énergie à creuser leur « idée », en les dispensant des contraintes matérielles. Il est révolu le temps où l'on croyait que la pensée préhistorique se résumait à « Tu chasses, tu manges. Tu chasses pas, tu manges pas ». Dans cette optique étroite, les peintures rupestres n'auraient jamais pu exister. Ces hypothèses n'expliquent sans doute pas tout, mais elles permettent, je crois, de réduire considérablement la part du hasard.

5. Coulage dans un moule ouvert (1083°C !), ce qui permet d'obtenir des flans épais de métal de bonne qualité, qui seront retravaillés ensuite.

6. Coulage dans un moule à noyau et usage du moule en deux parties, ce qui permet, par exemple, de prévoir dans une pièce, des trous d'emmanchement (en insérant un morceau de charbon de bois dans le moule) ou, dans le cas de moule en deux parties, de couler des pièces plus élaborées.

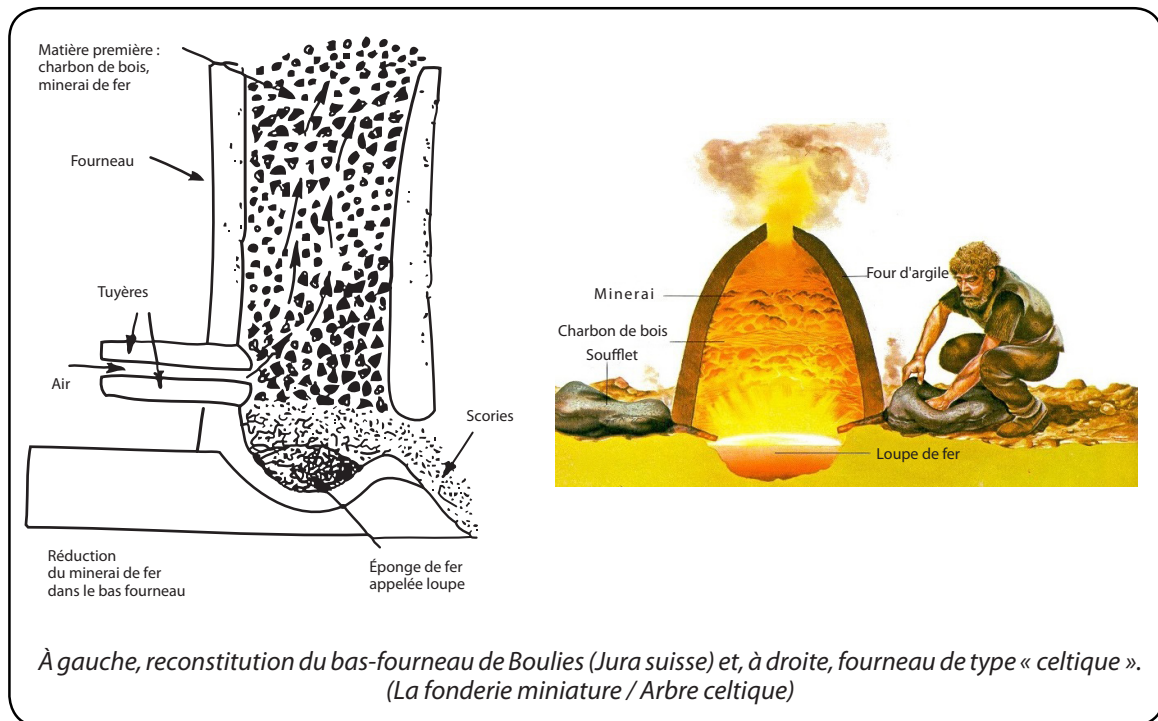
7. Alliage avec l'arsenic ou l'étain afin d'obtenir des bronzes, bien plus solides que le cuivre pur et dont le point de fusion est en outre plus bas que celui du cuivre pur (un bronze à 20 % d'étain a un point de fusion de 200°C en dessous de celui du cuivre pur).

8. Découverte du moulage à la cire perdue, ce qui permet d'obtenir des formes de plus en plus complexes.

Cette séquence, Wertime l'avait proposée initialement pour le Proche-Orient. Par la suite, elle a été étendue à une zone géographique plus large, incluant l'Europe balkanique. Il est en effet à présent certain que les haches-herminettes en cuivre de Bodrogkeresztúr soient mille ans plus anciennes que leurs homologues égéennes, ainsi d'ailleurs que certains artefacts métalliques de la culture de Vinca-Tordos. On admet maintenant que l'Âge du cuivre balkanique est antérieur à l'Âge du bronze égéen et bien des archéologues pensent aujourd'hui qu'il y a eu deux foyers indépendants, l'un balkanique, l'autre oriental, dans lesquels la métallurgie s'est développée. Certains auteurs, comme Childe (1957), acceptent cependant encore difficilement l'idée d'une invention indépendante du moulage. Mais d'autres indices, comme la possible existence d'une « proto-écriture » dans les Balkans renforcent l'hypothèse de deux foyers indépendants, au sein desquels la poterie et la céramique auraient tracé la voie à la métallurgie d'un point de vue pyrotechnologique. Or, il semble qu'un phénomène semblable se soit déroulé en Amérique du Sud, d'une part dans le nord du Pérou et en Équateur et, d'autre part, dans l'altiplano du sud du Pérou, de la Bolivie et du Chili, comme on le verra plus loin.

En 2009, Amzallag a proposé une théorie synthétique reposant sur une distinction claire entre les procédés de fonte par creuset ou par fourneau qu'il applique à l'Ancien Monde. En substance, il estime que ces deux techniques sont bien distinctes et non reliées, ce qui lui permet d'éviter les contradictions entre les théories « localisationnistes » et diffusionnistes (découverte de la fonte du cuivre dans de nombreux sites indépendants entre le VI^e et le II^e millénaire avant J.-C., diffusion de la métallurgie à partir d'un seul site au V^e millénaire...). Cet auteur considère que l'invention du fourneau (plus grand, plus profond que le creuset et muni d'une tuyère) a entraîné d'importants changements culturels dans les domaines de l'agriculture et de l'architecture et offert un statut

considérable aux fondeurs, forgerons et autres métallurgistes dans les civilisations du monde entier. Il ne parle guère des civilisations précolombiennes, si ce n'est pour rappeler que le minerai de cuivre n'a jamais été fondu en Amérique du Nord mais simplement martelé à chaud (même si on n'était parfois pas loin du point de fusion !) et que dans les Andes, il a fallu attendre le second millénaire avant J.-C. pour voir apparaître les premiers creusets, les fourneaux proprement dits n'étant apparus que bien plus tard (Donnan, 1973 ; Shimada & Merkel, 1991 ...).



Par ailleurs, on dispose essentiellement de trois sources d'informations permettant d'étudier l'ancienne métallurgie (Cooke & al., 2008) :

1. Récolte et étude des artefacts. Malheureusement, la documentation archéologique est souvent fragmentaire et parfois même, en raison des pillages et des fouilles sauvages (qui se poursuivent encore de nos jours !), trompeuse. On sait maintenant en outre que les objets en bronze (métal particulièrement précieux dans l'Antiquité !) brisés ou usés étaient refondus (dès 3500 avant J.-C. à Uruk), ce qui entraîne bien sûr des pertes d'informations et ce qui explique sans doute l'extrême rareté de certains objets, comme par exemple l'extraordinaire mécanique d'Anticythère¹, dont on ne connaît pratiquement pas d'équivalent à son époque.

2. Les données historiques et ethnologiques apportent parfois de très intéressants éclairages. Néanmoins, en ce qui concerne le Nouveau Monde, les récits des conquistadors espagnols relatant le pillage des temples et des palais et l'exploitation des mines par les indigènes réduits en esclavage sont biaisés du fait que les envahisseurs s'intéressaient essentiellement aux métaux précieux (Lechtman, 1976).

3. L'archéométrie est l'application de techniques scientifiques d'analyse aux sites archéologiques et aux artefacts qu'ils renferment. La plus fréquemment empruntée est

¹ Sur ce sujet, voir : Dethier M., 2010 : « La mécanique d'Anticythère tourne rond ». *Kadath*, 106 : 19-29. (Ndlr)

celle qui consiste à analyser la composition chimique des métaux utilisés (Lechtman & Klein, 1999 ; Lechtman, 2002). Plus récemment, on a procédé à des analyses géochimiques de sédiments lacustres qui ont mis en évidence la pollution atmosphérique engendrée par la fonte des métaux et des minerais, comme ce fut le cas près de la ville de Potosi, dans le sud de la Bolivie (Abbott & Wolfe, 2003).

Toutes ces techniques présentent bien sûr des limites, mais leur utilisation en parallèle permet maintenant de cerner les problèmes de façon de plus en plus précise et, en particulier, a mis en évidence l'existence d'une métallurgie précolombienne élaborée dans certaines régions des Andes.

En Amérique précolombienne : d'abord, les métaux précieux

EN AMÉRIQUE DU SUD : LES ORFÈVRES DES ANDES

Les Andes représentent aujourd'hui encore la plus grande source de minerais et de métaux du Nouveau Monde et cette richesse a été exploitée depuis des millénaires, comme l'attestent les innombrables objets en divers métaux découverts dans ces montagnes.

Là, les premiers objets en or martelé et modelé pour former des ornements remontent à plus de 3000 ans (Bruhns, 1994 ; Aldenderfer & al., 2008). Ces objets ont été trouvés aussi bien dans les vallées des grands fleuves (or alluvionnaire plus malléable) que dans les grands centres miniers des montagnes. La découverte en 1980 d'un radeau d'or de 20 cm de long près d'un lac des environs de Bogota a contribué à raviver la légende de l'Eldorado.



Le radeau de l'Eldorado, trouvé près de Bogota. (<http://terreslatines.blogspot.be>)

Contrairement à une opinion largement répandue, qui veut que ce type d'artisanat ne se développe que dans des sociétés capables d'entretenir une « élite », grâce à des ressources alimentaires suffisantes, ces objets ont été fabriqués par des sociétés certes en mutation, mais qui étaient encore loin d'une certaine autarcie alimentaire. Plutôt que d'avoir été la conséquence d'une société bien hiérarchisée, l'usage de l'or semble plutôt avoir contribué à son émergence. Contrairement à ce que l'on observe dans d'autres traditions métallurgiques chez lesquelles les métaux prirent de l'importance et se répandirent rapidement grâce à leur utilisation dans la fabrication d'armes et d'objets usuels, en Amérique du Sud (et, plus tard, en Amérique centrale), ils furent surtout mis en valeur par une utilisation ornementale et comme insignes d'un statut social élevé (sans pour autant exclure toute fonction pratique).

Les civilisations de Chavín (ca de -800 à -400), puis celle des Mochicas (de -100 à +800), ensuite des Chimus (première moitié du second millénaire de notre ère) et enfin des Incas, utilisaient deux techniques de « placage » de feuilles de cuivre à l'aide d'or ou d'argent, donnant aux objets ainsi façonnés l'allure d'artefacts en pur métal précieux. En fait, comme le fait remarquer Lechtman (1984) et Lechtman & al. (1982), il ne s'agit pas de placage à proprement parler, par application d'une fine feuille de métal sur un support en cuivre, mais plus exactement d'une « mise en couleur ».

À Loma Negra, dans le nord du Pérou, de nombreux objets en cuivre martelé (non fondu !) appartenant à la civilisation mochica ont été retrouvés. La couche de corrosion verte enlevée, une très fine couche d'or ou d'argent de 0,5 à 2 microns d'épaisseur, très uniforme est apparue. Les recherches menées au M.I.T. ont montré que cet effet était produit à l'aide de deux techniques :

- Le revêtement par échange électrochimique (ne pas confondre avec l'électrolyse !) est connu depuis très longtemps dans l'Ancien Monde. Déjà, les Romains le pratiquaient régulièrement. Les orfèvres andins utilisaient pour ce faire une solution de minéraux corrosifs (sulfates d'aluminium et de potassium, nitrate de potassium, chlorure de sodium), très abondants dans les déserts côtiers. Ils y ajoutaient du bicarbonate de soude, afin de neutraliser la solution (sinon, le cuivre était aussi attaqué). Chauffée légèrement, cette solution dissolvait l'or en quelques jours. Ils plongeaient ensuite pendant cinq minutes la plaque de cuivre à « enduire » dans cette même solution neutralisée, portée cette fois-ci à ébullition, et une couche d'or parfaitement uniforme d'un micron d'épaisseur s'y déposait. Afin d'obtenir une bonne adhérence, la plaque de cuivre était également chauffée.
- La dorure et l'argenture par déplétion étaient obtenues par un cycle de martelages et de cuissons successifs d'un alliage de cuivre, d'or et d'argent. Le martelage rendait à la longue le métal cassant et on le recuisait pour le rendre à nouveau malléable. Les métaux précieux s'oxydant moins vite que le cuivre, les couches superficielles s'enrichissaient en argent (ou en or) en même temps qu'elles s'appauvrirent en cuivre. Les oxydes de cuivre étaient ensuite dissous à l'aide de jus de fruits acides... ou d'urine ancienne ! Cette idée n'est pas nouvelle, puisqu'elle avait déjà été émise par Evans (1910) et reprise par Rivet (1921a & b) !

Le *tumbaga* était un alliage de cuivre et d'or en différentes proportions (il y avait parfois seulement 12% d'or, au grand dam des conquistadors !). Il pouvait aussi contenir de l'argent, ce qui permettait d'obtenir de nombreuses nuances de couleurs. Cet alliage supportait des cuissons et des martelages successifs, ce qui enrichissait la surface en métaux précieux. Si l'orfèvre désirait obtenir une coloration plus dorée, il fallait éliminer l'argent de la surface. Pour ce faire, il enduisait la feuille de métal d'une pâte corrosive à base de sulfate ferrique et de sel, qui éliminait facilement l'argent de la surface. Ce procédé a été repris par les Chimus, puis par les Incas.



*Masque de félin en tumbaga
de la culture Tairona. (Delcampe)*



*Pectoral quimbaya en tumbaga.
(Antique Jewelry University)*



*Gants de momie de prêtre mochica constitués de sept feuilles d'or martelées.
(Photo X)*

Toutes les étapes décrites brièvement ci-dessus ont été testées en laboratoire et se sont révélées compatibles avec les connaissances de l'époque et les ingrédients alors disponibles sur place (Lechtman, 1984). Le *tumbaga* n'était pas simplement martelé. En Colombie, les artisans le fondaient et le moulaient à la cire perdue (Lechtman, 1979).



Pendentif tairona (Photo Brunosan, Museo del Oro, Bogota)



Masque de momie chimu. (Dallas Museum of Arts)



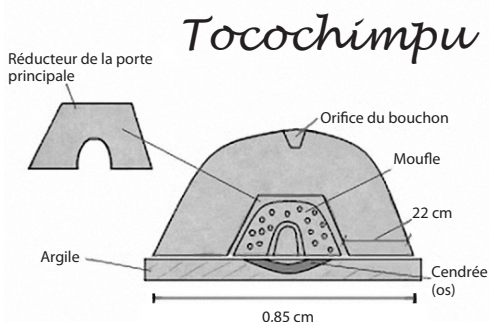
Poporo (flacon à citron vert).
(Wikimedia, Museo Del Oro)

Dans l'altiplano du sud de la Bolivie, la mine d'argent de Cerro Rico de Potosi est sans doute une des plus riches au monde. On attribue sa découverte à l'avant-dernier Inca, Huayna Capac (milieu du XV^e siècle de notre ère). Mais des analyses récentes des sédiments d'un lac voisin (Abbott & Wolfe, 2003) ont montré qu'en réalité, l'exploitation de cette mine remontait au moins à l'an mille. Plus tard, les conquérants espagnols ont bien sûr poursuivi son exploitation en utilisant de la main d'œuvre indienne laquelle, longtemps encore, s'est servie de trois types de « fours » traditionnels. Le premier consistait en un simple trou dans le sol (un creuset) et servait à réduire le minerai riche en argent. Le second était un four de dimensions réduites, appelé *huayara* (ou *huayrachina*), parfois portable, généralement placé dans des endroits exposés afin de bénéficier du vent qui y soufflait. Pour cette raison, ce n'est que récemment qu'on a découvert des traces archéologiques de ce type de four (Van Buren & Mills, 2005). Enfin, le troisième type, appelé *tocochimpu*, était utilisé pour affiner l'argent en présence de galène argentifère ou *soroche* (sulfure de plomb).

Cieza de León fut sans doute le premier à décrire cette technique du *soroche* permettant d'extraire l'argent même à partir de minerais pauvres (Cooke & al., op. cit.). Shimada & al., (2007) ont étudié les fourneaux de Huaca Sialupe, sur la côte nord du Pérou et vieux d'environ 1000 ans. Ils consistaient en de grandes urnes de céramique retournées ; ils étaient alimentés par du charbon de bois que le vent amenait à des températures suffisantes pour permettre des alliages de cuivre et d'or, de cuivre et d'arsenic. Ils en ont fait la démonstration expérimentale. À son tour, Rehren (2009-2011) a montré que, depuis 2000 ans, on fondait l'argent (parfois mélangé à des minerais de plomb) dans des fourneaux pourvus de nombreuses petites ouvertures exposées aux vents soufflant à 4000 m d'altitude. Cette technique semble encore utilisée de nos jours (plus ou moins clandestinement), en même temps que les fourneaux de type européen et le procédé dit du « *cold patio* » (amalgame avec du mercure), permettant d'exploiter des minerais pauvres en argent.



À Cerro di Potosi, l'extraction continue...
(ejatlas.org)

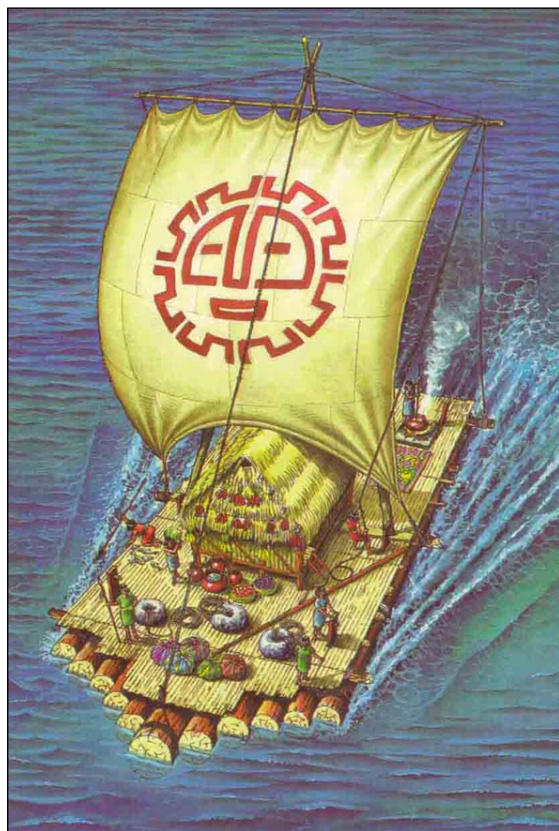


À gauche, huayrachina en fonctionnement et, à droite, schéma d'un tocochimpu. (Rehren, 2009-2011 / Museo de Gemas y Minerales, Argentine)

D'après certains, tandis que la métallurgie de l'Ancien Monde (bronze, puis fer) s'orientait rapidement vers des applications guerrières et pratiques (armes, outils), celle du Nouveau Monde se serait essentiellement vouée à la production d'objets de prestige, politique et surtout religieux, jouant donc un rôle symbolique. Chez les Incas (qui se disaient les descendants du Soleil et de la Lune), l'or avait la couleur de la sueur du Soleil et l'argent celle des larmes de la Lune. Ce symbolisme remonterait à la civilisation de Chavín, soit il y a plus de 3000 ans, et aurait imprégné toutes les civilisations amérindiennes. Mais, d'après des travaux récents, il semble bien qu'en réalité, le travail des métaux (d'abord l'or et l'argent, le cuivre puis le bronze ensuite) ait donné naissance, en premier lieu et un peu partout dans le monde, à des bijoux et autres marques de prestige. Ce n'est que plus tard que sont venus armes et outils.

EN AMÉRIQUE CENTRALE ET DU NORD

Il est vraisemblable que la métallurgie proprement dite n'ait fait son apparition, en Amérique centrale, que vers l'an 800 de notre ère, probablement importée depuis les Andes par voie maritime. Pizarre raconte en effet avoir croisé un grand radeau chargé de marchandises, dont des objets en or et en argent, qui remontait la côte vers le nord (à ce propos, il serait judicieux de relire les travaux quelque peu oubliés de Holm (1915-1996) concernant la navigation précolombienne et les haches en cuivre équatoriennes



Type de radeau sans doute utilisé par Tupac Yupanqui et ses compagnons. (Couverture de la thèse de A. del Burto Duthurburu, Ed. Brasa, 2006)

qui servaient de monnaie d'échange). Passant par l'Équateur et la Colombie, la métallurgie se serait répandue dans l'ouest du Mexique, puis au Panama, au Costa Rica, au Guatemala et au Belize. Là aussi, les métaux précieux furent perçus comme des matières réservées à l'élite. Les qualités de couleur et de son des métaux induisirent des techniques de fabrication particulières (Hosler, 1988), produisant néanmoins des artefacts comparables, tant dans l'ouest du Mexique que dans les régions andines d'origine (anneaux, aiguilles, pinces, cloches...).

Si les techniques et les modèles furent importés d'Amérique du Sud, les minerais, eux, provenaient des riches dépôts locaux et tandis que les techniques se répandaient dans tout le Mexique, les objets étaient essentiellement, sinon exclusivement, fabriqués à partir de minerais provenant de la partie occidentale du pays. On n'est pas encore sûr si ces objets étaient produits aussi dans l'ouest ou si un autre site d'émergence de la métallurgie était apparu ailleurs au Mexique (Hosler, 1999).

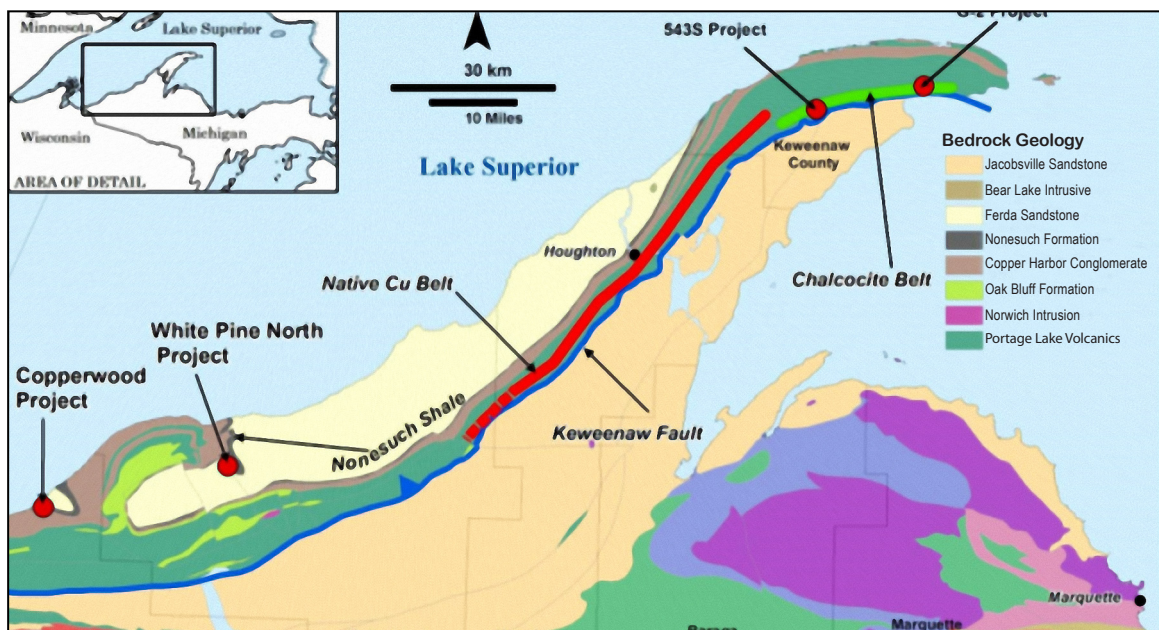
Les Aztèques ne pratiquèrent que tardivement la métallurgie, préférant semble-t-il acquérir les objets métalliques déjà manufacturés chez leurs voisins. Néanmoins, à l'époque de la conquête espagnole, une technique de fonte du bronze semblait s'épanouir dans le centre du Mexique (Arsандаux & Rivet, 1921).

Au nord du Río Grande, on n'a encore jamais mis en évidence l'existence de techniques de fonte ou d'alliage des métaux. Par contre, une exploitation et une utilisation massive du cuivre natif apparurent très tôt, dans la région des Grands Lacs, ainsi que des échanges intenses avec Cahokia et ses cités-satellites. Mais, contrairement à ce que l'on a pu observer en Amérique du Sud et en Amérique centrale, la métallurgie précolombienne nord-américaine a eu d'emblée une vocation plus pratique et a débouché sur la confection d'objets utilitaires.

Exploitation et travail du cuivre en Amérique précolombienne

LA RÉGION DES GRANDS LACS : LE CUIVRE AVANT LA POTERIE !

S'il ne fait guère plus de doute que le cuivre trouvé à Cahokia (et ailleurs en Amérique du Nord) provient de la région des Grands Lacs, il reste encore cependant bien des interrogations concernant son exploitation et son utilisation.



Péninsule de Keweenaw et emplacement des gisements de cuivre. (Geology for Investors)

Les dépôts de cuivre natif pur (jusqu'à 99% !) de l'Isle Royale (sur le Lac Supérieur) et de la péninsule de Keweenaw (sur le Lac Michigan) sont connus des Européens depuis les explorations de Champlain, dès 1608. Ce n'est cependant que depuis 1840 environ, c'est-à-dire lors de la mise en œuvre des mines modernes, que les mines anciennes ont été mises au jour et que l'on a découvert d'innombrables marteaux de pierre, ainsi que des artefacts en cuivre (pointes de lance, couteaux, sarcloirs, alènes...). Ces découvertes ont donné naissance à de nombreuses théories, aussi improbables que non étayées et fortement europocentristes (Phéniciens, Minoens, Vikings...). Certains ont même prétendu que des hordes de mineurs venus d'Eurasie étaient venus, à l'Âge du bronze (soit vers le deuxième millénaire avant notre ère), exploiter le cuivre d'Amérique du Nord pour ensuite l'importer dans leur région d'origine. L'avènement de l'Âge du fer aurait mis fin à ce fructueux commerce... Ce sont surtout les estimations exagérées des quantités de cuivre extraites (Drier & Du Temple, 1961) qui ont donné naissance à ces théories romantiques. Selon Wertime (1973), environ 5000 tonnes de cuivre natif ont été extraites des mines du Lac Supérieur depuis le troisième millénaire avant J.-C. jusqu'à l'arrivée des Européens.

On sait maintenant que la région des Grands Lacs est peuplée par les Amérindiens depuis au moins 11 500 ans et que l'action des glaciers a découvert des veines de cuivre natif et entraîné le transport de blocs plus ou moins gros de ce métal sur de longues distances (« cuivre flotté »). Ce matériel était directement exploitable par les chasseurs-cueilleurs de l'époque.

La découverte, en 1945 seulement, de trois premiers sites contenant à la fois des squelettes en place, des outils en pierre et des artefacts en cuivre datant de l'« Old Copper Complex » (de 6000 à 3000 BP) a montré que ces derniers étaient bien l'œuvre d'un peuple indigène et non d'hypothétiques visiteurs. Depuis, de très nombreux sites de ce type ont été mis au jour, tant au Canada (de l'Alberta au Québec) qu'aux États-Unis (jusque dans le Dakota du nord, le Delaware et le Kentucky), le « centre » de l'Old Copper Complex étant néanmoins le Wisconsin. Déjà à cette époque, les échanges commerciaux entre les différentes communautés étaient importants, ce qui explique sans doute le fait que le cuivre des Grands Lacs ait été utilisé à Cahokia (voir plus loin) et que l'on ait retrouvé de l'obsidienne et des coquillages marins provenant du Wyoming dans la région du Lac Supérieur. Enfin, aucune trace (campement, tombe, artefacts quelconques) attribuable à d'éventuels mineurs ou trafiquants étrangers n'a jamais été retrouvée (Johnson, 2009 ; Levine, 2007a et b).

Il faut relever au passage que Mallery (1951) a prétendu que beaucoup des artefacts en cuivre de l'« Old Copper Complex » avaient été façonnés par moulage et non par martelage. Dans l'Ohio, il dit aussi avoir découvert, sous les *mounds* précolombiens, des fourneaux primitifs ayant servi à la fonte du fer et qu'il attribue aux Vikings, là où beaucoup d'autres ne voient que de simples fours à chaux de l'époque coloniale et considèrent cet auteur comme étant légèrement excentrique.

À la suite de Drier & Du Temple (1961), Guthrie (2001) soulève à nouveau le problème du cuivre « disparu ». En effet, s'il admet que les estimations de Drier & Du Temple (op. cit.) sont peut-être quelque peu surfaites, il considère néanmoins qu'il y a d'énormes différences entre les quantités d'artefacts retrouvés, non retrouvés et/ou perdus (qu'il estime au maximum à 25 tonnes) et la quantité de cuivre natif qui a pu être extraite (qu'il évalue à au moins 9000 tonnes). Martin (1995) et Johnson (2009) pensent



Artefacts en cuivre des Grands Lacs.
(<http://copperculture.homestead.com/>)

que de tels chiffres sont basés sur des estimations fausses. D'après ces auteurs, la taille « moyenne » des puits (20 pieds de diamètre sur 30 de profondeur, selon Drier & Du Temple) ne repose sur aucune statistique sérieuse, pas plus que l'existence d'au moins 5000 puits, ni le rendement de 5 à 15 % du minerai extrait. Le nombre d'artefacts produits a,

par ailleurs, sans doute été sous-évalué par ces auteurs : Johnson (2009) a collecté des centaines et des centaines de pièces en d'innombrables endroits. De plus, la ressemblance entre les outils de l'« Old Copper Complex » américain et d'autres provenant d'Eurasie (région de la Volga, par exemple), ne serait que pure coïncidence.

Dans la région des Grands Lacs, durant l'« Old Copper Complex », on ne trouve aucune preuve matérielle que le cuivre était fondu ou moulé. La présence de bulles de gaz à la surface de quelques artefacts a été considérée par certains comme la preuve d'une fusion (il est néanmoins possible que, pour faciliter l'« extraction », on ait allumé des feux au-dessus des dépôts, puis qu'on les ait aspergés d'eau, afin de provoquer des craquelures dans la roche). Johnson (2009) fait remarquer qu'on n'a jamais retrouvé de moules, de fourneaux, de traces de ruissellement de métal ni de scories. Cet auteur estime que le métal était martelé à froid à l'aide de petits marteaux de pierre, ce qui entraînait sa fragilisation. Pour pallier cet inconvénient, le cuivre était chauffé au rouge dans les braises d'un feu de bois, puis était à nouveau martelé. Cette opération pouvait être répétée à de nombreuses reprises. Des expériences menées de nos jours ont montré qu'il fallait jusqu'à 30 cycles de cuisson/martelage pour obtenir certains outils. Cette technique entraîne régulièrement l'apparition de bulles de gaz dues à la présence d'impuretés dans le métal.

Compte tenu des moyens primitifs à la disposition des anciens dinandiers précolombiens, leurs résultats peuvent être considérés comme excellents : couteaux, pointes de lance et de javelot pour propulseur, hameçons, sarcloirs et alènes étaient finement travaillés. Les outils ou les armes qui devaient présenter une pointe aiguë ou un côté tranchant, étaient sans doute affûtés sur une pierre plate ou à l'aide de sable gréseux fin. Johnson (op. cit.) signale aussi la présence de nombreuses « barres » de cuivre d'environ 20 cm de long et de quelques centimètres de diamètre. Il suppose que ce matériel, facilement transportable, servait de monnaie d'échange entre les populations. En outre, le fait que ce métal était déjà quelque peu manufacturé apportait la preuve de sa qualité (absence de défaut, de fêlures...) et augmentait sans doute d'autant sa valeur marchande. L'abandon progressif du côté utilitaire au profit d'objets de plus en plus ornementaux traduit, selon Martin (1999), l'émergence de sociétés de plus en plus hiérarchisées. Levine (2007 a et b) met d'ailleurs en doute le côté statique, pendant près de 6000 ans, de l'usage de la technologie du cuivre dans la région des Grands Lacs.

Toujours selon Johnson, les gens de l'« Old Copper Complex » utilisaient, comme matériau de base, aussi bien d'assez gros nodules de cuivre natif que des feuilles minces. Dans ce dernier cas, la feuille devait être pliée et repliée, tout en étant martelée, jusqu'à atteindre la forme désirée. Dans certains artefacts, on peut compter jusqu'à six plis se superposant.

À CAHOKIA

Les « Mound Builders » d'Amérique du Nord ont fait plusieurs fois l'objet d'articles dans Kadath (Ferry, 1978 ; Krupp, 1995 ; Dethier, 1995). Dans le centre et l'est des États-Unis, on a dénombré quelques 100 000 tertres ou levées de terre, parfois énormes. Ces gigan-

tesques monuments ont été érigés entre quelques siècles avant J.-C. et le XV^e siècle de notre ère environ par trois cultures successives : les Adena sont les plus anciens et ont construit des tumuli zoomorphes (*effigy mounds*), tel que, par exemple, le « Great Serpent Mound », dans l'Ohio (près de Cincinnati), long de plus de 400 m. Vinrent ensuite les Hopewell (vers le début de notre ère), qui construisirent surtout des tertres de forme conique ou des pyramides à gradins (*temple mounds*). Enfin, dans les premiers siècles du second millénaire de notre ère, les Mississipiens furent sans doute les artisans de l'épanouissement remarquable de Cahokia.

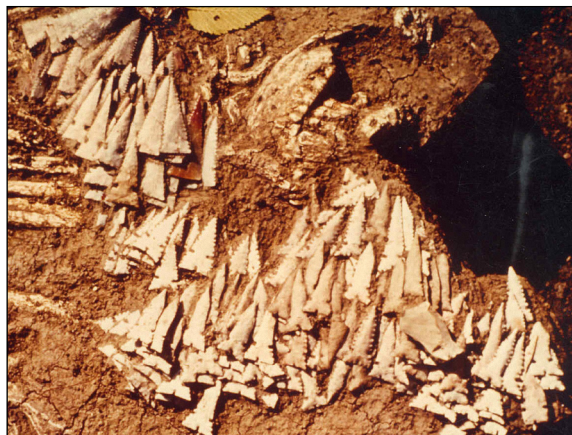


Ce site extraordinaire, couvrant 13 km² et situé dans l'Illinois, a connu son apogée au XIV^e siècle de notre ère et a sans doute été abandonné vers 1450. Certains archéologues estiment que cette « métropole » a compté à elle seule jusqu'à 40 000 habitants, auxquels il faut ajouter ceux des communautés satellites, parfois aussi très importantes. À Cahokia même, on a recensé plusieurs dizaines de tertres, dont le plus grand de tous, le monstrueux « Monks Mound », d'une superficie de six hectares (316 x 240 m) et qui mesure encore aujourd'hui plus de 30 m de haut. Outre ces mastodontes, on a aussi découvert que Cahokia comptait également un certain nombre de « *woodhenges* », ou cercles de grands poteaux de bois (le poteau central du *woodhenge* du Mound 72 avait 90 cm de diamètre) et on sait maintenant, grâce aux travaux du professeur Fowler, que ces constructions étaient des observatoires astronomiques, la pratique de l'observation du soleil et des astres étant très importante chez les Cahokiens.

On sait aussi que Cahokia n'était pas seulement un centre religieux, où se pratiquaient des rites « archéoastronomiques », mais que cette métropole jouait un grand rôle dans le contrôle des échanges commerciaux à longue distance. En effet, on a retrouvé, en particulier dans le modeste Mound 72 (1,80 m de haut seulement), deux tombes de hauts dignitaires (accompagnés des squelettes parfois démembrés de quelque 300 jeunes femmes !) abritant un très riche mobilier funéraire comportant plusieurs centaines de pointes de flèche, des feuilles de mica, des perles et des coquillages innombrables

et même un rouleau de feuille de cuivre non travaillé. Ces richesses ne pouvaient provenir que d'ailleurs et avoir même parfois dû parcourir de longues distances : les perles marines et les coquillages provenaient du golfe du Mexique, le mica (dans lequel on découpait des silhouettes ornementales) des Appalaches et le cuivre des mines situées près du Lac Supérieur, plus précisément de l'Isle Royale et de la péninsule de Keweenaw. Certains corps avaient en outre été enduits d'ocre rouge...

Entre 700 et 1400 de notre ère, les Mississipiens vivant à Cahokia ont fabriqué, avec le



*Pointes de flèche mises au jour dans Mound 72.
(Lithic Casting Lab.com)*

cuivre provenant des Grands Lacs, nombre d'objets rituels et/ou décoratifs (pectoraux, bijoux, coiffures, etc.). Chastain & al. (2011) ont soigneusement fouillé le Mound 34 et étudié de manière très approfondie un atelier de dinandiers précolombiens. À vrai dire, un archéologue amateur, Greg Perino, avait déjà découvert ce site dans les années '50 mais, outre le fait qu'il ne disposait pas des techniques modernes d'analyse, ce chercheur « impétueux » n'avait pas non plus accompli un travail d'une remarquable précision. Il avait donc fallu reprendre le tout depuis le début.

Le seul atelier de travail du cuivre connu à ce jour à Cahokia a été repéré grâce à des taches sombres et circulaires dans le sol à la base du Mound 34 et qui représentent sans doute les restes des souches aplanies dont les Anciens se servaient comme d'enclumes. On pense qu'ils posaient dessus une pierre plate et qu'ils martelaient le nodule de cuivre natif à l'aide d'un bloc de basalte tenant bien dans la main. Un membre de l'équipe a expérimenté la technique, après avoir chauffé le cuivre vers 600°C et, sans être parvenu à obtenir une feuille de cuivre aussi fine que celles obtenues par les habitants de Cahokia, a néanmoins montré que cette technique était la bonne.

Huit petits échantillons de cuivre provenant d'artefacts trouvés dans la fouille du Mound 34 ont été soumis à des analyses métallographiques poussées et examinés au microscope électronique. Les résultats de ces examens ont ensuite été confrontés à l'expérimentation sous des conditions strictes. Il ressort clairement de ces études que les Mississipiens, à l'instar des gens des Grands Lacs, amincissaient des feuilles de cuivre natif grâce un cycle de martelages et de cuissons successives sur un feu de bois ouvert, comme le ferait un forgeron. Johnson (2009) et d'autres avaient déjà suggéré l'emploi de cette technique ; à présent, on sait que la structure microscopique d'artefacts anciens et celle de feuilles de cuivre traitées récemment de cette manière sont parfaitement identiques et cela montre que les hypothèses émises auparavant étaient correctes.

L'assemblage de plusieurs feuilles pour former un objet « pluristratifié » n'a jamais été observé dans aucun artefact, ni réalisé expérimentalement. L'hypothèse du laminage est peu probable, car incompatible avec la technologie de l'époque. Des essais avec des

poids plus importants n'ont pas abouti. L'emploi de rivets ou d'un autre système mécanique pour assembler des pièces est plus vraisemblable.

Quatre techniques de coupe des feuilles de cuivre ont été expérimentées : écrasement sur une arête, cisaillement, martelage sur un angle aigu et plis et replis successifs. Seules les arêtes obtenues expérimentalement selon cette dernière technique présentent les mêmes caractéristiques microscopiques que les arêtes des vrais artefacts.

Chastain et ses collègues voient dans la vaste répartition aux États-Unis de certains symboles trouvés à Cahokia une nouvelle preuve de l'importance culturelle et économique de ce site. Ils rappellent également que moins d'un pour cent des *mounds* ont été sérieusement fouillés (cf. supra, les estimations de Drier, Du Temple et Guthrie). Ils émettent enfin l'hypothèse que les gens de Cahokia seraient allés jusqu'aux Grands Lacs pour se procurer le cuivre et, peut-être même, pour apprendre à le travailler. Les analyses effectuées par Cooper & al. (2008) ont montré que le cuivre des Grands Lacs faisait partie d'un vaste réseau d'échanges.

Parmi les 121 artefacts en cuivre (boucles d'oreille, écussons, bracelets, haches, herminettes...) provenant de fouilles menées entre 1845 et 1847 dans les *mounds* de l'Ohio (culture Hopewell), Wayman, King & Craddock (1992) en ont repéré 11 (dont 3 en bronze) auxquels ils attribuent une origine sud-américaine et ils estiment que ces pièces ont été rangées par erreur dans cette collection. Pourtant, des contacts avec les civilisations andines ne sont pas totalement exclus. Un autre artefact est constitué de deux pièces qui semblent soudées entre elles. Les auteurs estiment que, si une fusion accidentelle due à un incendie est peu probable, une soudure volontaire l'est sans doute encore moins...

EN AMÉRIQUE CENTRALE ET EN AMÉRIQUE DU SUD

Rappelons une fois encore que la métallurgie du cuivre, à partir de minerais, comporte plusieurs opérations :

- Pour obtenir le métal à partir d'oxydes (cuprite, par exemple), il faut entasser des couches successives de minerai et de charbon de bois. On obtient ainsi un magma dont la gangue se sépare facilement du cuivre par fusion et le métal est récolté au fond du four.
- À partir de sulfures (plus répandus, comme par exemple la chalcopirite, sulfure mixte de cuivre et de fer, CuFeS_2 , de couleur noire), il faut d'abord procéder au grillage à l'air, ce qui permet d'enlever les impuretés volatiles, puis il faut chauffer avec un fondant (silicate) qui se combine au fer pour former une croûte légère surnageant à la surface du sulfure de cuivre en fusion. Enfin, on injecte de l'air dans le four, ce qui a pour résultat d'oxyder une partie du sulfure de cuivre en oxyde de cuivre, lequel réagit alors avec le sulfure. La réaction étant exothermique, le métal purifié coule et l'oxyde de soufre se dégage ($\text{CuS} + 2 \text{CuO} \rightarrow 3 \text{Cu} + \text{SO}_2$).

Dans les Andes, deux traditions semblent bien s'être développées parallèlement :

- Au nord du Pérou et en Équateur, la culture Moche (de -200 à +600 ans de notre ère) utilisait les minerais de cuivre provenant de dépôts superficiels situés au pied des Andes et qui était fondu à proximité dans des fourneaux en adobe munis d'au moins trois ouvertures au vent, représentés sur les céramiques. Les lingots étaient ensuite envoyés sur la côte et mis en forme par des spécialistes, près des centres administratifs. Cette culture a surtout produit des objets ornementaux, parfois garnis de perles. Quelques objets plus fonctionnels, mais toujours très décorés, ont été trouvés en relation avec les enterrements. Peut-être avaient-ils un usage surtout symbolique. L'usage du *tumbaga* (v. plus haut) était fréquent dans cette culture.
- Dans l'altiplano, au sud du Pérou, au Chili et en Bolivie, la fonte des métaux non ferreux est pratiquée depuis environ 2500 ans. Des scories de cuivre ont été trouvées à Wankarani (hautes terres de Bolivie). Le minerai (sulfure de cuivre) provenait probablement de la frontière entre le Chili et la Bolivie, mais aucun artefact datant de cette époque n'a été retrouvé (Ponce, 1970 ; Van Buren & Mills, 2005). Au nord du Chili, dans la vallée de Guatacondo, on a trouvé du cuivre fondu et des feuilles de métal « travaillées » (repoussées) et cela indépendamment de la présence d'un état bien structuré (Graffam, 1996).

Il faut cependant noter qu'un usage plus utilitaire des métaux ne s'est fait sensiblement jour en Amérique du Sud qu'à partir des Incas (tout en conservant le côté prestigieux). Un usage de type « Ancien Monde » aurait peut-être pu se répandre si le bronze naissant n'avait pas été considéré comme un coûteux substitut de la pierre, aussi efficace pour certains usages (Bruhns, 1994).

En Amérique centrale, la métallurgie proprement dite n'est apparue que tardivement, vers l'an 800 de notre ère, dans l'ouest du Mexique. Là aussi, elle a essentiellement produit des objets destinés à l'élite, remarquables par leurs couleurs plus que par leur utilité pratique. Elle a été sans doute le résultat de contacts, d'échanges d'idées et de biens, avec des peuples provenant d'Équateur et de Colombie. Comme je l'ai déjà souligné, le commerce maritime à longue distance avec le monde andin semble avoir été intense, en particulier à partir de 1200-1300 de notre ère et jusqu'à l'arrivée des Espagnols.

Et enfin, le bronze ?

DANS L'ANCIEN MONDE

Connu dès 3000 ans avant notre ère en Anatolie, d'abord par des alliages sans doute involontaires (un peu d'étain, de plomb ou d'autres « impuretés » dans le cuivre), l'intérêt du bronze s'affirme très vite mais il reste cher car les gisements importants du minerai d'étain le plus utilisé (la cassitérite, Sn O_2) sont rares. On l'a d'abord exploité dans le Caucase, en Perse et en Europe centrale. Plus tard, à l'époque romaine, ce sont les gisements d'Espagne et de Grande-Bretagne (îles Cassitérides ou îles Scilly) qui furent exploités.

Actuellement, les principales sources utilisées se trouvent en Malaisie et en Bolivie. La rareté des gisements explique pourquoi bien des objets en bronze de l'Antiquité ont été recyclés et ne sont jamais parvenus à nous.

On grille le minerai pour évacuer les impuretés, puis on procède à une réduction à l'aide de charbon de bois. La fusion de l'étain s'opère sans problème à 232°C mais, comme ce métal est très volatile, il y a des pertes parfois considérables.

Dans l'Ancien Monde, on distingue plusieurs sortes de bronze, en fonction du pourcentage d'étain que l'alliage renferme :

- S'il y a moins de 13 % d'étain en poids, le bronze reste malléable à froid, présente une bonne résistance mécanique et une dureté moyenne.
- Entre 13 et 20%, si l'alliage est refroidi lentement, il devient très dur et convient bien alors pour les armes et les engrenages (Mécanisme d'Anticythère !). Par contre, s'il est refroidi rapidement, on peut plus facilement le travailler. Ensuite, en le réchauffant à 520°C, puis en le refroidissant lentement, on obtient une bonne dureté.
- Un taux pondéral entre 20 et 30 % d'étain dans le bronze diminue la résistance mais confère une belle sonorité à l'alliage, qui est alors utilisé pour la fonte des cloches (airain ou « bronze sonore »), ainsi que des objets d'art.

N.B. : le laiton est un alliage de cuivre rouge et de zinc (au maximum 46 %). Le minerai de zinc utilisé au Moyen Âge était la calamine (oxyde de zinc carbonaté), abondant dans la vallée de la Meuse et le laiton fut la matière première utilisée dans la dinanderie.

DANS LE NOUVEAU MONDE

De même que l'usage du cuivre natif est apparu en Amérique du Nord avant même l'invention de la poterie, notons au passage qu'en Chine, le bronze est apparu assez brusquement vers 1600 avant J.-C. et qu'à ce jour, dans ce pays, on ne connaît que de rares objets en cuivre !

Il convient d'abord de rappeler, avec Cooke & al. (2008), que les analyses métallographiques permettant d'établir les pourcentages des différents métaux entrant dans la composition d'un artefact ont montré que la majorité des artefacts andins sont des alliages et non des métaux purs. Il y a à cela trois raisons (également valables pour l'Ancien Monde !) :

- les riches gisements de cuivre, d'argent et d'or pur ne sont pas très communs ;
- les alliages sont plus durs que les métaux purs (Lechtman, 1996). Par exemple, si la dureté du cuivre pur n'est au maximum que de 135 selon l'échelle de Brinell, celle du cuivre (ou bronze) arsénié peut atteindre 225 ;

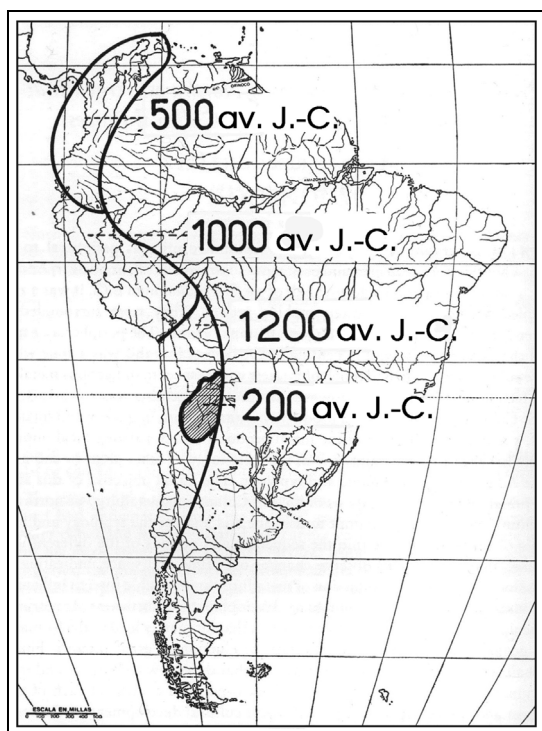
- et enfin la fabrication d'un alliage permettait d'abaisser la température de fusion. Ce dernier point a aussi son importance, car les civilisations précolombiennes ignoraient l'usage du soufflet et le fonctionnement de leurs fourneaux dépendait du vent.

À part le *tumbaga* (alliage de cuivre, d'or et/ou d'argent, dont j'ai déjà parlé), les alliages les plus fréquents étaient le bronze arsénié et le bronze stanneux (avec de l'étain). On a aussi trouvé des alliages triples (cuivre, arsenic et nickel), ainsi qu'avec du bismuth (dans la région du Machu Picchu). Dans les Andes, ces deux types de bronze sont apparus presque simultanément, le premier dans le nord du Pérou et en Équateur, le second dans l'altiplano péruvien et bolivien et dans le nord-ouest de l'Argentine. Ces deux centres métallurgiques se sont-ils développés indépendamment l'un de l'autre ou étaient-ils interconnectés ? Les spécialistes ne sont pas encore d'accord sur ce point mais ils résultent sans doute de différences de ressources locales : cuivre et arsenic au Pérou et en Argentine, cuivre et étain en Bolivie.

Le bronze arsénié était un alliage utilisé aussi dans l'Ancien Monde dans lequel le pourcentage d'arsenic est d'au moins 1 % (sinon, la présence de cet élément est considérée comme accidentelle). En Transcaucasie et sur le plateau iranien, on en retrouve des traces dès le V^e millénaire avant J.-C. et en Bretagne, on a découvert des haches, bien antérieures à l'Âge du bronze proprement dit, dans lesquelles le pourcentage d'arsenic dépassait 4 %. En Amérique, il est apparu dès 200-400 après J.-C. dans le nord-ouest de l'Argentine et son usage s'est maintenu jusqu'à la conquête espagnole. Il était utilisé pour la fabrication d'outils (haches, ciseaux, coins) et d'ustensiles domestiques (aiguilles, alènes, pinces). Deux cents ans plus tard, il fit son apparition au sud du Pérou et y reçut plus ou moins les mêmes utilisations (González, 1979). Un autre site de bronze arsénié est aussi connu de la côte nord du Pérou. C'est celui de Batán Grande, qui remonte à 800 ans après J.-C. (Shimada & al., 1982, 1983). Là, des mineurs des Hautes Terres fournissaient les fondeurs côtiers en arsenic (Lechtman, 1991). Sur ce site, on pratiquait une co-fusion à grande échelle, en mélangeant dans le même fourneau les sulfites et les oxydes (altération naturelle des premiers), évitant ainsi l'émission de fumées d'arsenic toxiques (Lechtman & Klein, 1999). La source de l'arsenic utilisé est encore incertaine : s'agissait-il d'orpiment (As_2S_3) ou de réalgar (AsS), pigments largement utilisés mais dont les gisements étaient absents de la côte nord ou de domeykite (Cu_3As) fondu directement avec du cuivre ? Mais ce minerai est très rare sur la côte et dans les Andes, sauf par endroits. L'arsenic provenait plus vraisemblablement de minerai comme l'énargite ou la tennantite (sulfures d'arsenic et de cuivre qui contiennent environ 45 % de cuivre et 15 % d'arsenic). Les pertes d'arsenic (volatil !) étaient limitées grâce à une « fusion réductrice » et au grillage. La culture chimu (site de Lambayeque) a produit de beaux outils en bronze arsénié (Lechtman, 1979).

Le bronze stanneux, ou parfois un alliage de cuivre, d'arsenic et de nickel, était utilisé dans l'altiplano bolivien dès 600 après J.-C. ; là où se trouvait la « riche ceinture d'étain ». La cassitérite (SnO_2) était en effet incontestablement la source d'étain pour fabriquer ce bronze au sens strict, qui était pratiquement contemporain du bronze arsénié argentin. La cassitérite était soit fondue avec des oxydes et des carbonates de cuivre, soit ajoutée

au cuivre fondu, soit fondue séparément et ajoutée au cuivre en diverses proportions, selon le but recherché. À la base, il s'agit donc d'une simple réduction du minerai d'étain. Dès le milieu du XV^e siècle, les Incas répandirent l'usage domestique du bronze stanneux. Des feuilles d'étain étaient diffusées dans tout l'empire et ce métal était ajouté au bronze arsénié ou au cuivre locaux (Lechtman, 1991). Le pourcentage d'étain variait dans l'alliage en fonction des usages envisagés : les bronzes à 10-15 % d'étain (plus solides) étaient ensuite fondus et coulés dans des moules, tandis que les bronzes à environ 5 % d'étain étaient surtout forgés et martelés. Le bronze, alliage impérial par excellence, a été diffusé dans tout le Tahuantinsuyu, peut-être de la même manière que les Incas ont imposé le quechua comme langue de l'empire, afin d'uniformiser et de standardiser leur immense territoire. Cette époque, parfois appelée « horizon étain », représente le plus haut degré atteint par la métallurgie sud-américaine avant 1532.



Principales divisions des Andes (centre, nord et sud)) avec, pour chacune, la date approximative de la première apparition de la métallurgie du bronze. La zone hachurée correspond à la zone spécialement étudiée par González (1979). (Repris de González, in Benson, 1979)

González (1979) a étudié en détail le développement de la métallurgie dans le nord-ouest de l'Argentine. En dépit de la situation quelque peu marginale de cette région, la métallurgie s'y est développée de manière assez précoce, grâce à la présence de nombreuses mines de cuivre, d'étain, d'or et d'argent et, au début du siècle dernier déjà, les travaux de Nordenskjöld, Rivet et Arsendaux (op. cit.) et d'autres encore plus anciens ont montré que là, le bronze a fait une première apparition dès la période *Condorhuasi* (300 AC à 650 AD). Trois objets ornementaux en cuivre ont révélé la présence d'étain et d'arsenic (taux maximum : 4%). Les autres bijoux de cette époque étaient en or, en argent ou en cuivre, d'abord fondus, puis laminés ou repoussés. À la période suivante (*Ciénaga*), l'utilisation d'alliages de cuivre se développe et les pourcentages d'étain et d'arsenic augmentent (jusqu'à 5-6%), de même que durant la période moyenne (jusqu'en 850 AD). Durant la période tardive, c'est-à-dire jusqu'en 1480 AD (date de la conquête de la région par les Incas), les plaques pectorales, les haches et

les objets utilitaires moulés en bronze stanneux se multiplient (aiguilles, ciseaux, couteaux, herminettes...). Enfin, durant la période impériale et jusqu'à la conquête espagnole, l'usage du bronze se répand dans tout l'empire et même des armes (massues en forme d'étoile) font leur apparition, même si elles restent peu fréquentes. D'une manière générale, la teneur en étain du bronze augmente assez régulièrement (au maximum 4 % au cours de la période *Condorhuasi*, jusqu'à 55 % lors de la période impériale). González (op. cit.) situe l'origine de cette métallurgie sur l'altiplano bolivien, dans la culture *Wan-*

karani (ca 1200 BC), qui avait déjà développé un remarquable travail du cuivre (Ponce, 1970) et celle de Tiahuanaco.

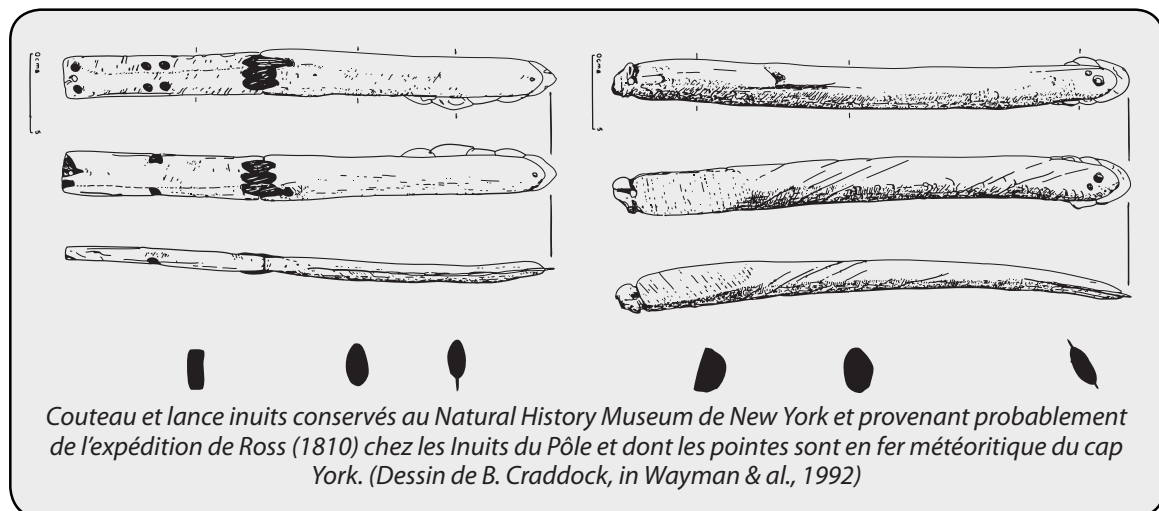
Dans l'ouest du Mexique, des alliages de cuivre ont été utilisés pour certains objets spécifiques (haches-monnaie, autre preuve de contact avec les Andes ?), mais le pourcentage d'étain était parfois si élevé que le bronze ainsi obtenu perdait en partie ses propriétés mécaniques mais gagnait en beauté en prenant la couleur de l'or. Peut-être ces objets étaient-ils importés de la côte péruvienne (Arsandaux & Rivet, 1921) ?

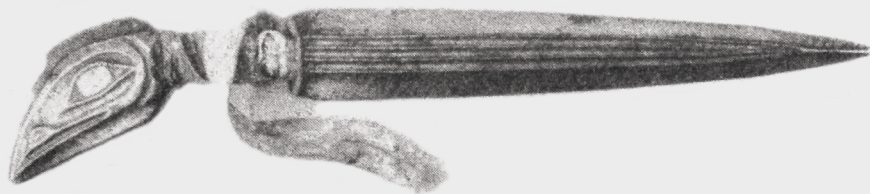
Et pourquoi pas le fer ?

Le fer a une température de fusion très élevée (1535°C). Les premières traces de la maîtrise de sa fonte ont été trouvées en Arménie, chez les Chalybes, vers 1500 avant notre ère. Avant cela, le fer météoritique (« métal du ciel ») avait déjà été utilisé par les Sumériens dès 3500 ans avant J.-C. Puis les Philistins, les Assyriens et les hommes de Hallstatt (avec les fourneaux dits « celtiques ») ont successivement maîtrisé la fonte de ce métal.

Dans le Nouveau Monde, on n'a jamais retrouvé de traces précolombiennes de véritable métallurgie du fer. Mais dès 1608, Champlain signale que les tribus côtières utilisent volontiers le fer amené par les Européens pour confectionner des armes.

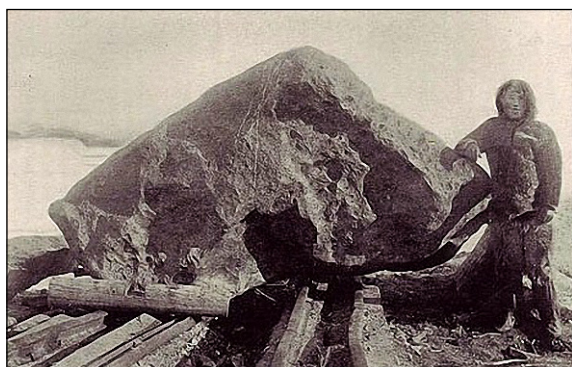
Wayman, King & Craddock (1992) ont étudié et recensé de nombreux artefacts métalliques anciens d'Amérique du Nord, dont certains en fer. Parmi ces derniers, des pointes de lance et de couteau en fer météoritique confectionnées par les Inuits de la baie de Melville et récoltées en 1818 par l'expédition Ross (sans doute le premier contact avec les Européens ?). L'extrême pointe du couteau était cependant en fer non météoritique, ce qui tend à prouver la dispersion rapide des artefacts d'origine européenne et leur récupération ultérieure par les indigènes. Des pointes de harpons inuits en fer fondu ont également été trouvées dans l'Arctique canadien en 1738, prouvant ainsi des contacts avec les Européens dès le XVIII^e siècle (commerce des fourrures, en particulier de loutre de mer).





Dague tlingit, conservée au Museum of Mankind, Dept of Ethnography, British Museum et collectée fin 1876. Cette arme est en acier, probablement forgée à partir de deux aciers différents provenant d'une forge européenne (ou coloniale), mais dont le résultat final est l'œuvre d'un forgeron indigène, comme semblent l'indiquer les analyses en rayons X et métallographiques. (Tiré de Wayman & al., 1992)

Bien avant cela, les Inuits ont utilisé le fer qui composait plusieurs météorites, dont la plus grosse (masse totale d'à peu près 60 tonnes, tombée il y a environ 10 000 ans au cap York, au nord du Groenland) et le fer tellurique de l'île de Disko (dans la baie de Baffin) pour fabriquer des pointes de couteaux et de harpons (n'excédant pas 16 g !) par martelage à froid, objets dont ils faisaient d'ailleurs commerce jusqu'au sud de la baie d'Hudson (Buchwald, 1992). D'après certains, ils seraient entrés en conflit avec les Vikings à propos de cette ressource. Selon d'autres auteurs, la météorite du cap York et le fer tellurique de l'île Disko n'auraient été découverts par les Européens qu'au XIX^e siècle.



Météorites du cap York. (R. Peary Archives / American Museum of Natural History)

En 2016, à la Pointe Rosée (Terre Neuve), on a découvert des traces d'un travail du fer attribuées aux Vikings. En 1652, la famille Leonard (des Gallois de Pontypool) vint s'installer à Taunton (Nouvelle-Angleterre) pour y créer une fonderie qui prospéra pendant plus d'un siècle et les Leonard furent considérés comme les premiers véritables métallurgistes des États-Unis. Mais ils étaient craints plutôt qu'estimés et, en 1740, le fameux prédicateur revivaliste G. Whitefield les soupçonnait d'avoir fait alliance avec le Diable. Quelques critiques pensent que H.P. Lovecraft se serait inspiré de cette famille pour camper certains de ses personnages. Mais ceci est une autre histoire...

Conclusions et synthèse

L'ancienneté de la présence de l'homme sur le continent américain n'en finit pas de reculer et fait toujours débat. Ce problème a encore été récemment évoqué dans cette revue (Dethier, 2015). Le bref historique de la métallurgie précolombienne qui précède montre bien que l'histoire et la préhistoire américaines posent encore beaucoup de questions et met en relief, une fois de plus, l'originalité des civilisations amérindiennes. Si, grosso modo, la séquence de Wertime s'applique également ici, on observe en Amérique de remarquables particularités :

- L'énorme importance prise par le martelage à froid, puis à chaud du cuivre natif dans la région des Grands Lacs et parfois bien au-delà (Cahokia). Cette pratique est apparue en Amérique bien avant celle de la poterie.
- Les alliages de cuivre et de métaux précieux (*tumbaga*), les techniques de dorure et d'argenture par déplétion, ainsi que celles de revêtement par échange électrochimique étaient des domaines parfaitement maîtrisés par les orfèvres des Andes. La fonte des métaux et de certains minerais de cuivre était connue et pratiquée dans des fourneaux (et pas simplement des creusets !) mais ceux-ci dépendaient uniquement du vent pour alimenter le foyer, les Amérindiens n'ayant visiblement pas utilisé le soufflet. Le coulage dans des moules, y compris à la cire perdue, était également pratiqué, tant en Amérique du Sud qu'au Mexique.
- Le bronze, d'abord arsénié puis, presque simultanément (et indépendamment ?), stanneux, a fait son apparition en deux endroits des Andes et, sous la houlette des Incas, s'est largement répandu dans tout l'empire. À la veille de l'arrivée de Pizarre (1532), il était de plus en plus utilisé pour fabriquer des outils et autres objets usuels, mais aussi les premières armes en métal. La conquête espagnole a mis fin à cette évolution.

La métallurgie précolombienne est donc loin d'avoir été aussi primitive que certains le pensent encore. Certes, certaines techniques ont mis ici beaucoup plus de temps à se développer que dans l'Ancien Monde et d'autres n'y sont apparues qu'avec l'arrivée des Européens. À quoi faut-il attribuer ce « retard », ou cette différence ? Peut-être a-t-il fallu attendre l'émergence d'une structure sociopolitique évoluée et stable comme celle des Incas (qui ne furent pourtant et de loin pas les premiers dans la région à avoir développé ce type de société) ? Peut-être la valeur excessive accordée aux métaux précieux a-t-elle constitué un handicap ? Il reste encore bien des questions en suspens.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à réunir la documentation nécessaire à la rédaction et à l'illustration de cet article, en particulier Patrick Ferryn et Roland Raynaud, mais surtout mon ami disparu, Ivan Verheyden, auquel je voudrais dédier ce modeste travail. Je remercie enfin mon ami Jean Godissart pour sa relecture et ses conseils avisés.

Références citées

- Abbott M.B. & Wolfe A.P., 2003 : « Intensive Pre-Incan Metallurgy Recorded by Lake Sediments from the Bolivian Andes ». *Science*, 301 : 1893-5.
- Aldenderfer M., Craig, N.M., Speakman, R.J. & Popelka-Filcoff, R., 2008 : « Four thousand-year-old gold artifacts from the Lake Titicaca basin, southern Peru ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105 (13) : 5002-5.
- Amzallag N., 2009 : « From Metallurgy to Bronze Age Civilizations: The Synthetic Theory ». *American Journal of Archaeology*, 113 : 497-519.
- Arsandaux H. & Rivet P., 1921 : « Contribution à l'étude de la métallurgie mexicaine ». *Journal de la Société des Américanistes*, 13 (2) : 261-280.
- Benson, E.P. (editor), 1979 : « Pre-columbian metallurgy of South America ». *Dumbarton Oaks Research Library and Collections-Trustees for Harvard University, Washington DC*, 207 p.
- Beukens R.P., Pavlish L.A., Hancock R.G.V., Farquhar R.M., Wilson G.C. & Julig P.J., 1992 : « Radiocarbon dating of copper-preserved organics ». *Radiocarbon*, 34 : 890-897.
- Bruhns K.O., 1994 : « Ancient South America ». *Cambridge University Press*.
- Buchwald V.F., 1992 : « On the use of iron by the Eskimos in Greenland ». *Materials Characterization*, 29 (2) : 139-176.
- Chastain M.L., Deymier-Black A.C., Kelly J.E., Brown J.A. & Dunand D.C., 2011 : « Metallurgical analysis of copper artifacts from Cahokia ». *Journal of Archaeological Science*, 38 (7) : 1727-1736.
- Childe V.G., 1957 : « The dawn of European Civilisation ». *Routledge, London*, 6th edition.
- Clément A., 1932 : « Note sur la dureté des haches précolombiennes de l'Equateur et du Mexique ». *Journal de la Société des Américanistes*, 24 (1) : 85-91.
- Clément A., 1935 : « Contribution à l'étude de la métallurgie précolombienne ». *Journal de la Société des Américanistes*, 27 (2) : 417-458.
- Cooke C.A., Abbott M.B. & Wolfe A.P., 2008 : « Metallurgy in Southern South America ». *Encyclopedia of the History of Science, Technology and Medicine in non-western cultures* : 1658-1662.
- Cooper H.K., Duke M.J.M., Simonetti A. & Chen G.C., 2008 : « Trace element and Pb isotope provenance analyses of native copper in Northwestern North America: results of a recent pilot study using INAA, ICR-MS and LA-MC-ICP-MS ». *Journal of archaeological Science*, 35 : 1732-47.
- Dethier M., 1995 : « Cahokia, un géant d'argile ? ». *Kadath*, 85 : 53-58.
- Dethier M., 2015 : « Naïa, le squelette amérindien qu'on attendait ». Éditions Kadath, <http://www.kadath.be/online/store.html>
- Donnan C.B., 1973 : « A Pre-Columbian smelter from Northern Peru ». *Archaeology*, 26 : 289-297.

- Drier R.W. & Du Temple O.J., 1961 : « Prehistoric mining in the Lake Superior region : collection of reference articles ». *Calumet, Michigan & Hinsdale, Illinois* : publication privée.
- Dupas, Cl., 1977 : « Les Olmèques et le magnétisme ». *La Recherche*, 77 (8) : 392-3.
- Evans O.H., 1910 : « A note on the gilded metal-work of Chiriqui, Central America ». *Nature*, 32 : 457.
- Ferryn P., 1978 : « Les Mound Builders d'Amérique du Nord ». *Kadath*, 29 : 18-25.
- Ferryn P., 1992 : « 5000 ans avant notre ère : les hommes rouges de l'Atlantique nord ». *Kadath*, 79 : 4-20.
- González A.R., 1966a : « Les débuts de la métallurgie au Nouveau Monde ». *Archeologia*, 13 : 52-55.
- González A.R., 1966b : « La métallurgie précolombienne dans le nord-ouest argentin ». *Archeologia*, 13 : 56-61.
- González A.R., 1979 : « Pre-columbian Metallurgy of Northwest Argentina: Historical Development and Cultural Process » (in Benson E.P. 1979) : 133-202.
- Graffam G.J., 1996 : « Ancient Metallurgy in the Atacama: Evidence for Copper Smelting During Chile's Early Ceramic Period ». *Latin America Antiquity*, 72 : 101-113.
- Guthrie J.L., 2001 : « Le cuivre des Grands Lacs : toujours manquant ». *Kadath*, 95 : 20-30.
- Hosler D., 1988 : « Ancient West Mexican Metallurgy: South and Central American Origins and West Mexican Transformations ». *American Anthropologist*, 90 (4) : 832-855.
- Hosler D., 1999 : « Recent insights into the metallurgical technologies of ancient Mesoamerica ». *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 51 (5) : 11-14.
- Johnson D., 2009 : « North America's first metal miners and metal artisans ». <http://copperculture.homestead.com/>
- Krupp E.C., 1995 : « Cahokia et son woodhenge américain ». *Kadath*, 85 : 42-52.
- Lechtman H., 1976 : « A metallurgical site survey in the Peruvian Andes ». *Journal of Field Archaeology*, 3 : 1-42.
- Lechtman H., 1979 : « Issues in Andean Metallurgy » in Benson E.P. (1979) : 1-40.
- Lechtman H., 1984 : « Les techniques des orfèvres précolombiens ». *Pour la Science*, 82 : 88-98.
- Lechtman H., 1991 : « The production of copper-arsenic alloys in the Central Andes: highland ores and coastal smelters? ». *Journal of Field Archaeology*, 18 (1) : 43-76.
- Lechtman H., 1996 : « Arsenic bronze: dirty copper or chosen alloy? ». *Journal of field Archaeology*, 23 : 477-514.
- Lechtman H., 2002 : « Tiwanaku Period (Middel Horizon) Bronze Metallurgy in the Lake Titicaca Basin: A Preliminary Assessment ». In A. L. Kolata (ed.) : *Tiwanaku and Its Hinterland: Archaeology and Palaeoecology*. Vol. 2, Washington DC, Smithsonian Institution.

- Lechtman H., Erlij A. & Barry E.J. (Jr), 1982 : « New perspectives on Moche metallurgy: techniques of gilding copper at Loma Negra, Northern Peru ». *American Antiquity*, 47 : 3-30.
- Lechtman H. & Klein S., 1999 : « The production of copper-arsenic alloys (arsenic bronze) by cosmelting: modern experiment, ancient practice ». *Journal of Archaeological Science*, 26 : 497-526.
- Levine M.A., 2007a : « Determining the provenance of native copper artifacts of Northeastern North America: evidence from instrumental neutron activation analysis ». *Journal of Archaeological Science*, 34 (4) : 572-587.
- Levine M.A., 2007b : « Overcoming disciplinary solitude: the archaeology and geology of native copper in Eastern North America ». *Geoarchaeology: An International Journal*, 22 (1) : 49-66.
- Mallery Arlington H., 1951 : « Lost America. The story of civilization prior to Columbus ». *The Overlook Company, Washington DC*.
- Martin S.R., 1995 : « The state of our knowledge about ancient copper mining in Michigan ». *The Michigan Archaeologist*, 41 (2-3) : 119-138.
- Martin S.R., 1999 : « Wonderful Power: the story of ancient copper working in the Lake Superior basin ». *Wayne State University Press*.
- Nordenskjöld E., 1921 : « The copper and bronze ages in South America (with 2 appendixes by A. Hultgren) ». *Comparative Ethnographical Studies*, 4 : VII + 197 p.
- Perlès C., 1982 : « Les rites funéraires du Paléolithique : mythe ou réalité ? ». In « La mort dans la Préhistoire », *Histoire et Archéologie, dossier collectif*, n° 66 : 8-9.
- Ponce Sanginés, C., 1970 : « Las culturas Wankarani y Chiripa y su relacion con Tiwanaku ». *Acad. Nac. de Ciencias de Bolivia*, n° 25.
- Rehren T., 2009-11 : « The Production of Silver in South America ». *Archaeology International*, 13/14 : 1-5.
- Rivet P., 1921a : « Note complémentaire sur la métallurgie sud-américaine ». *Journal de la Société des Américanistes*, 13 (2) : 233-238.
- Rivet P., 1921b : « L'âge du cuivre et l'âge du bronze en Amérique du Sud ». *Journal de la Société des Américanistes*, 13 (2) : 341-344.
- Rivet P. & Arsandaux H., 1946 : « La métallurgie en Amérique précolombienne ». *Trav. & Mém. Inst. Ethnol.*, 39 : 162 p.
- Salazar D., Jackson D., Guendon J.L., Salinas H., Morata D., Figueroa V., Manriquez G. & Castro V., 2011 : « Early evidence (ca 12.000 BP) for iron oxide mining on the Pacific coast of South America ». *Current Anthropology*, 52 (3) : 463-482.
- Shimada I., Epstein S.M. & Craig A.K., 1982 : « Batán Grande: A prehistoric metallurgical center in Peru ». *Science*, 216 : 952-9.
- Shimada I., Epstein S.M. & Craig A.K., 1983 : « The metallurgical process in ancient northern Peru ». *Archaeology*, 36 (5) : 38-45.

- Shimada I., Goldstein D.J., Wagner U. & Bezur A., 2007 : « Pre-hispanic Sicán furnaces and metalworking: toward a holistic understanding ». *Travaux de l'Institut français d'études andines*, 253 : 1-21.
- Shimada I. & Merkel J.F., 1991 : « Copper alloy metallurgy in ancient Peru ». *Scientific American*, 265 : 62-75.
- Van Buren M. & Mills B.H., 2005 : « Huayrachinas and Tocoimbos: traditional smelting technology of the Southern Andes ». *Latin American Antiquity*, 16 (1) : 2-23.
- Vialou D. (ed.), 2011 : « Peuplements et préhistoire en Amériques ». *Editions du Comité des travaux historiques et scientifiques*, Paris, 492 p.
- Wayman M.L., King J.C.H. & Craddock P.T., 1992 : « Aspects of early North American Metallurgy ». *British Museum Occasional Papers*, 79 : 1-144.
- Wertime T., 1967 : « Man's first encounters with metallurgy ». *Science*, 146 : 1257-67.
- Wertime T., 1973 : « The beginning of metallurgy: a new look ». *Science*, 182 : 875-887.



*Illustration de page de titre : rapace découpé dans une plaque de cuivre (30 cm), site de Mound City (Ohio), culture Hopewell (200 avant à 200 après J.-C.).
(Patrick Ferryn / Jean Leroy)*

KADATH ASBL
Avenue Edmond Parmentier 36, Bte 2
B-1150 Bruxelles, Belgique
Éditeur responsable : Patrick Ferryn
Design et mise en page : Jean Leroy