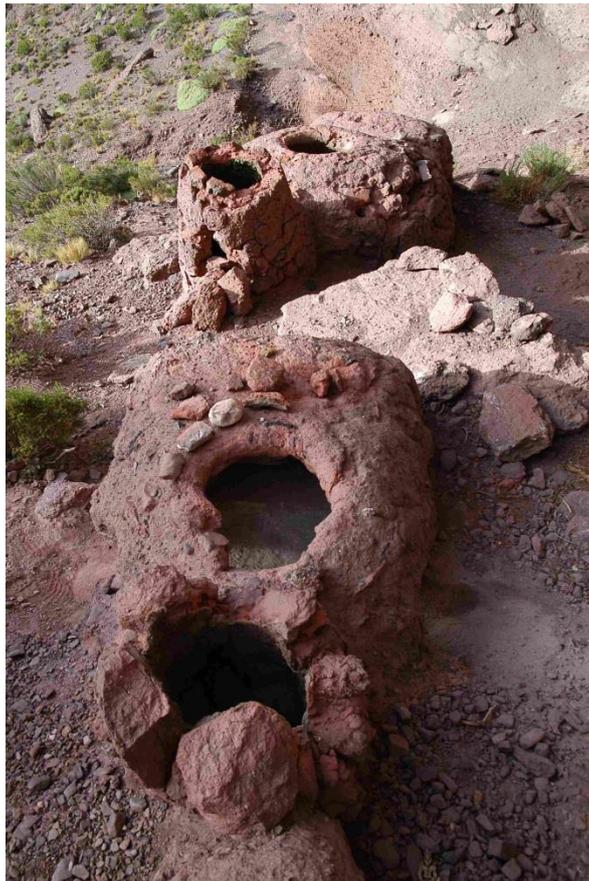


**La métallurgie sud-américaine entre les XIV<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles :  
approches expérimentales des transferts technologiques**



F. Téreygeol (dir.)  
Dossier de candidature au prix Clio 2013

# La métallurgie sud-américaine entre les XIV<sup>e</sup> et le XVII<sup>e</sup> siècle : approches expérimentales des transferts technologiques

## SITUATION

Située au cœur de la cordillère centrale de la Bolivie, la région de Potosí est caractérisée par un paysage qui alterne des sommets dépassant les 5000 m, des vallées d'altitude et des hauts-plateaux (3400-3600 m). Il s'agit d'une région essentiellement minière, dont les principaux gisements ont été exploités au moins dès la première phase de colonisation conduite par les Inka.

Depuis 2002, des missions regroupant des archéologues argentins et français ont été conduites dans le sud de la Bolivie et le nord-est argentin. Elles visaient la mise en lumière des techniques de production de l'argent et de ses alliages entre la conquête inca et l'établissement des espagnols. Ces missions ont permis de réunir un corpus de sites miniers et métallurgiques mettant en avant un syncrétisme technique méconnu.

Afin de dépasser le discours technique et politique que l'on connaît depuis Alonso Barba (1640), il est apparu pleinement justifié de reposer les données disponibles pour comprendre le système opératoire de production de l'argent qui a eu cours sur les hauts plateaux andins depuis l'arrivée des Espagnols jusqu'à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle. Dans cette zone de haute altitude, une chaîne opératoire va se mettre en place devant autant au savoir métallurgique et minier européen qu'indien.



Zone de prospection dans le département de Potosí.

Si les espagnols sont bien conscients des ressources potentiels de ces territoires, il est aussi certain que ce petit groupe d'hommes n'a pas nécessairement les capacités techniques et les savoir-faire pour mener à bien l'exploitation de gisements parmi lesquels se trouve encore le plus important du monde. Cette difficulté des conquistadors à exploiter les ressources minières a déjà été montrée à l'occasion de fouilles réalisées sur l'île d'Isabela (Thibodeau *et al.*, 2007). Si l'on ajoute à cela la déconsidération dont souffrent les arts mineurs (Halleux, 2009), il n'y aura rien d'étonnant à ce que les conquérants européens aient délégué le travail métallurgique à une classe d'indiens disposant des capacités nécessaires pour mener à bien cette tâche. Pour autant, les espagnols n'ont pas laissé le champ totalement libre et ont imposé des choix techniques à chaque étape du processus.

Ce syncrétisme technologique que nous avons clairement établi se met en place entre la découverte des gisements d'argent du nouveau monde comme Potosí (1545), et l'introduction de l'amalgamation en Amérique du sud (1572). Il est révélateur de l'importance politique de la maîtrise du savoir-faire. Comme l'a montré Tandeter, la mise en place de la *mita* est concomitante de l'avènement de l'amalgamation à Potosí et du retour de la maîtrise technique des espagnols sur la phase métallurgique. Avant cela, pendant une trentaine d'années et avec l'assentiment des espagnols, les Inka vont contrôler l'ensemble de la chaîne de production du métal blanc : depuis la mine jusqu'au lingot.

On sait que pour les Inka, les métaux précieux étaient des objets de pouvoir, valorisés en raison de leurs liens avec les divinités et les forces chtoniennes, au point que la recherche de nouveaux gisements fut le moteur de l'expansion méridionale de son empire. Avec l'arrivée des espagnols, s'ajoutait à ce rôle symbolique des métaux une raison purement économique, mais qui était au centre du pouvoir dans le monde occidental. De sorte que la perdurance de la présence des Inka dans la chaîne de production de métaux tendait à garantir le maintien de leur place privilégiée dans les luttes pour le pouvoir qui ont suivi la conquête espagnole.

La mise en place du processus d'amalgamation n'a pas seulement éloigné les Inka de cet espace productif et économique, il a signé le démantèlement définitif de sa force politique. Ce scénario s'est déroulé, précisément, dans le district de Potosí.

Ce sont bien des systèmes techniques mixtes auxquels nous avons été confrontés lors de nos prospections. Afin de les apprécier dans un premier temps dans leur dimension opérationnelle, une approche expérimentale de la matière est incontournable. Nous avons ainsi organisé des séries d'expérimentations archéologiques en France. Elles nous assurent un savoir-faire mais restent insatisfaisantes car devant être conduites sur les zones mêmes où ces fours ont été actifs. Deux structures de fonte des minerais ont été testées à partir des données archéologiques et archivistiques : la *buyarachina* et le four à réverbère.

## LES STRUCTURES METALLURGIQUES

La *buyarachina* a fait l'objet de nombreuses descriptions que l'on retrouve dans les sources écrites depuis le XVI<sup>e</sup> siècle. Elle se présente comme une colonne de taille moyenne (1 m). Des orifices de ventilation sont percés sur tout le pourtour du fût donnant à cet appareil sa spécificité. Il n'y a guère qu'à Porco et Potosí que des fouilles de ce type de structures aient eu lieu. C'est donc à l'aide de nos données archéologiques issues de ces deux sites qu'il est possible d'approfondir la question de la mise en œuvre et du fonctionnement de ces réacteurs.

Le percement des trous autorise une ventilation naturelle mais limite drastiquement le tirage. A la différence des fours en colonne occidentaux, la circulation des gaz doit se penser sur un plan horizontal, chaque ouverture devant une zone où la réduction du minerai peut se dérouler. Il n'y

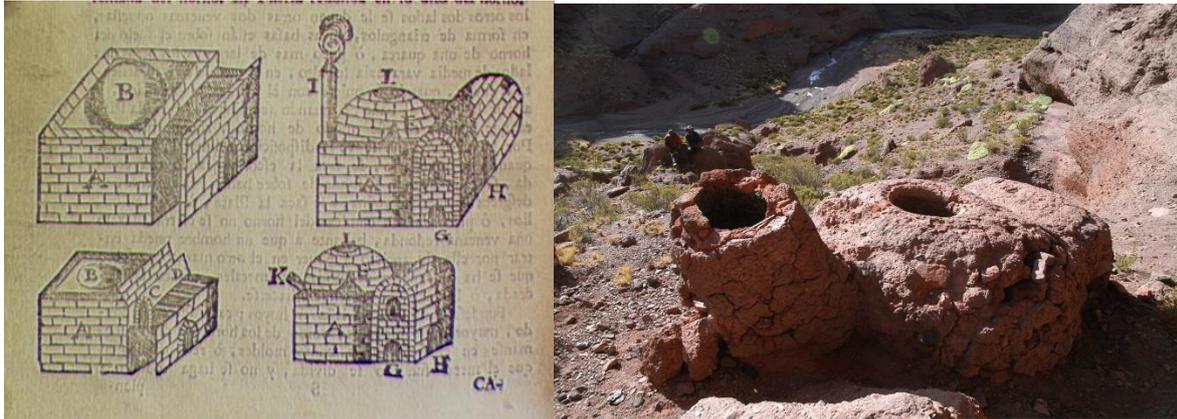
a pas d'équivalent européen à cette technique de réduction des minerais, quelle que soit la période considérée. Les vestiges archéologiques que nous avons retrouvés sur la mine d'argent de Porco (40 km au sud de Potosí) ont permis de restituer la hauteur moyenne de la structure. En revanche, cette dimension ne semble pas une donnée fixe ce qui s'accorde bien avec le fonctionnement horizontal de l'appareil : quelque soit le nombre d'ouvertures, et donc la hauteur du fût, la réaction se produit de façon autonome face à chaque bouche avec une accumulation du métal à la base de la structure dans tous les cas. Nous sommes face à une structure modulable qui s'adapte en fonction des quantités de combustible et de minerai disponibles.



Huyarachina expérimentales (Melle) et un fragment de paroi archéologique (Porco)

S'il est évident pour des raisons architecturales que la *buyarachina* est bien une structure métallurgique de conception indienne, le cas des fours à réverbère tels qu'ils sont présentés dans *el Arte de los Metales*, et tels qu'il nous a été donné de les voir sur le terrain, pose question. Cette technologie n'apparaîtrait pour la première fois en Angleterre qu'en 1678 (Tylecote, 1992). Dans l'acception moderne qui nous intéresse, elle repose sur la séparation de la chambre de combustion d'avec la chambre de travail. Or le four représenté dans le livre de Barba (livre IV, chap. V) est bien un four à réverbère dans le plein sens du terme. Nous sommes en 1640 au moment de l'édition de son livre et Barba relate des faits datant de 1626 lorsqu'il était en charge de sa paroisse dans le Lipez (extrême sud de la Bolivie).

Dans le genre propre des traités métallurgiques, il faut bien noter que Barba semble le premier à représenter ce mode de fonte des minerais. Lorsqu'il écrit, le vocabulaire est déjà formé : « En las provincias de los Chichas, y Lipes, donde se han exercitado mas las fundiciones, desde su principio solo usan de los fuelles para refinar la plata, porque siempre funden en hornos de reververacion » (Livre IV, chap. VIII). Pour autant, il reste assez obscur quant à l'origine de cette technologie qui semble apparaître entre la seconde moitié du XVI<sup>e</sup> siècle et le premier quart du XVII<sup>e</sup> siècle.



Représentation des fours à réverbère (Barba, 1640, livre Iv, chap ; V)  
et exemplaire archéologique de la mine de Santa Isabel (Bolivie)

Sommes-nous face à un transfert technologique des métallurgies coloniales de l'Amérique du Sud vers la vieille Europe comme ce fût le cas lors du remplacement des fours de *xabecas* par ceux de *Buitrones* introduits en 1646 à Almaden ? (Memoirs of the royal mines of Almaden, 1783, Tascon I. G., Perez J. F. (ed.), Espagne, 1990) Ou, plus surprenant, y a-t-il eu une adaptation d'une technologie indienne de fonte au four à réverbère ? Les données récemment acquises sur la fouille de l'atelier métallurgique de Pulacayo (district de Potosí) pourraient bien indiquer une maîtrise insoupçonnée de la fonte par réverbération (Cruz, 2010). Rappelons enfin que "...*Poco o nada se ha usado hasta nuestros tiempos, entre los que han tratado de metales, el fundirlos en hornos de reverberación, y aunque antes de ahora se tuvo noticia de ellos, no fue con la perfección que hoy se usan, ni para este efecto, sino para refinar solamente...*" (Barba, livre IV, Chap. XV). On voit par là même qu'aux yeux de Barba, le four à réverbère reste une nouveauté qu'il soit d'origine européenne, où qu'il prenne ses racines dans les pratiques métallurgiques indiennes.

#### LES EXPERIMENTATIONS EN FRANCE : LES LIMITES DE L'EXERCICE

Disposant d'une plate-forme expérimentale (Melle, 79) et pratiquant l'expérimentation paléométallurgique depuis une vingtaine d'années (Téreygeol, 2012), nous avons édifié à partir de nos données de prospection en Bolivie, les deux types de four décrits ci-dessus : la *huyarachina* et le four à réverbère. Dans les deux cas, ils servent à la fusion des minerais. Sur ces structures en terre assez particulière nous avons acquis un savoir-faire pour ce qui touche l'édification. Nous avons également pu comprendre la notion de four mobile évoquée dans plusieurs documents espagnols. Pour autant, la mise en œuvre de ces fours n'est pas satisfaisante pour deux raisons essentielles : le vent et l'altitude. Ces fours ont été réalisés pour être opérationnels à des altitudes comprises entre 3000 et 5000 m. Leur restitution sur la plate-forme expérimentale de Melle (Poitou-Charentes) à 105 m d'altitude induit inévitablement une trop grande présence d'air (+ 20 %). De plus, dans le cas des *huyarachina*, les conditions climatiques du Poitou ne restituent jamais les vents violents et continus auxquels étaient soumis les fours. Fonctionnant en ventilation naturelle, les *huyarachina* étaient placées sur les crêtes des collines où les vitesses maximales du vent sont atteintes (vers 70 km/h, équivalent force 8). Aucune soufflerie ne peut remplacer ce vent naturel.



Tentative de ventilation électrique pour simuler les vents andins.

## LE PROJET

Comprendre les savoir-faire passe nécessairement par l'expérience. Celle-ci peut être uniquement basée sur une construction mentale. Mais une autre voie est possible, celle qui consiste à inscrire dans le réel les données et les déductions acquises à partir du terrain. L'expérimentation se pose en archéologie des métaux comme une voie royale pour proposer les schémas techniques permettant d'aboutir sinon à un objet du moins à du métal (Téreygeol, 2012). C'est également une voie riche en écueils qui nécessite un réel apprentissage des gestes alors même que seuls sont encore disponibles les vestiges et les déchets des activités étudiées.

Le projet consistera dans la compréhension du fonctionnement à haute altitude de ces deux structures métallurgiques. Il s'agira de reconstruire sur les sites archéologiques du nord-est argentins de la province de Jujuy étudiés par nos collègues, les structures métallurgiques qui y ont été découvertes. Ils s'y trouvent aussi bien des fours à réverbère que des *buyarachina*. Si l'approche qualitative est un objectif qui a été atteint souvent, et légitimement, les expérimentations ont parfois été employées pour répondre aux questions quantitatives tant pour ce qui touche à la production elle-même, qu'aux matériaux nécessaires pour y parvenir (minerais et combustibles principalement), ainsi qu'aux déchets formés. Ce « bilan matière » ne peut être pas recherché avant d'avoir une maîtrise suffisante de l'objet étudié.

Sur place, nous bénéficierons des mêmes conditions climatiques et atmosphériques. Nous aurons également accès aux matières premières, argile des fours et minerais, utilisés localement. Obtenir les mêmes conditions thermodynamiques tout en utilisant les minerais auxquels étaient confrontés les anciens métallurgistes est fondamental pour la bonne compréhension des procédés. Jusqu'à présent, nous avons été contraints d'utiliser de la galène provenant du Maroc. A proximité des gisements, nous aurons un accès aisé aux minerais argentifères encore exploités. Nous serons donc à même de recréer les mêmes déchets. Leur étude en laboratoire se posera comme un référentiel puisque nous connaissons l'origine et les conditions de formation des objets.

En plus de la donnée proprement archéologique, et au regard des périodes considérées, le recours au texte ne sera pas négligé. Le souhait d'un passage par l'expérimentation pour éclairer et comprendre des textes issus du corpus technique comme le traité de Barba (1640) n'est pas nouveau. Il nous a été réclamé de vive voix par Robert Halleux qui suivait en cela son désir déjà exprimé en 1974 (Halleux R., 1974, p.102). Expérimenter à partir du texte implique nécessairement un recours à une interdisciplinarité bien comprise. Cette pratique consistant à aller chercher dans d'autres disciplines les réponses que l'on ne peut trouver dans la sienne est

sûrement, plus qu'ailleurs, un des apanages de l'archéologie minière et métallurgique. C'est tout le débat entre science et technique qui apparaît ici.

Enfin dans le cadre de la collaboration entretenue de longue date avec nos collègues argentins, une formation à l'approche expérimentale, déjà entamée à Melle, sera poursuivie pour permettre un développement logique de cette méthode avec les équipes de chercheurs du CONICET et de l'université de Tucuman.



Première expérimentation sur un four à réverbère : coulées de plomb et de scories (Melle)

### Antécédents de collaboration

2002 - 2003 Florian Téreygeol et Pablo Cruz sont envoyés à Potosí par l'Unesco pour évaluer l'état d'avancement et le projet muséographique du futur musée de la mine "Diego Huallpa" financé par la BID sous l'égide de l'Unesco et des Préfecture et Mairie de Potosí . La mission officielle se prolonge par un séjour d'un mois que l'équipe consacre à la prospection du site, à la révision bibliographique et à la rencontre avec les historiens locaux dans le but d'avancer le projet.

De 2004 à 2010 des missions sur fonds propres sont conduites tant à Potosí qu'à Tholapampa, Pulcayo et Uyuni, ainsi qu'à Jujuy (Argentine)

2009-2011, Programme ECOS-MINCYT franco-argentin, Gestion des ressources et production du métal dans les hauts plateaux des Andes du sud. Cette mission a permis, entre autres, d'étudier les fours à réverbère de la mine de Santa Isabel (XVIIe s.).

2009-à aujourd'hui

L'équipe argentine a intégré le Programme Collectif de Recherche « paléoméallurgie et expérimentations » conduit à Melle sous la direction de F. Téreygeol permettant les premiers essais sur les fours *huayrachina* et sur les fours de réduction à réverbère.

Demande en cours :

2014-2016 « Nouveaux outils pour l'archéologie minière et métallurgique : applications à la Puña et aux vallées de de Jujuy (Argentine) », ECOS-MINCYT.

### Composition de l'équipe

Florian Téreygeol, Chargé de recherche au CNRS, UMR 5060 IRAMAT – LMC, Belfort.

Jean-Charles Méaudre, assistant ingénieur CNRS, UMR 5060 IRAMAT – LMC, Belfort.

Nicolas Florsch, Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire UMMISCO, Paris

Ivan Guillot, Professeur à l'Université Paris-Est Créteil, ICMPE, Thiais

Pablo Cruz, Chercheur CONICET, Instituto Nacional de Anthropologia, Buenos Aires, Argentine

Carlos Angiorama, Chercheur CONICET, Instituto Superior de Estudios Sociales - Universidad Nacional de Tucumán, Argentine

### Eléments bibliographiques

FLORSCH (N.), TÉREYGEOL (F.), CRUZ (P.), A question of ore dressing: physics of the *quimbaleta*, in Journal of Archaeological Science, Submitted.

CRUZ (P.), NIELSEN (A.), TÉREYGEOL (F.), DEROIN (J.-P.), GUILLOT (I.), La pacificación del mineral, Cerro López, un enclave minero en la contienda sobre el Nuevo Mundo, VESTÍGIOS – Revista Latino-Americana de Arqueología Histórica, Vol. 6, n°1, 2012, p. 11-44, ISSN 1981-5875

TÉREYGEOL (F.) (dir), Comprendre les savoir-faire métallurgiques antiques et médiévaux, ed. Errance, 2012, 246 p.

TÉREYGEOL (F.), CRUZ (P.), Die Silberberwerke von Potosí : Das wichtigste Technologiezentrum Südamerikas aus der Sicht der Autoren der Inka und der Spanier, Der Anschnitt, 64, 2012, p. 93-108.

BECERRA (M.F.), GAUTHIER (J.), ANGIORAMA (C.), TEREYGEOL (F.), GUILLOT (I.), NIEVA (N.), Grillage réaction de la galène au four à réverbère dans le Nord-Ouest Argentin : comparaison expérimentation – archéologie. Ponencia presentada en GMPCA – Archéométrie, Liège, 2011.

TÉREYGEOL (F.), CRUZ (P.), Huayrachina – Ein Schmelzofen für nicht eisenhaltige Melallerze aus den Anden, in Slotta R., Schnepel I., Schätze der Anden, chiles kupfer für die welt, catalogue d'exposition, Bochum, 2011, p. 265-268.

TÉREYGEOL (F.), CASTRO (C.), La metalurgia prehispanica de la plata en Potosí , in CRUZ P. et VACHER J.-A. (eds), Minería et Metalurgia en los Andes del sud desde tiempos prehispanicos al siglo XVII, 2008, p. 11-28.

CRUZ (P.), TÉREYGEOL (F.), Huayras y silencios. Estrategias de poder y supervivencia en torno al Cerro Rico de Potosí (Bolivia), siglo XVI, in XVI Congreso Nacional de Arqueología argentina, Jujuy, 2007, p. 575-579.

GUIRADO (M.-P.), TÉREYGEOL (F.), CRUZ (P.), Las copelas de Pulacayo : aproximaciones arqueométricas sobre las técnicas de ensayo de minerales de plata, in XVI Congreso Nacional de Arqueología Argentina, Jujuy, 2007, p. 593-599.

ABSI (P.), TÉREYGEOL (F.), CRUZ (P.), "La montagne d'argent. L'histoire sociale et technologique de Potosí au travers des données archéologiques", Lazos 6, Université de Paris X éd., 2003, pp.65-67.

