

KOBIE SERIE ANEJO, nº 13: 125-138
Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia
Bilbao - 2014
ISSN 0214-7971
Web <http://www.bizkaia.eus/kobie>

AUX ORIGINES DE LA SIDERURGIE TARBELLE

The origins of tarbelle metallurgy

Argitxu Beyrie¹

Palabras clave: Antigüedad. Arqueología experimental. Hierro. Mina. Paleometalurgia.

Gako-hitzak: Antzinaro. Arkeologia esperimentala. Burdina. Meategi. Paleometalurgia.

Mots clés: Antiquité. Archéologie expérimentale. Fer. Mine. Paléoméallurgie.

RESUMEN

En el valle de la Nive (Baje Navarra), los testimonios de un importante yacimiento siderúrgico fueron encontrados en el macizo de Larla (Saint-Martin-d'Arrossa). La producción de hierro ha crecido, desde el siglo III aC hasta el siglo III dC, alrededor de una vena grande de siderita. Las minas antiguas, en superficie y también subterráneas, los testimonios de cincuenta y tres talleres de reducción se descubrieron en el macizo de Larla. Excavaciones arqueológicas se realizaron en trece talleres y ahora las investigaciones se dirigen hacia la arqueología experimental.

LABURPENA

Errobi ibaiaren bailaran (Nafarroa Beherea), burdin hobi garrantzitsu baten aztarnak aurkitu zituzten Larla mendigunean (Arrosa). K.a. III. mendetik K.o. III. mendera arte, burdinaren ekoizpena siderita zain handien inguruan hazi zen. Lur gaineko nahiz azpiko meatze zaharrak eta berrogeita hamahiru urtze lantegiren aztarnak aurkitu zituzten Larla mendigunean. Indusketa arkeologikoak egin zituzten hamahiru lantegitan, eta gaur egungo ikerketak arkeologia esperimentalera bideratuta daude.

RESUMÉ

Dans la vallée de la Nive en Basse-Navarre, les vestiges d'un imposant site sidérurgique ont été étudiés sur le massif de Larla à Saint-Martin-d'Arrossa. Le centre de production ancien, en activité depuis le second Âge du Fer jusqu'à la fin du Haut-Empire, s'est développé autour d'une puissante minéralisation de sidérite. Les travaux miniers antiques superficiels et souterrains ainsi que les vestiges de cinquante-trois ateliers de réduction de minerai de fer ont été recensés sur le massif de Larla et étudiés. Treize ateliers sidérurgiques ont fait l'objet de fouilles archéologiques tandis que la recherche s'oriente aujourd'hui vers une phase de métallurgie expérimentale.

1 IKER Archéologie, 64780 Saint-Martin-d'Arrossa / TRACES (France). argitxu.beyrie@iker-archeologie.com

1. DIX ANNÉES DE FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES.

Le centre sidérurgique ancien installé sur les flancs du massif de Larla (Saint-Martin-d'Arrossa et Saint-Etienne-de-Baïgorry) est sans aucun doute le plus imposant des centres de production de fer antique découvert au Pays Basque nord et même au-delà, dans la moitié occidentale de la chaîne des Pyrénées. C'est aussi le site qui, à ce jour, a fait l'objet de l'étude archéologique la plus approfondie. Démarrée en 1999 dans le cadre d'une thèse de doctorat (Beyrie 2003), l'étude archéologique du site de Larla s'est poursuivie jusqu'en 2008, sous la direction de A. Beyrie et E. Kammenthaler².

Des prospections pédestres systématiques ont été menées sur la montagne Larla et se sont soldées par la découverte d'une cinquantaine d'ateliers de métallurgie associée à de nombreux ouvrages miniers.

Des sondages archéologiques pour datation ont été entrepris sur onze ateliers métallurgiques et la chronologie d'un quart des vestiges de l'activité a pu être déterminée.

Des prospections géophysiques ont été réalisées sur quatre ateliers de production. Les vestiges de neuf bas fourneaux de réduction antiques ont été découverts et fouillés.

Dans le domaine de l'archéologie minière, un travail d'exploration et de topographie a été conduit sur les vestiges miniers du filon d'Ustelegi. Un plan général des mines de Larla a été établi tandis que plusieurs chantiers souterrains ont fait l'objet de fouilles, notamment la grande mine romaine de Pikasari.

Comme un complément indispensable aux travaux de fouille accomplis, depuis 2007 la recherche s'est orientée vers une approche expérimentale de la métallurgie du fer. Cet axe de recherche archéométrique doit permettre d'estimer la quantité de fer produite sur le site de Larla, d'évaluer la quantité de matières premières utiles à cette production et enfin de restituer le mode de fonctionnement des bas fourneaux de type Larla. Une plate-forme vouée à la métallurgie expérimentale a été construite à Saint-Martin-d'Arrossa à ces fins. Deux bas fourneaux y ont été édifiés sur le modèle des fours antiques et chaque année plusieurs tentatives de réduction de minerai de fer y sont menées.

2. MILIEU GÉOLOGIQUE, MINÉRALISATION ET HISTOIRE DE L'EXPLOITATION MINIÈRE.

La montagne de Larla se situe au débouché de la vallée des Aldudes à 7 km au nord de Saint-Etienne-de-Baïgorry. Culminant à 700 m, elle domine directement la vallée de la Nive et le bassin d'Ossès, une dépression triasique limitée par des failles et comblée par des alluvions quaternaires. L'éminence s'étire sur plus de 4 km de longueur, sa ligne de crête suivant un axe nord-nord-est/sud-sud-ouest. La partie méridionale offre un relief doux, et peu à peu, vers le nord, l'arête prend de la hauteur pour devenir un crêt. Le versant oriental, peu pentu, domine le village de Saint-Martin-d'Arrossa, tandis que les pentes plus abruptes du revers occidental, surplombent Urdo et Bastida, deux quartiers de Saint-Etienne-de-Baïgorry. Les parties sommitales de la montagne sont couvertes de landes herbeuses à fougères aigles et ajoncs d'Europe, des lambeaux de chênaie et de châtaigneraie subsistant dans les talwegs sur les versants. Le couvert forestier est en revanche beaucoup plus étendu dans la partie méridionale du massif, sur le flanc oriental notamment.

Le district minier et métallurgique antique couvre 650 hectares, s'étendant du nord au sud depuis les crêtes de Pikasari jusqu'au lieu de Pelenia, et d'ouest en est, depuis le ravin de Larraburu jusqu'au village de Saint-Martin-d'Arrossa. (fig. 1)

La zone minéralisée du massif de Larla consiste en plusieurs filons : un filon principal, le filon d'Ustelegi, et plusieurs filons secondaires, dits de Saint-Martin-d'Arrossa. Le filon d'Ustelegi est un remplissage bréchique encaissé dans des terrains secondaires, plus précisément dans des grès roses du Permo-Trias, une roche dont la dureté assure une certaine solidité et une bonne conservation aux ouvrages miniers. Subvertical et d'une puissance variant de 0,10 à 15 m, il s'étend sur 3 km de longueur selon une direction Nord 25°. Le champ filonien se développe sur les deux versants de Larla, depuis le ravin de Larraburu au sud-ouest, jusqu'à Pikasari au nord-est. La minéralisation comprend de la sidérite (majoritaire), du quartz et de la chalcopryrite en traces, tandis que la zone exposée à la surface et les épontes du filon sont très riches en goëthite. (fig. 2)

Les filons secondaires se développent dans des terrains paléozoïques, des schistes et des quartzites de l'Ordovicien du flanc oriental de Larla, de 444 m d'altitude jusqu'aux derniers escarpements du massif en bordure de la Nive. Ces minéralisations sont principalement composées de sidérite, de quartz, accompagnés de chalcopryrite, auxquels s'ajoutent des traces de galène, de blende et de stibine.

2 Les rapports de fouille établis entre 1999 et 2008 par A. Beyrie et E. Kammenthaler sont consultables au Service Régional de l'Archéologie d'Aquitaine à Bordeaux.

Convoitée dès le second Âge du Fer, la puissante minéralisation d'Ustelegi fut activement exploitée à l'Epoque Moderne et à l'Epoque Contemporaine. Aux ouvrages miniers qui alimentèrent les ateliers métallurgiques protohistoriques et antiques installés aux abords des filons, à flanc de montagne, succédèrent d'imposants travaux miniers qui nourrirent tour à tour divers établissements métallurgiques médiévaux et modernes établis dans le bassin d'Ossès et dans la vallée des Aldudes, à Saint-Etienne-de-Baïgorry d'abord, puis à Banca (Palassou 1784, Dietrich 1786). (fig. 3)

Lorsque vers le milieu du XIX^e siècle l'activité métallurgique cessa localement, l'exploitation de la sidérite d'Ustelegi se prolongea; entre 1895 et 1914, 250.000 tonnes de minerai furent extraites et expédiées par voie ferroviaire (Vié 1980: 438-439).

L'activité des mines d'Ustelegi, ou plus justement des mines de Larla³, s'inscrit donc dans la durée. Les ouvrages miniers réalisés sur plusieurs siècles ont profondément modifié le paysage, halles de travaux souterrains et chantiers à ciel ouvert marquant encore les flancs et la croupe du massif. L'impact de l'activité sur le couvert végétal est tout aussi sensible. Les divers traitements auxquels était soumis le minerai à la sortie de la mine contribuèrent en effet à la déforestation du massif. L'alimentation des bas fourneaux antiques en charbon de bois amorça un processus de déboisement dès les premiers siècles de notre ère, tandis qu'à l'Epoque Moderne, l'exploitation forestière se poursuivit, le grillage de la sidérite requérant d'importantes quantités de bois. Dès le premier quart du XIX^e siècle les réserves forestières de Larla étaient épuisées⁴.

3. LES MINES ANCIENNES.

A ce stade des recherches, les vestiges des principales mines qui alimentaient les ateliers de métallurgie antiques ont été reconnus. Il est établi que les mines anciennes étaient réparties sur le filon principal d'Ustelegi ainsi que sur les minéralisations secondaires qui sillonnent le versant oriental de Larla.

A l'affleurement du filon d'Ustelegi, sur la quasi-totalité de sa longueur, de nombreuses tranchées d'exploitation ont été ouvertes en suivant la minéralisation principalement composée de goëthite. Ces tranchées présentent des limites très marquées et abruptes laissant apparaître les épontes du filon. (fig. 4)

Parmi les sites extractifs antiques, la mine de Pikasari, à l'extrémité nord du filon d'Ustelegi, constitue sans doute l'ensemble le plus remarquable. Il s'agit d'une grande mine souterraine qui se présente comme un vaste et unique chantier vertical de 125 m de long, de 15 à 30 m de haut et de 1 à 3 m de large, sur 65 m de dénivelé (fig. 5). Il a été ouvert au mur du filon, branche principale du filon d'Ustelegi en cet endroit. Un petit chantier a également permis d'exploiter la branche du toit sur 35 m de long et moins de 15 m de haut. Alors que le chantier du mur est large et spacieux, le chantier du toit est tortueux et strictement limité aux zones minéralisées, rendant certains passages très étroits et difficilement praticables (larg. < 0,4 m).

Le chantier principal est limité au sud par un rejet au-delà duquel la minéralisation s'appauvrit. Au nord, l'exploitation s'ouvre au jour. En dehors d'une jonction avec les travaux modernes⁵, le seul accès aux travaux souterrains était situé à la base de la grande tranchée creusée à l'affleurement du filon.

Dans l'ensemble de l'exploitation, la minéralisation se présente sous la forme de plaques de goëthite séparées par de petits blocs de grès. La sidérite, rare, n'a constitué qu'une petite partie des produits extraits.

L'exploitation y fut menée par gradins droits. Les stériles d'abattage pouvaient être stockés au-dessus des fronts d'avancement sur des boisages. Ces derniers ayant pourri, les stériles effondrés masquent la base du chantier. Malgré l'ampleur de l'excavation, les mineurs n'ont abandonné que de rares piliers de soutènement : aujourd'hui, 3 150 m³ excavés sont toujours accessibles et seulement en quelques endroits, les épontes se sont effondrées. (fig. 6)

Au niveau des techniques d'abattage utilisées, l'ensemble du chantier a été creusé à l'aide d'outils manuels : pointerolles, pics et coins.

Les vestiges concernant le transport, l'exhaure ou l'aération n'ont pas été reconnus. Ces informations sont certainement masquées par les stériles qui recouvrent les derniers niveaux d'exploitation.

D'un point de vue chronologique enfin, la datation de charbons de bois découverts dans deux sondages pratiqués dans le chantier principal et dans le chantier du toit permet d'attribuer la réalisation de ce vaste ouvrage souterrain à la période gallo-romaine, entre 130 et 340 ap. J.-C.⁶

3 Le nom de « mine d'Ustelegi », utilisé à partir du XVIII^e siècle, désigne les travaux réalisés sur le filon de sidérite principal, celui de « mines de Larla » désigne plus globalement les ouvrages effectués sur l'ensemble des minéralisations du massif.

4 Au XIX^e siècle, la carence en bois contraignit les exploitants à alimenter les fours de grillage établis sur Larla avec de la bruyère. Le minerai fut par la suite acheminé cru jusqu'à l'usine sidérurgique de Banca.

5 Démarré en 1895, un travers-bancs X7 a été ouvert à Pikasari à la cote 345 afin d'aller rejoindre le filon sous les anciens travaux. La minéralisation a été trouvée à 160 m du jour et plusieurs puits montants ont été percés jusqu'à atteindre la base des anciens travaux, 40 m au-dessus de X7.

6 1810±60 BP. Âge calibré : 70 à 380 ap. J.-C. (Beta – 225449); 1790±40 BP. Âge calibré : 130 à 340 ap. J.-C. (Beta – 225450).

4. LES ATELIERS MÉTALLURGIQUES.

4.1. La chronologie de l'activité.

Depuis le début des investigations archéologiques, des sondages archéologiques et des fouilles ont été réalisés sur treize des cinquante-quatre ateliers métallurgiques recensés, l'objectif principal de ces opérations visant à définir la chronologie de la production métallique du massif de Larla. Onze des treize ferriers sondés ont pu être datés par l'analyse au radiocarbone de fragments de charbon de bois contenus dans les ferriers. Les résultats de ces analyses révèlent une longue séquence chronologique, comprise entre le I^{er} siècle av. J.-C. et le début du I^{er} siècle ap. J.-C., dans laquelle s'insère l'activité métallurgique. (fig. 7)

Les opérations archéologiques menées sur les ateliers Harotzainekoborda, Larla 1 et Oheta 1 ont en outre livré du mobilier céramique. Les quelques cent quatre-vingt-quatorze tessons exhumés constituent un ensemble homogène caractéristique des productions du I^{er} et du II^e siècle de notre ère. Il s'agit de céramiques communes non-tournées (pots de cuisson et récipients de stockage) largement répandues sur toute la zone de culture aquitaine à partir de la moitié du I^{er} siècle ap. J.-C. et vraisemblablement antérieures à l'époque de Trajan (Réchin 1994)⁷. Aucun tesson d'amphore, de céramique tournée ou de céramique fine n'était associé à ce mobilier.

4.2. Les déchets métallurgiques produits.

Les opérations archéologiques menées sur les sites métallurgiques permettent de définir la composition des ferriers (fig. 8). Il apparaît que la majeure partie des rebus est constituée de scories lourdes (écoulées ou internes). Outre celles-ci, les ferriers ont livré une certaine quantité de débris de four (fragments de parois argileuses), ainsi que du charbon de bois et du minerai. Ce dernier se présente sous la forme de petits blocs centimétriques de gœthite et d'hématite, les uns provenant de l'exploitation du chapeau de fer et des épontes des filons de Larla, les autres de travaux menés sur les minéralisations de sidérite⁸.

Les scories lourdes sont de deux types : des scories écoulées, évacuées hors de la cuve du four, pendant les opérations de réduction, des scories de fond de four, ou scories internes, piégées au fond de la cuve jusqu'au défournement.

Les premières, largement majoritaires, se présentent sous la forme de plaques de coulées de couleur gris foncé. Parmi les plus imposantes (long. 30 cm), certaines ont fossilisé la forme du goulot par lequel elles étaient évacuées à l'avant du four. Les scories internes, beaucoup moins représentées, offrent des dimensions modestes (5 à 10 cm), des formes plus ou moins sphériques et une surface entièrement couverte d'oxydes de fer.

Le déséquilibre quantitatif de ces deux éléments au sein des ferriers, trahit la volonté des métallurgistes à évacuer la scorie hors des fours de réduction en cours d'opération. Cette pratique, l'utilisation de fours avec évacuation de la scorie (*slag-tapping*), qui permet de libérer de l'espace à l'intérieur de cuve, autorise une charge supplémentaire en minerai et par conséquent une production de fer plus importante (Fabre *et al.* 2001 : 128-130).

Les fragments de paroi de four contenus dans les ferriers témoignent des réfections successives des bas fourneaux. Le défournement des éponges de fer nécessitant la destruction de la face antérieure des fours, une partie de ces derniers devait être reconstruite entre chaque opération de réduction, tandis que la cuve faisait l'objet de réparations. Les nombreux fragments de paroi, évacués dans les zones dépotoir qui jouxtent les ateliers, proviennent donc soit des portes des bas fourneaux, soit des parois internes de leur cuve. Les dimensions de ces éléments sont très variables, certains étant très fragmentés, d'autres pouvant atteindre près de 40 cm de longueur⁹. Composés d'argile et de schiste pilé (55 % d'argile pour 45 % de schiste), tous présentent une face scorifiée résultant de la fusion partielle de l'argile qui constituait les parois internes de la cuve. Leur couleur passe sur la face externe du rouge brique au gris, puis du vert au violet sur la face qui a subi les températures les plus élevées.

4.3. La chaîne opératoire des sites de production : du minerai à la forge.

Il s'agit de déterminer le nombre et le type des bas fourneaux qui composaient les ateliers, de définir la gestion de l'espace de travail et les différentes opérations pratiquées sur les sites en amont et en aval de l'opération de réduction proprement dite. Ces pratiques annexes concernaient la préparation des matières premières utiles à la réduction (minerai, argile réfractaire), mais aussi des opérations de post-réduction visant à traiter le métal issu du bas fourneau (cinglage, corroyage...).

D'un point de vue archéologique, mis à part les vestiges des bas fourneaux, aucune structure n'a été

7 Un vase découvert sur le site Larla 1 peut appartenir à une production plus tardive. Il s'agit d'un fragment de pot à lèvre ornée de cercles concentriques, une forme qui se répand en Aquitaine à partir de la première moitié du I^{er} siècle ap. J.-C. et qui perdure jusqu'au I^{er} siècle ap. J.-C.

8 La sidérite se transforme en hématite par altération à l'air.

9 Une plaque d'argile réfractaire de 35 cm de haut, 30 cm de large et 10 cm d'épaisseur, a été mise au jour sur le site Artzainihitza 1. Elle appartenait à la porte d'une structure de réduction de l'atelier.

découverte *in situ*. C'est sur l'analyse des déchets métallurgiques conservés que l'on se base afin de reconstituer la chaîne opératoire des ateliers.

4.3.1. Le traitement du minerai.

Divers indices archéologiques témoignent d'opérations minéralurgiques au sein de l'atelier Harotzainekoborda. Plusieurs broyens, entiers ou fragmentés, ainsi qu'une table à broyer brisée, servirent vraisemblablement à casser du minerai. Le produit de la mine, des morceaux de roche minéralisée, était déposé sur l'enclume, un galet de granit plat¹⁰, et cassé à l'aide de broyens en quartz. De forme grossièrement sphérique et de la taille d'un poing, ces petits galets de quartz portent les stigmates de percussions répétées en plusieurs points de leur surface. L'outillage lithique d'Harotzainekoborda servit à casser le minerai de fer, à le débarrasser de sa gangue stérile. Ce tri mécanique était destiné à enrichir le minerai en éliminant le maximum de gangue.

C'est sans doute l'atelier Oheta 1 qui a livré les indices les plus probants de l'existence de pratiques minéralurgiques au sein des ateliers métallurgiques. La fouille de la plate-forme de travail de l'atelier antique a en effet révélé les lambeaux d'un sol minéralurgique en place. Il s'agit d'une couche de résidus minéraux (sidérite, gœthite et grès), épaisse de 10 à 18 cm et fortement indurée, issue de l'enrichissement mécanique du minerai. A quelques mètres de l'aire de cassage, gisait une enclume. Il s'agit d'un galet de grès rose présentant deux concavités, ou cupules, sur sa face supérieure, une usure provoquée par le cassage de minerai. Le diamètre des cupules varie de 8 à 10 cm, leur profondeur avoisinant 4 cm. Directement au sud de l'aire de cassage, un stock de minerai d'une centaine de kilogrammes avait été entreposé, en attente de traitement. (fig. 9)

4.3.2. La réduction : nombre et typologie des structures de réduction.

Les structures de réduction utilisées sur le site de Larla sont connues à travers neuf exemplaires de bas fourneaux mis au jour sur le massif entre 2001 et 2007.

Ces fours appartiennent à sept ateliers métallurgiques distincts, sept unités de production antiques, chacune composée d'un ou deux bas fourneaux. Il s'agit des ateliers Harotzainekoborda, Larla 1, Errekaburua 1, Antxarte 1 et Tripazale 1 comprenant un four unique et des ateliers Artzainihitza 3 et Jarlekia 1 comprenant chacun deux bas fourneaux.

L'examen des neuf bas fourneaux mis au jour n'a révélé aucun élément qui permet d'envisager une évo-

lution chrono-typologique des structures de réduction directe. Les bas fourneaux découverts, pourtant en activité à plusieurs siècles d'intervalle, présentent en effet une grande homogénéité tant dans la conception, la morphologie, que dans le gabarit ou la nature des matériaux qui les constituent. Bien que l'activité du centre sidérurgique s'inscrive dans la longue durée (au moins six siècles), il semble qu'aucune évolution ou mutation technologique n'ait marqué les fours de réduction de Larla au cours de la Tène finale, voire de la Tène moyenne, et du Haut-Empire.

Il est établi que le bas fourneau de type Larla était construit dans une fosse profonde d'environ 0,60 à 0,80 m, creusée dans le socle naturel schisteux (F1 et F4) ou en pleine terre (F2, F3, F5, F6, F7, F8 et F9), selon le contexte géologique (Figures 10 et 11).

Le four occupait environ un tiers du creusement, le reste de la fosse donnant accès aux parties basses de la structure, facilitant son entretien et permettant l'évacuation de la scorie et l'extraction de l'éponge de fer.

La cuve était confectionnée en argile mêlée à du schiste pilé. Elle était selon la nature du sol, soit directement adossée aux parois rocheuses de la fosse (F1 et F4), soit calée par une épaisse couche de remblai composée de terre et de fragments de schiste (F5, F6, F7). De section interne carrée (0,50 m X 0,50 m), et d'une hauteur variant de 0,60 à 0,90 m (partie enterrée), elle était surmontée d'une cheminée de section circulaire. Les parties en élévation pouvaient être construites exclusivement en argile ou comprendre de petites dalles de grès.

Une série de mesures réalisées sur les matériaux issus de l'éboulement de la superstructure des fours F4, F5, F6 et F7 (dimensions, masse et masse volumique des plaques d'argile réfractaire et des dalles de grès) a permis de restituer l'élévation initiale de ces structures de réduction (0,60 à 0,90 m) et par conséquent la hauteur totale des fours, depuis la sole jusqu'au gueulard. Il est apparu que le four de type Larla présentait une hauteur minimale de 1,50 m.

La sole du four pouvait être constituée par le socle rocheux naturel (F1 et F4), ou dans le cas d'un four en pleine terre, d'une dalle de grès (F5 et F7) ou d'une couche d'argile réfractaire (F6).

La face avant de la cuve était fermée par une plaque d'argile réfractaire détruite, puis reconstruite à l'issue de chaque défournement (épais. 10 à 15 cm).

A l'avant du four, de part et d'autre de cette porte, des piédroits en grès rose (F1, F2, F4, F5, F6, F8, F9) ou en schiste (F3) assuraient le maintien de la structure. Il est vraisemblable que le mur de grès édifié à l'avant du bas fourneau F7, dans le prolongement de la

¹⁰ Dimensions : long. max. 17 cm ; larg. 11 cm ; épais. 6 cm.

paroi droite de sa cuve, ait assuré le maintien de cette structure, jouant le rôle d'un piédroit.

Aucun indice archéologique n'indique que les fours de type Larla étaient équipés d'un système permettant une ventilation forcée. Les parois mises au jour, pourtant conservées sur 0,50 à 0,80 m de hauteur, ne sont pas dotées d'orifices de ventilation ou de tuyères. De la même manière, aucune tuyère ou débris de tuyère n'a été mis au jour dans les zones dépotoir des ateliers étudiés¹¹.

4.3.3. Le traitement des éponges de fer.

Sur l'atelier Harotzainekoborda, la découverte de six gros galets de grès à l'avant du bas fourneau F1¹², au nord et à l'est de la fosse de travail, témoigne d'un cinglage à chaud des éponges de fer. Ces dernières, extraites de la cuve depuis la fosse, devaient être déposées sur les larges enclumes en pierre afin d'y être débarrassées de la scorie résiduelle. La masse de métal devait être martelée immédiatement à la sortie du four de réduction. Les petits nodules ferreux qui jonchaient le sol de travail de l'atelier, de même que les traces d'impact qui marquent la surface des galets semblent valider cette hypothèse.

Une scorie en culot, un déchet caractéristique d'un foyer de forge, a également été mise au jour dans le ferrier de ce même atelier. Il s'agit d'un culot aux dimensions modestes (long. 13 cm ; larg. 9 cm ; épais. 2 à 3 cm), constitué d'une scorie noire et bulleuse contenant des grains de métal, vraisemblablement issu d'un foyer d'épuration. Sa présence parmi les rebuts métallurgiques indiquerait que le métal produit sur le site Harotzainekoborda quittait l'atelier sous une forme épurée.

5. EVALUATION DE LA PRODUCTION MÉTALLIQUE.

Il reste à présent à évaluer l'importance des unités de production de Larla, c'est-à-dire à estimer la masse de métal que les ateliers ont fabriquée. Si le rendement de la production n'est pas encore établi (quantité de fer produite par rapport à la quantité de minerai et de combustible utilisés), il est envisageable d'estimer le tonnage de scories produites par les ateliers. Basée sur

l'évaluation de cinq ferriers, cette estimation est susceptible de livrer un indice de production fiable. Elle doit permettre de replacer les ateliers de Larla sur une échelle de grandeur en les comparant à d'autres centres sidérurgiques gallo-romains. De nombreuses évaluations de ferrier ont été réalisées sur des centres métallurgiques antiques en France. Nous renvoyons notamment aux études concernant les Martys (Aude) ou encore le site des Clérimois dans l'Yonne (Decombeix *et al.* 1998: 77-90, Dunikowski y Cabboi 1995: 121-124).

Le calcul de la masse de scories produites par les ateliers nécessite une évaluation du volume des ferriers et une évaluation de la densité des scories qu'ils enferment. Sans entrer dans le détail des principes méthodologiques mis en œuvre pour ces évaluations quantitatives, le tableau ci-après présente de façon synthétique les résultats obtenus sur les cinq ferriers de Larla évalués.

Site	Ferrier					
	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Épaisseur moyenne (m)	Densité moyenne de scories (kg/m ³)	Densité moyenne de scories (kg/m ³)	Masse totale de scories (t)
Harotzaineko-borda	450	58	0,13	41	317	18
Oheta 1	860	150	0,17	93	533	80
Urchilo 1	360	104	0,29	144	500	52
Antxarte 1	710	425	0,60	493	824	350
Tripazale 1	320	120	0,38	234	625	75
Moyenne	540	171	0,31	201	560	115

Les différents sites évalués donnent une image représentative des ateliers de production métallurgique en activité sur le massif de Larla entre le second Âge du Fer et la fin du Haut-Empire. Les sites évalués représentant environ 10 % des ateliers recensés, il paraît raisonnable de pouvoir interpoler les résultats obtenus à l'ensemble du massif.

Considérant une moyenne de 115 tonnes de scories produites par chaque atelier et un nombre d'atelier minimal de 54, il est désormais possible de proposer une production minimale de 6 000 tonnes de scories sur le site de Larla.

Le rendement des structures de réduction du site n'étant pas établi, quels enseignements peut-on tirer de ce chiffre ? Si les masses de minerai et de charbon de

11 Près de 2 tonnes de déchets métallurgiques prélevées dans le ferrier d'Harotzainekoborda ont pourtant été tamisées, tandis que les ferriers d'Oheta 1, Tripazale 1, Antxarte 1 et Urchilo 1 ont été fouillés par le biais de plusieurs dizaines de mètres de tranchées.

12 Quatre enclumes ont été découvertes en place sur l'atelier, trois au nord de la fosse de travail, une à l'extrémité est de cette même fosse. Les deux autres galets, dont un brisé en deux morceaux, gisaient en marge de l'espace de travail, au sommet de la zone dépotoir. Les dimensions de ces enclumes varient de 40 cm de longueur et 30 cm de largeur pour la plus petite, à 60 cm de longueur et 30 cm de largeur pour la plus grande.

bois utiles à la production métallique des ateliers ne sont pas encore restituables, une estimation approximative de la production de fer à partir de la masse de scorie contenue dans les zones dépotoir est envisageable. Basée sur les résultats de travaux archéologiques conduits sur d'autres sites sidérurgiques, cette estimation conserve une valeur indicative, le rendement de production variant en fonction du minerai utilisé et de la typologie des structures de réduction¹³. Si l'on considère un rapport moyen de 1/3, c'est-à-dire que la masse métallique obtenue représente un tiers de la masse de scories engendrée, le centre sidérurgique antique de Larla aurait produit autour de 2 000 tonnes de fer métal. Ce chiffre nécessite évidemment d'être affiné, voire corrigé, à la lumière des expérimentations archéologiques en cours. Il n'en demeure pas moins qu'il fournit déjà une estimation minimale de la production métallique du site de Larla.

6. MÉTALLURGIE EXPÉRIMENTALE.

Depuis 2007, dans le prolongement des travaux de fouilles archéologiques, une approche expérimentale de la métallurgie du fer est menée à Larla. Il doit s'agir de déterminer quel était le mode de fonctionnement des bas fourneaux de type Larla, quelle était leur capacité de production ou encore leur rendement.

La démarche expérimentale menée à Saint-Martin-d'Arrossa s'insère dans une démarche historique. Le principe général de la réduction directe du minerai de fer en bas fourneau étant connu, il ne s'agit pas de produire du fer « à tout prix », mais bien de redécouvrir le mode de fonctionnement des fours de type Larla, en respectant strictement les données archéologiques telles que la morphologie des bas fourneaux, la nature, l'origine et le traitement des minerais de fer, le type de combustible...

L'atelier métallurgique expérimental édifié au cours de l'été 2006 se situe au cœur du village d'Arrossa, au pied du centre de production antique, sur un terrain communal capable de répondre aux exigences logistiques des expérimentations (accessibilité, électricité...). Il est constitué de deux bas fourneaux, d'une aire de grillage de minerai et d'un espace pour la préparation mécanique des blocs de sidérite et de goëthite. Dans un souci de pérennisation, toutes ces structures

ont été protégées par une superstructure permanente (fig. 12).

Les deux bas fourneaux ont été édifiés sur le modèle des fours antiques mis au jour. Ils sont tous deux strictement identiques à l'exception des soles, en argile réfractaire dans le four n°1 et constituée d'une dalle de grès dans le four n°2. Chacun des deux fours est équipé de cinq sondes thermiques, des thermocouples permettant de suivre et d'enregistrer l'évolution de la température des fours pendant la durée des opérations.

L'aire de préparation des minerais est aménagée à même le sol, directement au nord des bas fourneaux. Le minerai préalablement grillé y est cassé, calibré et stocké. Les opérations mécaniques qui consistent à débarrasser le minerai de ses parties stériles puis à le calibrer sont pratiquées à l'aide de marteaux, sur des enclumes en grès rose, conformément aux témoignages archéologiques.

L'aire de grillage a été aménagée à l'écart de l'atelier pour des raisons de sécurité et de confort, le grillage générant d'abondantes fumées ainsi que des projections de blocs de minerai. De plan circulaire (diam. 1,8 m), la surface de combustion est délimitée par un muret en pierres sèches (haut. 0,70 m), une architecture qui ne s'appuie sur aucun témoignage archéologique.

6.1. Le protocole expérimental.

Pour les cinq premières expérimentations conduites, un premier protocole expérimental a été établi en fonction du niveau de connaissance des bas fourneaux de type Larla et en fonction des principales interrogations que suscitaient leur utilisation et leur fonctionnement.

Si certains éléments, que sont l'utilisation de goëthite, l'emploi de charbon de bois de chêne, une ventilation par l'avant des structures et l'absence de tuyère étaient attestés, d'autres points restaient à déterminer, parmi lesquels le mode de ventilation employé (naturelle ou forcée).

C'est précisément autour de cette problématique fondamentale de ventilation que cinq réductions expérimentales ont été conduites, cinq réductions au cours desquelles ont été testés trois modes de ventilation différents : deux opérations ont été menées en ventilation naturelle (tirage naturel), deux autres en ventilation pulsée en continu (ventilateur), une dernière en ventilation « mixte » (usage ponctuel d'un ventilateur).

Au cours de ces cinq opérations, et en dehors du mode de ventilation, un seul paramètre a été modifié, il s'agit de la masse des chargements en matières premières.

13 Les études menées sur divers centres sidérurgiques antiques ou médiévaux mettent en évidence des rendements sensiblement différents : aux Martys (Aude) par exemple, la quantité de fer obtenue au cours d'une opération de réduction était d'au moins 30 kg, pour 90 kg de scories, 200 kg de minerai et 200 kg de charbon de bois utilisés, à Boécourt (Jura suisse) un atelier de deux fours a produit 5500 kg de scories pour 1000 kg de fer, à Frouard (Lorraine) la réduction de 5 tonnes de minerai permettait d'obtenir 1,5 tonnes de fer et 3 tonnes de scories, à Maron (Lorraine) 1 kg de scories était obtenu à partir de 1,5 kg de minerai.

Le tableau suivant présente les modes de ventilation et les rythmes de chargement choisis pour chacune des cinq opérations réalisées :

	Mode de ventilation	Masse des charges	
Réduction 1	Ventilation naturelle	Charges minerai : 4 kg	Charges charbon : 1,7 kg
Réduction 2	Ventilation forcée continue	Charges minerai : 4 kg	Charges charbon : 1,7 kg
Réduction 3	Ventilation naturelle	Charges minerai : 2 kg	Charges charbon : 0,850 kg
Réduction 4	Ventilation forcée continue	Charges minerai : 2 kg	Charges charbon : 0,850 kg
Réduction 5	Ventilation mixte	Charges minerai : 2 kg	Charges charbon : 0,850 kg

avec 4 et 5 permet d'observer les effets des différents modes de ventilation choisis sur la production, à masses de charges égales, tandis que la comparaison des résultats des opérations 1 avec 3, puis 2 avec 4, permet de mesurer l'incidence du rythme de chargement sur la production, indépendamment du type de ventilation utilisé.

Dans la continuité des cinq premières opérations, et sur la base des questionnements qui subsistaient à leur issue, un second protocole expérimental a pu être défini. C'est autour de la double problématique ventilation/évacuation de la scorie qu'ont été centrés les cinq nouveaux essais métallurgiques.

Il s'agit de cinq opérations de réduction au cours desquelles ont été testés divers types d'ouvertures dans les faces antérieures des fours. En tirage naturel exclusivement, et donc sans recourt à des soufflets, il s'agissait, d'une opération à l'autre, de faire varier le nombre, la taille et la position des trous de ventilation et de coulée aménagés dans les portes.

En choisissant de ne faire varier qu'un seul paramètre d'une opération de réduction à l'autre, la comparaison des résultats des opérations 1 avec 2, puis 3

L'objectif de cette campagne était d'assurer une bonne ventilation des structures tout en permettant à la scorie liquide de s'évacuer par gravité à l'extérieur des cuves. Cet écoulement devait faciliter la séparation de l'éponge de fer et de la scorie et permettre l'obtention d'un massiau «propre».

En dehors des orifices de ventilation/coulée, deux autres paramètres ont été modifiés au cours des diverses manipulations : il s'agit du calibre du charbon de bois d'une part et de la masse totale de minerai introduite dans les fours d'autre part.

Le tableau suivant présente de façon synthétique les modes de chargement et les modes de ventilation choisis pour chacune des opérations métallurgiques 6 à 10.

6.2. Les produits.

Chaque manipulation aboutit à la production d'un massiau (éponge de fer plus scorie), tandis

	Mode de ventilation	Nombre et dimensions des orifices	Position des orifices	Calibre charbon de bois	Masse minerai
Réduction 6	Tirage naturel	Vent : 7 x 10 cm Coulée : diam. 4 cm	A la sole 13 cm sole	£ 4 cm	50 kg
Réduction 7	Tirage naturel	Vent : 7 x 20 cm Coulée : diam. 4 cm	A la sole 13 cm sole	Tout venant	50 kg
Réduction 8	Tirage naturel	Vent : 7 x 20 cm	13 cm sole	Tout venant	50 kg
Réduction 9	Tirage naturel	Vent : 7 x 20 cm	13 cm sole	Tout venant	100 kg
Réduction 10	Tirage naturel	Vent : 7 x 35 cm	13 cm sole	Tout venant	50 kg

qu'une certaine quantité de scorie a pu être évacuée à l'extérieur des cuves au cours des opérations. Le tableau suivant présente les principaux résultats chiffrés des productions issues des opérations 1 à 10, à titre comparatif :

D'un point de vue morphologique, les massiaux issus des expérimentations 1 à 10 se présentent sous la forme de masses allongées (entre 40 et 50 cm de long) dont les parties supérieures constituent les éponges

proprement dites, c'est-à-dire les parties riches en fer métal, et dont les parties inférieures sont en majorité composées de scorie. Les sections transversales réalisées dans les massiaux R7 à R10 révèlent que toute la partie supérieure et arrière des massiaux est riche en fer métal. (fig. 13)

Si l'on compare les résultats des opérations 1 à 6 et 7 à 10, un premier constat peut être émis : les cinq derniers massiaux produits sont moins lourds que les

	Minerai enfourné	Massiau	Scorie	Minerai non réduit
Réduction 1	52 kg	24,7 kg	2,4 kg	1,2 kg
Réduction 2	52 kg	43,5 kg	3,8 kg	0,64 kg
Réduction 3	52 kg	17,1 kg	11,2 kg	3,5 kg
Réduction 4	50 kg	23,6 kg	7,2 kg	9,99 kg
Réduction 5	48 kg	21,1 kg	3,2 kg	5,8 kg
Réduction 6	44 kg	16,6 kg	2,44 kg	2,5 kg
Réduction 7	50 kg	7,26 kg	20,1 kg	0 kg
Réduction 8	50 kg	11,3 kg	13,8 kg	0 kg
Réduction 9	100 kg	22 kg	38,5 kg	0 kg
Réduction 10	50 kg	10,8 kg	16,4 kg	0 kg

cinq premiers, alors que les masses de scories évacuées en cours d'opération sont beaucoup plus importantes. On observe donc une inversion du rapport massiau/scorie entre les deux séries de réductions.

Dans les opérations 7 à 10, on peut observer une bonne séparation de la scorie et des éponges de fer. La scorie liquide est parvenue à se désolidariser des massiaux, elle s'est évacuée des fours pendant les opérations. Il résulte de ces écoulements des massiaux plus légers car moins chargés de scorie, des massiaux plus « propres » et manifestement plus proches des produits antiques que ne l'étaient les massiaux des six premières opérations. Lors des expérimentations 1 à 6 en effet, la scorie coulait difficilement à l'extérieur des cuves ; elle se figeait au contact de l'air lors de son passage dans le trou de coulée.

Au cours des réductions 7 à 10, de nombreuses coulées de scorie spontanées ont pu être observées. Ces coulées, en refroidissant au contact de l'air, formaient des plaques qui obstruaient peu à peu l'orifice de coulée si elles n'étaient pas régulièrement évacuées manuellement par l'opérateur.

Au cours des dix opérations, les massiaux se sont fixés immédiatement au-dessus des entrées d'air, à quelques centimètres au-dessus du trou de ventilation/coulée aménagé dans les portes. Ils étaient accrochés aux portes des fours, dans l'axe transversal des cuves et parfois partiellement accolés aux parois latérales. Compte-tenu de cette position, les cuves ont subi très peu de dommages lors des défournements. Les deux fours n'ont demandé aucun entretien particulier entre deux opérations de réduction, pas même un rechapage partiel de leur cuve.

6.3. Principaux apports de l'archéologie expérimentale.

Une des avancées majeures des essais métallurgiques réalisés sur le site expérimental concerne sans doute le système de ventilation des bas fourneaux. Les opérations menées au cours des différentes campagnes

expérimentales ont apporté la preuve que les structures de réduction de type Larla fonctionnaient en tirage naturel, sans ventilation forcée ou assistée. Les températures atteintes en cours d'opérations, la production de massiaux contenant du fer et les écoulements de scorie à l'extérieur des cuves sont autant de signes manifestes du bon fonctionnement des bas fourneaux expérimentaux sans le recours à des soufflets.

La ventilation des structures en tirage naturel était assurée par une ouverture unique pratiquée dans la partie basse de la porte des fours, ouverture qui servait aussi à l'écoulement de la scorie liquide. Les dimensions et la position exacte de cet orifice ne sont pas déterminables avec précision, mais on sait toutefois qu'une ouverture de 140 cm² pratiquée entre 0 et 13 cm au-dessus des soles laissait entrer suffisamment d'air pour assurer une bonne ventilation.

A l'issue des réductions R7, R8, R9 et R10, on constate que le processus de réduction est plus abouti qu'il ne l'était au cours des six premiers essais métallurgiques. Ce progrès, en partie imputable à la qualité du combustible et du minerai enfournés, résulte surtout de l'agrandissement des orifices de ventilation. En passant de 70 à 140 cm², c'est-à-dire en doublant l'ouverture pratiquée dans les portes des fours, à la base des cuves, la ventilation des structures a été considérablement améliorée. Ces progrès se traduisent par une diminution de la durée des opérations et par une augmentation des températures atteintes (autour de 1300-1350°C). L'élargissement des ouvertures de ventilation permet de chauffer plus vite et plus fort¹⁴.

La hauteur de la colonne de réduction paraissant suffisante, les cheminées des fours ne devaient guère excéder les 0,80 m d'élévation restitués dans les bas fourneaux expérimentaux sur la base des données récoltées en fouille.

14 Un orifice de 140 cm² semble suffisant pour assurer une bonne ventilation du bas fourneau : 1370°C ont été atteints au cours de l'opération R9 avec un orifice de 140 cm², contre seulement 1250°C pendant l'opération R10 avec un orifice de 245 cm².

Il a également été démontré qu'un soin tout particulier devait être porté à la préparation du minerai et du combustible introduits dans les fours. Le minerai devait être grillé, enrichi mécaniquement puis calibré. Lors de la préparation mécanique du minerai en effet (séparation de la goëthite et des nodules de grès puis calibrage), il s'est avéré extrêmement difficile de casser les blocs minéralisés du fait de leur dureté. Après plusieurs essais, le grillage est apparu comme une phase incontournable du travail minéralurgique : outre une déshydratation du minerai, cette opération fragilise les blocs, favorisant aussi leur cassage.

Les réductions expérimentales ont aussi mis en évidence que le charbon de bois, presque exclusivement du chêne, ne devait pas être trop fragmenté afin de ne pas étouffer les bas fourneaux. L'utilisation d'un charbon de bois non calibré et d'un calibre supérieur à 2 cm s'est avérée bénéfique. Il favorise selon toute vraisemblance l'entrée d'air dans la cuve, facilite la combustion et la montée en température, et contribue également à une bonne circulation des gaz pendant le processus de réduction. Le calibre du combustible a donc une incidence directe sur la vitesse de montée en température et la puissance de chauffe des bas fourneaux.

Les expérimentations ont enfin démontré que les besoins en combustible pouvaient être diminués si l'on traitait de grande quantité de minerai de fer. En effet, plus on réduit de goëthite et plus la consommation en charbon de bois diminue proportionnellement, la phase de chauffe et de remplissage des bas fourneaux consommant beaucoup plus de charbon que la phase de chargement en minerai. Ainsi, si l'on compare deux opérations de réduction réalisées selon un mode de ventilation identique et avec un même calibre de charbon de bois (R8 et R9), la réduction de 50 kg de goëthite nécessite 117 kg de combustible, soit un rapport de 1 pour 2,3, tandis que ce rapport s'abaisse à 1 pour 1,4 si l'on traite le double de minerai (100 kg de goëthite pour 140 kg de charbon de bois). Le rendement des structures de réduction de Larla est manifestement meilleur pour le traitement de grandes quantités de minerai.

7. CONCLUSION.

Le bilan des travaux consacrés à l'étude des vestiges miniers et métallurgiques de Larla, s'il ne peut prétendre à l'exhaustivité, n'en dessine pas moins une bonne représentation du centre sidérurgique ancien.

Le site de production de Larla entre vraisemblablement en activité dès avant le III^e siècle av. J.-C. et sa production semble se poursuivre jusqu'au III^e siècle ap. J.-C. Au cours de cette longue période d'exploitation, l'activité sidérurgique s'installe et se déploie sur

le massif, autour de l'exploitation de filons de sidérite/goëthite, en une cinquantaine d'ateliers de réduction distincts.

D'un point de vue métallurgique, au cours des six siècles de fonctionnement du centre sidérurgique, aucune évolution technologique importante ne semble avoir marqué l'activité. Les bas fourneaux découverts – pourtant en activité à plusieurs siècles d'intervalle – présentent une grande homogénéité tant dans la conception et la morphologie, que dans le gabarit ou la nature des matériaux qui les constituent. L'étude des fours n'a révélé aucun élément qui permette d'envisager une évolution chrono-typologique des structures vouées à la réduction directe du minerai de Larla. Dès le IV^e ou le III^e siècle av. J.-C. les techniques métallurgiques des bas fourneaux à scorie écoulee étaient maîtrisées.

L'architecture des vestiges de fours découverts, des structures semi-enterrées à cuve carrée, semble en outre désigner qu'un type de bas fourneau particulier fut conçu sur le district. La mise au jour de neuf fours, tous édifiés sur le même modèle, assure aussi que, malgré une compartimentation et un certain cloisonnement de l'activité, les pratiques métallurgiques en usage sur le massif étaient cohérentes.

Si l'on considère à présent le grand nombre d'unités de traitement que comprenait le centre ainsi que les données chiffrées qui émanent des évaluations quantitatives pratiquées dans les ferriers, il apparaît que la production de fer de Larla fut importante. Dans le contexte archéologique régional, le site de Larla qui produisit plus de 2 000 tonnes de fer, se distingue assurément des autres sites de production tarbelle. Dans l'état actuel des connaissances, Larla peut être considéré comme le centre sidérurgique antique majeur du Pays Basque nord, et plus largement des Pyrénées Occidentales. Sa production dépassait sans nul doute celle des *pagani ferrarienses* dans les Pyrénées centrales (Beyrie *et al.* 2000).

8. BIBLIOGRAPHIE.

Benoit, P. ; Fluzin Ph. (ed.)

1995 *Paléométallurgie du fer et Cultures*, Actes du Symposium International du Comité pour la Sidérurgie Ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques (Belfort-Sévenans, 1-3 novembre 1990), Belfort.

Beyrie, A.

2002 « La métallurgie antique du fer sur le massif de Larla (commune de Saint-Martin-d'Arrossa) », Orpustan, J.-B. (ed.), 287-294.

- 2003 *Mines et métallurgies antiques au Pays Basque : un vecteur de romanisation ?*, thèse de Doctorat, Science de l'Antiquité, Université Toulouse-le Mirail.
- 2005 « L'industrie minière antique dans les Pyrénées occidentales », *L'archéologue* 78, 19-21.
- 2008 « L'exploitation du fer dans le Sud-ouest de la Gaule. L'exemple du site de Larla (Pyrénées-Atlantiques – 64) », *Archéopages* 22, 32-33.
- Beyrie, A. ; Kammenthaler, E.**
- 2005 « Le centre sidérurgique antique de Larla (Saint-Martin-d'Arrossa) », *Bulletin du Musée Basque* 165, 21-38.
- 2008 « Aux origines de l'activité minière dans les Pyrénées occidentales. L'exploitation du cuivre, du fer, de l'or et de l'argent », *Archéopages* 22, 28-31.
- Beyrie, A. ; Fabre, J.-M. ; Sablayrolles, R.**
- 2000 « Les hommes de fer du dieu Ageio. Exploitation antique du fer dans les Hautes Baronnies (Hautes-Pyrénées) », *Dossier Mines et Métallurgies en Gaule, Gallia* 57, 27-52.
- Beyrie, A. ; Galop, D. ; Monna, F. ; Mougin, V.**
- 2003 « La métallurgie du fer au Pays Basque durant l'Antiquité. Etat des connaissances dans la vallée de Baigorri (Pyrénées-Atlantiques) », *Aquitania* 19, 49-66.
- Beyrie, A. ; Florsch, N. ; Fluck, P. ; Leroy, M. ; Tereygeol, F.**
- 2005 « La prospection géophysique en paléométallurgie », *les dossiers d'archéologie* 308, 74-79.
- Decombeix, P.-M. ; Fabre, J.-M. ; Tollon, F. ; Domergue, C.**
- 1998 « Evaluation du volume des ferriers romains du domaine des forges (Les Martyrs, Aude), de la masse de scories qu'ils renferment et de la production de fer correspondante », *Revue d'Archéométrie* 22, 77-90.
- Dietrich, P.-F. de**
- 1786 *Description des gîtes de minerai des forges et des salines des Pyrénées*, Paris-Genève.
- Domergue, C. ; Leroy, M.**
- 2000 « L'état de la recherche sur les mines et les métallurgies en Gaule, de l'époque gauloise au haut Moyen-Âge », *Dossier Mines et Métallurgies en Gaule, Gallia* 57, 3-10.
- Dunikowski, C.**
- 1995 « Approche méthodologique d'un ferrier : l'exemple du site des Clérimois », dans Benoit, P. ; Fluzin Ph. (ed.), 325-332.
- Dunikowski, C. ; Cabboi, S.**
- 1995 *La sidérurgie chez les Sénon : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, D.A.F. 51, Paris.
- Fabre, J.-M. ; Sablayrolles, R. ; Tollon, F.**
- 2001 « L'exploitation antique du fer dans le haut bassin de l'Arros (Hautes-Pyrénées). Données techniques », dans Sablayrolles, R. (ed.), 119-139.
- Galop, D. ; Tual, M. ; Monna, F. ; Dominik, J. ; Beyrie, A. ; Marembert, F.**
- 2001 « Cinq millénaires de métallurgie en montagne basque, les apports d'une démarche intégrée alliant palynologie et géochimie isotopique du plomb », *Sud-Ouest Européen, Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 11, 3-15.
- Gapillou, C.**
- 1981 *Vers une approche métallogénique d'une région presque oubliée. Les minéralisations à Cu, Ag, Pb, Zn et les sidérites du Paléozoïque et du Trias du Pays Basque français entre Ainhoa et Banca*, thèse de Doctorat, Géologie Appliquée, Université Paris 6.
- 1995 « Ebauche géologique et métallogénique de la vallée de Baigorri », dans Machot, P. (ed.), 39-57.
- Lefèbvre, M.**
- 1838 « Sur l'usine à fer de Banca ou de Baïgorry, et sur les mines d'où elle tire ses minerais », *A.M.* 3e série, 85-102.
- Machot, P. (ed.)**
- 1995 *Mines et établissements métallurgiques de Banca*, Biarritz/Saint-Etienne-de-Baïgorry.
- Mangin, M. (ed.)**
- 1994 *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, archéologie et archéométrie*, Actes du colloque de Besançon (Besançon, 10-13 novembre 1993), Paris.
- Orpustan, J.-B. (ed.)**
- 2002 « Urzaiz », *La vallée d'Ossès en Basse-Navarre, Orzaizeko ibarra*, Saint-Etienne-de-Baïgorry.
- Palassou,**
- 1784 *Essai sur la minéralogie des Monts-Pyrénées*, Paris.
- Pleiner, R.**
- 2000 *Iron in archaeology*, Praha.
- Réchin, F.**
- 1994 *La vaisselle commune d'Aquitaine méridionale à l'époque romaine. Contexte céramique, typologie, faciès de consommation*, thèse de Doctorat, Sciences Humaines, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Sablayrolles, R. (ed.)

- 2001 *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité* (texte rassemblés par Robert Sablayrolles), *Entretiens d'archéologie et d'histoire*, Saint-Bertrand-de-Comminges, musée archéologique départemental, EAHSBC 6.

Vié, G.

- 1980 « Au sujet de trois anciennes mines du Pays Basque français: la mine de fer d'Ustelle-guy-Arrossa, quelques notes de géologie et d'histoire; la mine de pyrite de fer d'Itxassou; la mine de fer spathique d'Ainhoa », *B.S.S.L.A.*, Bayonne 136, 433-455.