

# Du minerai au lingot : l'élaboration de l'argent à l'époque de la Renaissance.

Une conjonction de l'histoire, de l'archéologie et de la géologie.

Pierre FLUCK

Le 11 juin 1994, La *Société d'Histoire Naturelle de Colmar* arpenta, sur la pente ouest du Brézouard, un extraordinaire *champ de haldes* étagé entre 920 et 1000 mètres d'altitude. Il s'agit des déblais d'anciennes mines de cuivre et de plomb (et, un peu, d'argent), redécouverts en 1972, presque en même temps sur le terrain et dans les documents d'archives. On est là en présence d'un des exemples les plus remarquables de conjonction entre l'histoire et l'archéologie.

De là par le col des Bagenelles, les sociétaires passèrent la crête des Vosges pour se rendre sur des sites de métallurgie. Là, sur le cours supérieur de la haute Morte et de son affluent le Pré de Raves, s'égrènent en chapelet pas moins de huit "crassiers à scories". Ce sont autant d'emplacements de complexes industriels du XVI<sup>e</sup> siècle et du début du XVII<sup>e</sup> siècle.

Ces deux thèmes, l'extraction du minerai de la montagne et l'extraction du métal à partir du minerai, nous serviront d'ancrage pour présenter ce qu'il y a de neuf dans la recherche en matière de métallurgie ancienne (les spécialistes disent *paléométallurgie*) des non-ferreux. Nous insisterons tout particulièrement sur l'obtention du métal qui fait l'objet d'un faisceau d'approches très neuves, alors que les techniques minières commencent à être assez bien connues — sans qu'on puisse prétendre que leur problématique soit épuisée<sup>2</sup>.

## 1. HISTOIRE ET ARCHEOLOGIE.

Les outils de notre connaissance sont fournis d'une part par les textes anciens et l'iconographie, d'autre part, par le terrain. Nous les envisagerons successivement :  
a - les textes et les images comprennent eux-mêmes les sources d'archives et les traités. Les traités exposent les techniques sur un plan qui se veut universel. Ce sont presque des "modes d'emploi" illustrés de dessins techniques: on lira par exemple les livres IX, X et XI du *De Re Metallica* d'AGRICOLA<sup>3</sup>.

Il ne faut pas y rechercher des explications scientifiques de la réduction du métal, on n'y trouvera que des recettes: l'histoire des sciences ignore superbement l'histoire des techniques et ce domaine en est une belle illustration, avant l'affirmation de la chimie moderne à l'extrême fin du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Les documents d'archives sont beaucoup plus diversifiés. De plus, ils *ont une signification locale* qui nous intéressera ici plus particulièrement. On n'y trouvera que rarement des données à caractère encyclopédique — et cela presque exclusivement pour le XVIII<sup>e</sup> siècle, si on y inclut divers manuscrits de savants restés inédits— Plus fréquemment, l'historien devra se livrer à de véritables enquêtes de détective pour élaborer une histoire technique de la métallurgie (à ne pas confondre avec une histoire *des* techniques).

b - le terrain. L'archéologie minière s'est développée de manière presque empirique dans un premier temps — et sans dire son nom— de 1970 à 1980, avant d'acquérir dès 1981 ses titres de noblesse parmi les 19 programmes historiques du *Conseil Supérieur de la Recherche Archéologique* (actuellement *Programme H3 "Mines et Métallurgie"*).

Nous n'évoquerons ici — et que dans ses très grandes lignes— à titre d'exemple que l'investigation du secteur minier du Blüttenberg assis contre le Brézouard, en insistant sur le rôle des sciences de la Terre dans ce domaine de l'archéologie.

L'archéologie de la métallurgie (des non-ferreux) est au contraire très neuve. Elle a démarré en 1989 — pour l'Est de la France— par un préinventaire de terrain à l'échelle de l'ensemble des Vosges centrales<sup>456</sup>.

Celui-ci part d'un principe très simple: pour les sites post-médiévaux, les fonderies sont tributaires de l'énergie hydraulique qui anime les soufflets. Elles se localisent par conséquent le long des cours d'eau, ou non loin, sur des canaux de dérivation. Ainsi fut engagée une *prospection stratégique* le long du réseau hydrographique, d'aval en amont, l'objectif étant de "pister" les déchets industriels, c'est-à-dire les scories, marqueurs par excellence de la métallurgie. Leurs brusques accumulations coïncident avec autant de fonderies. Le résultat était autant édifiant qu'inattendu : près de 55 fonderies ou groupes de fonderies pour la seule période *renaissance*, dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres autour des secteurs miniers (fig. 1). La dispersion est énorme dans l'ensemble des Vosges centrales : vallées de la Weiss et de la Béchine, de la Lièpvrette et de ses affluents, du Giessen, de la Bruche, de la Fave, du Blanc Ru, du ruisseau de Lauterupt, de la Morte, de Barañçon, du Rayrand... La raison en est évidemment le besoin de se rapprocher de forêts encore entières, sources du combustible (le bois et surtout le charbon de bois). On trouvera le détail de cette prospection dans les articles cités en notes [4] et [5]. Déjà, ce préinventaire nous permet de broser une *géographie* d'une industrie passée qui modela de façon sensible le peuplement et surtout (comme on le verra plus loin) le *paysage* des Vosges centrales.

Le relai fut pris alors, de 1991 à 1994, par la *prospection* plus détaillée des sites répertoriés. En voici les méthodes :

1 - la *topographie* (basée notamment sur l'examen du sol) livre l'extension exacte et la configuration des accumulations de scories, ainsi que la géométrie des plateformes ou terrains plats qui marquent les emplacements potentiels des bâtiments de fonderies, enfin le tracé des canaux de dérivation du cours d'eau.

2 - la *prospection géophysique*, pratiquée en priorité sur les plateformes précitées, est susceptible de livrer la localisation des fourneaux (ainsi que diverses autres indica-

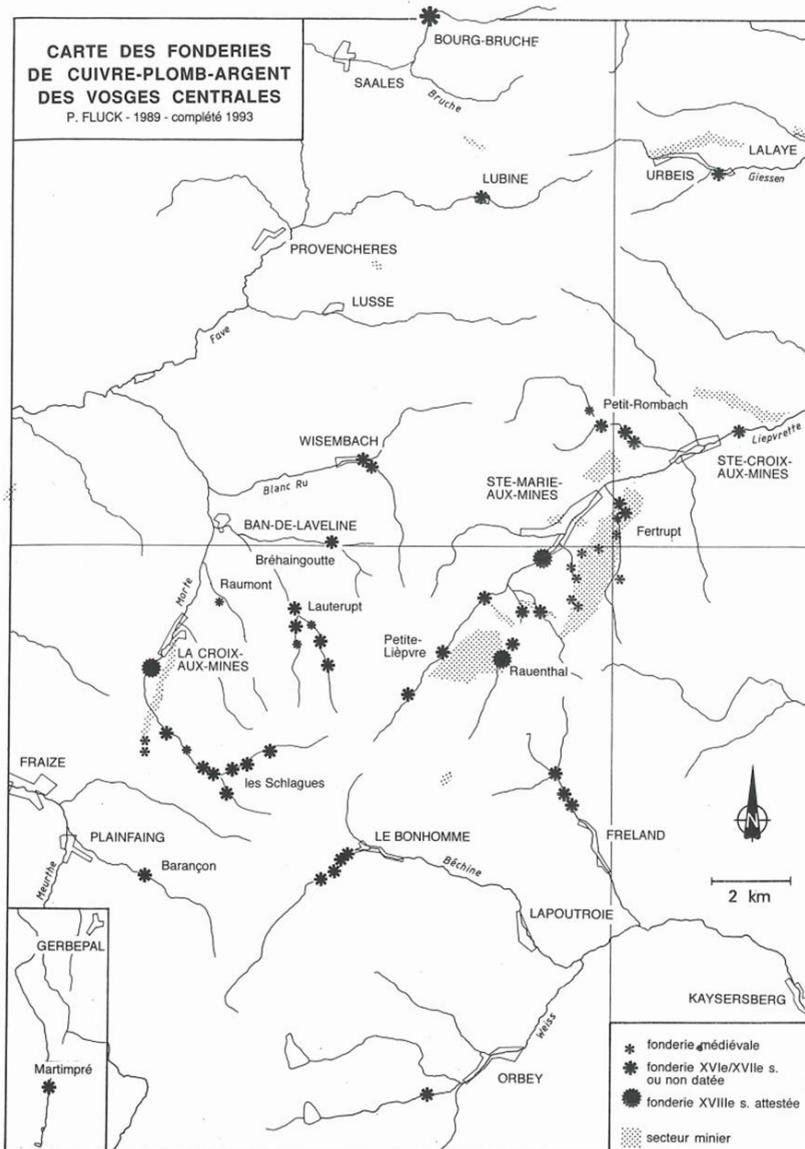


Fig 1. Carte des fonderies d'argent des Vosges centrales.

tions); élargie à l'ensemble des sites, elle met en évidence les variations d'épaisseur des accumulations de scories.

3 - les sondages, pratiqués de préférence au droit des anomalies livrées par la prospection géophysique (et qui permettent en retour de tester l'interprétation de ces méthodes), livrent une stratigraphie du site, des structures éventuelles (portions de bâtiments, fourneaux...), et surtout permettent d'échantillonner la palette des résidus de cette industrie.

Mais surtout, et c'est là sa grande originalité, cette archéologie de la métallurgie, par la richesse des matériaux livrés, s'articule sur *une très forte composante archéométrique*. On entend par archéométrie l'ensemble des disciplines scientifiques (physico-chimie, géologie, minéralogie, biologie) qui interviennent dans le domaine de l'archéologie. Dans notre cas précis, les rejets des fonderies, incroyablement riches et variés, constituent un domaine d'étude dont nous ferons ressortir plus loin l'enjeu.

Enfin, la prospection se complète par la cartographie des sites producteurs de combustible, les *charbonnières*. Il est usuel d'affirmer que cette industrie, dévoreuse de forêts, est à l'origine d'une véritable désertification de la contrée. Dans quelle mesure cette assertion n'est-elle pas exagérée ? Seule la cartographie exhaustive des charbonnières permettra d'y répondre, en isolant le cas échéant les massifs forestiers restés indemnes (forêts privées, territoires de chasses seigneuriales ?...).

Nous passerons en revue à présent ces différents thèmes, en insistant particulièrement sur les aspects inédits?

- une illustration des sites d'extraction : le secteur minier du Bluttenberg
- du produit sorti de la mine au minerai purifié : le lavage
- la métallurgie : le point sur les sources écrites locales
- la métallurgie : l'iconographie
- la géographie des fonderies de la haute Morte
- un exemple de prospection : le site F 8 de la haute Morte
- les résidus de la métallurgie.

## 2. LE SECTEUR MINIER DU BLUTTENBERG.

*"...pour nous occuper des filons et veines métalliques qui sont au-dessous du Persoir donnant sur la vallée d'Orbé, qui ont fait jadis le sujet d'une grande exploitation, je ne saurais dire si ces filons ou veines étaient en grand nombre, ou en très petit; je n'ai pu obtenir aucun détail sur leur état et sur leur exploitation, comme ils ont été exploités par une compagnie particulière d'allemands qui n'a laissé aucun écrit, aucun registre; je n'ai pu en juger que par les décombres, qui sont à la vérité en grande quantité, lesquels font croire qu'on a longtemps exploité ces mines, et qu'on en a retiré beaucoup de minéral, tout ce que je puis dire de positif c'est qu'ils ont tous fourni du minerai d'argent gris de la même espèce de celui de la vallée de Ste Marie, et dont nous parlerons à l'article de ces mines. Ils ont fourni aussi du minerai de plomb. On peut encore en juger par les halles ou décombres dans lesquelles on trouve des parties de ces minéraux. Nous observerons encore, que ces filons ou veines sont les plus hautes en exploitation qu'on ait vu dans les Vosges. C'est encore une preuve, comme nous l'avons dit, de l'élévation naturelle de ce terrain sur les autres, puisque les filons qui se trouvent en état d'être exploités dans les vallées de Ste Marie, sont au moins plus de 5 cent pieds plus bas que ceux-ci..."*

Ainsi s'exprime (dans un manuscrit de 1782) Antoine Grimoald MONNET qui repéra ce secteur deux siècles avant nous, sans cependant établir le lien du terrain avec l'histoire.

Pourtant les mines du Blutzenberg sont citées déjà dans les comptes du troisième quart du XVI<sup>e</sup> siècle (mines *Saint-Jean* et *Saint-Mathieu*)<sup>8</sup> ; au départ simples recherches, elles ne sont cependant pas décrites dans les procès-verbaux de visite (qui n'évoquent que les mines productives) avant les années 80. On en trouve alors la description en 1586 (H. Hipp, mines *Pfennigthurm* et *Saint-Jean*)<sup>9</sup>, 1597 (mines *Pfennigthurm* et *Haus Österreich* réunies 20 ans auparavant)<sup>10</sup>, en 1602 (W. Prechter, mine *Pfennigthurm*)<sup>11</sup>, 1603 (H. Empl, mine *Pfennigthurm* qui possède une galerie supérieure et une galerie inférieure, mine *Haus Österreich* au *Starckpach*)<sup>12</sup>, 1614 (H. E. von Falckhenstein et H. Balder, mine *Pfennigthurm*, en bas, poursuite de la galerie *Storckhenbach*)<sup>13</sup>. Pour un secteur minier somme toute très limité, nous avons là un exemple remarquable de longévité, surtout quand on considère le rendement quasi-inexistant de ces mines.

A la suite de la redécouverte du secteur liée... au levé de la feuille géologique à 1:50000 de Gérardmer, le pré-inventaire de terrain a conduit à la cartographie d'un essaim de plus d'une vingtaine de haldes. L'équipe de D. MARTIN y pratiqua la réouverture et l'étude, de 1973 à 1980, de 10 galeries (dont le dénoyage d'un très beau puits inondé boisé)<sup>14</sup>. En 1975-77, elle y réalisa la première fouille archéologique, dans l'Est de la France, d'un site minier de surface, une maison avec son poêle. Le mobilier mis au jour sur ce carreau (céramique culinaire, céramique de poêle, verre à boire, éléments de la vie matérielle, jouets...) en fait l'un des sites vosgiens les plus riches<sup>15</sup>. En un point de cette halde d'ailleurs s'observe une concentration de scories de forge (la forge minière était l'endroit où se pratiquait l'élaboration ou la réparation de l'outillage du mineur). Quelques charbonnières visibles dans le proche environnement ont pu produire le combustible nécessaire.

La direction du filon principal (NE-SW) nous est livrée par un alignement de quelques entonnoirs d'effondrements, ainsi que par l'une des galeries de la mine inférieure (dite "mine 4"). Au Nord-Est, la fracture se prolonge dans le granite du Brézouard, sur 1700 mètres, pour réapparaître dans les gneiss où elle constitue le faisceau principal du secteur minier de l'Altenberg<sup>16</sup>. Cette fracture constitue la bordure orientale d'un fossé d'effondrement d'âge tertiaire interne au socle vosgien<sup>17</sup>. La plupart des haldes sont stériles et ne montrent que des fragments de la roche locale (gneiss à biotite et sillimanite) plus ou moins faillée: ce sont les haldes des travaux restés à l'état de recherches. Les quatre haldes principales cependant sont fortement minéralisées. Le plus remarquable est l'abondance des minéraux dits d'oxydation, c'est-à-dire des formes remaniées des minéralisations primaires sous l'action des infiltrations d'eaux météoriques (dissolution, réprécipitation sous une forme plus oxydée). Ces espèces, jointes à l'abondance de formes hydroxydées du fer, constituent dans les parties hautes des filons ce qu'on appelle le "chapeau de fer".

H. BARI<sup>18</sup> y a déterminé 26 espèces, dont 7 étaient alors inédites à l'échelle du district minier de Sainte-Marie. En voici la liste (les plus remarquables sont en italiques,

les plus rares affectées d'une astérisque) : galène, chalcoppyrite, cuivre gris, pyrite, marcasite, sidérite, quartz, fluorite (espèces primaires), covellite, *cuivre natif\**, *cuprite\**, *malachite*, *céruosite*, *brochantite\**, *anglésite\**, *lunarite\**, *tsumébite\**, *pseudomalachite*, *pyromorphite*, *érunite\**, *miméite*, *massicot\**, lépidocrocite, goéthite, limonite, kaolinite.

Ce chapeau de fer passe ainsi pour un des plus riches des Vosges, en nombre d'espèces, en quantité et en qualité. L'abondance - certes relative - des minéraux d'oxydation dans les haldes en fait un musée naturel facilement visitable et très didactique.

### 3. LE LAVAGE DES MINÉRAIS DU BLUTTENBERG.

Le lavage des minerais consiste en une suite d'opérations assez complexes et qui nécessitent un savoir-faire élaboré. Le principe en est cependant simple: le produit brut sorti de la mine est tout d'abord bocardé, c'est-à-dire finement concassé, à la main ou à l'aide d'une machine appelée bocard. Ce qui est lourd (le minerai) est ensuite séparé par l'intermédiaire d'un courant d'eau qui entraînera ce qui est léger (la gangue et la roche encaissante). Le minerai (les *schlicks*) se concentre ainsi à l'amont de la chaîne. Les stériles s'accumulent en aval sous forme de sables et de limons (ces derniers sont appelés les *schlamms*).

De telles laveries ont été fouillées dans le district de Sainte-Marie-aux-Mines, totalement (carreau Samson<sup>19</sup> ou partiellement (laverie des Treyer à la Petite-Lièpvre<sup>20</sup>, laveries de la Porte de Fer et de Saint-Philippe ou Saint-Jean à Fertrupt<sup>21</sup>). Au Bluttenberg, aucune investigation archéologique n'a eu lieu et on ne peut rien dire sur l'organisation précise du lavage. Cependant, un examen attentif des berges du ruisseau, en aval de l'essai de haldes, montre diverses coupes stratigraphiques "naturelles" dans des matériaux plus ou moins lités, à dominante de sables rouille (ferrugineux) et de limons: ce sont des accumulations de résidus de laveries, ou *haldes de lavage* (allemand *Waschhalden*). De telles structures ont passé longtemps inaperçues, et la cartographie des vestiges miniers vosgiens les a le plus souvent ignoré: en effet, ces champs d'épandage tapissent en glaciaires très aplatis les fonds de vallées, et seul un examen d'éventuelles coupes fraîches dans les berges, avec un peu de chance, en livre l'existence<sup>22</sup>.

Le plus étonnant, dans le petit secteur minier du Bluttenberg, est l'étendue de ces affleurements: sur près de 200 mètres de berges le long du ruisseau. Il n'est pas possible, en l'absence de mise en oeuvre de sondages, d'affirmer quoi que ce soit sur la continuité de ces champs d'épandages, et il se peut que nous ayons affaire à plusieurs laveries indépendantes correspondant aux trois ou quatre mines productives du secteur.

Il est certes facile de faire de la prospective: le premier stade de l'investigation serait de rafraîchir à la truelle les affleurements de profils, et de relier ces indices par une topographie fine. Ensuite, un levé en courbes de niveau de la morphologie du terrain aiderait à la compréhension de l'organisation de cet espace (recherche des emplace-

ments des stations de bocardage, des axes hydrauliques, des bacs ou auges de lavage, des bacs de décantation, des champs d'épandages...). Enfin, toute une *minéralogie* des sables et limons de laveries reste à mettre en oeuvre, par exemple par la caractérisation des espèces au moyen des rayons X. L'*analyse granulométrique* (proportions des fractions de chaque tranche de tailles de grain, pour chaque niveau échantillonné) peut également être porteuse d'enseignements. Tout cela sans encore procéder au moindre sondage...

De beaux jours pour l'archéologie, si les décideurs lui portent vie.

#### **4. LA METALLURGIE AUTOUR DE SAINTE-MARIE-AUX-MINES: LES SOURCES ECRITES ET ICONOGRAPHIQUES.**

*Avertissement.* La métallurgie du cuivre, du plomb et de l'argent, et en particulier celle des cuivres argentifères, est une suite d'opérations d'une complexité déroutante. Nous avons tenté de l'exposer le plus clairement possible dans l'article cité en note [4]. Le lecteur comprendra que nous ne pouvons pas reproduire ici ce développement, et voudra bien s'y reporter. Cependant, on pourra saisir même sans avoir assimilé toutes les subtilités technologiques de la métallurgie l'essentiel de ce que nous allons à présent développer, après avoir pris connaissance des quelques définitions qui suivent.

##### **Trois définitions.**

Le *grillage* est une oxydation; c'est l'opération qui permet de se débarrasser, autant que possible, du soufre et de l'arsenic. Ainsi dans le cas idéal, le sulfure (le minerai) passe à l'état d'oxyde.

La *réduction* est l'opération qui fait passer la matière de l'état d'oxyde à l'état de métal. Le combustible (charbon de bois) joue le rôle d'agent réducteur.

La *coupeellation*, ou *affinage* de l'argent, est une fusion oxydante du plomb argentifère : le plomb passe à l'état d'oxyde, la litharge, liquide à la température atteinte, libérant ainsi la galette d'argent.

L'exploitation des textes est encore très inégale et ne permet pas encore d'écrire une histoire de la métallurgie vosgienne. Nous recenserons ici les seules sources écrites porteuses d'informations sur le plan des implantations géographiques, des infrastructures et des composants (fourneaux, mobilier,...) des fonderies, enfin des techniques de la métallurgie.

##### **Les XVIe et XVIIe siècles.**

Pour le XVIe siècle, on retiendra surtout les documents comptables exceptionnellement complets de la fonderie de Wisembach<sup>24</sup> (en particulier, G. RECH a exploité une série continue de comptes pour la période 1542-1597).

Pour Sainte-Marie, STOLZ<sup>25</sup> signale un document exceptionnel, car bourré de détails techniques, sur un projet d'aménagement d'une fonderie dans la vallée d'Echery, en 1530. On a trouvé l'emplacement approprié, *sur un petit ruisseau qui présente une forte chute* (cascade, ou simple déclivité ?); on s'apprête à construire une roue de 26 pieds et un ensemble de 4 soufflets. Les forêts alentours sont estimées propres à fournir le bois et le charbon pour quatre fourneaux pendant 10 ans. Elles sont reliées à la fonderie par un système de *glissoires en bois*. Deux fourneaux existent déjà; ils ont nécessité 6000 briques<sup>26</sup>, de l'argile, 10 *viertel* de chaux, du bois (8 *fuder* de planches, des lattes, 18000 bardeaux), 39000 clous, un chapeau de fourneau d'affinage, 2 moules, 3 paires de soufflets. On fit appel pour ce projet à un homme de l'art, le *Bergrichter* de Rattenberg Wolfgang Schenmann.

Un règlement en 32 articles pour la fonderie autrichienne du Val de Lièpvre est édicté par l'archiduc Ferdinand en 1533<sup>27</sup>.

En 1551, nous trouvons l'un des rares documents à *énumérer les fourneaux* et à en donner des rudiments de localisation géographique. Il s'agit de la vente par G. Ingold (au seigneur de Ribeaupierre) de ses *fonderies de la Petite-Lièpvre*<sup>28</sup>.

Celles-ci, construites par le célèbre concessionnaire Reinhard Wid quelques décennies auparavant, alors que seul l'Altenberg était en activité, comprennent notamment

- 4 fourneaux et 4 soufflets
- 2 halles à charbon
- une fonderie d'affinage avec 2 fourneaux (de coupellation) et 3 soufflets
- près de celle-ci, 3 aires de grillage murillées couvertes
- une *leymhütte* (peut-être une aire de stockage de l'argile qui constitue une matière première des fours ?).

Les fonderies Ingold sont relayées, apparemment du côté amont, par les fonderies Ebler (autre grand concessionnaire des mines).

Mais au plan technologique, la mutation fondamentale dans l'histoire de la métallurgie du cuivre et de l'argent a été l'introduction des *Saigerhütten*, c'est-à-dire un savoir-faire paru vers le milieu du XVe siècle dans la région de Nuremberg, et qui permet de séparer l'argent du cuivre argentifère par le biais de trois opérations: la *fusion plômbeuse*, la *liqation*, le *ressuage*.

Le premier indice "vosgien" de cette technologie révolutionnaire est à chercher en... Forêt-Noire<sup>29</sup>. Dans la première moitié du XVIe siècle, la fonderie seigneuriale de la Maison d'Autriche (pour fondre le minerai sainte-marien revenant à l'archiduc) était située sur les terres des ducs de Lorraine. En 1551, le duc entravant l'approvisionnement en bois, on recherche et on trouve une implantation nouvelle : Oberried (Forêt-Noire). C'est une *Saigerhütte*. Mais - on l'imagine volontiers - les frais de transport des matières premières (minerais notamment) sont trop élevés, le choix d'Oberried est une erreur économique. En 1558 sur avis d'experts tyroliens, l'archiduc fait

construire une nouvelle *Saigerhütte* au Bonhomme, où d'autres fonderies sont déjà en activité. La nouvelle fonderie est pourvue d'un Règlement en 18 articles<sup>30</sup>, les deux premiers stipulant que les techniciens recrutés doivent savoir...*saigern*. Diverses précisions techniques y sont incluses : la présence d'un *Erzkasten* (pièce de stockage du minerai), de magasins à bois et à charbon de bois; la manière d'opérer les échantillonnages à divers stades d'élaboration des produits; le protocole des pesées d'argent...

Revenons aux premières fonderies du Bonhomme. En effet selon BAQUOL<sup>31</sup>, le seigneur de Ribeaupierre y fait construire en 1551 "*cinq nouveaux fours*" (étaient-ce déjà des *Saigerhütten* ?), "*répartis sur une ligne allant de la dernière scierie, au-dessus du Bonhomme, jusqu'à la cour d'Ermelspach*"<sup>32</sup>.

Cette date de 1550 - ou 1551 - apparaît aussi l'une des plus importantes sur le plan de l'extraction minière : c'est alors qu'on découvre en masse le Neuenberg, c'est-à-dire les filons au Sud d'Echery, ainsi que les riches filons du bois de Saint-Pierremont, du côté des ducs de Lorraine et, peu après, ceux de Bussang. Ces filons ont un point commun : la minéralisation y est de cuivre gris argentifère. Pure coïncidence, la mise en exploitation du cuivre argentifère et la maîtrise du *Saigern* dont la technologie a mis près d'un siècle pour atteindre l'Alsace? Nous n'avons pas encore la réponse, mais voici une des problématiques actuelles de la recherche.

La technologie du *Saigern* est à nouveau attestée avec la construction de la fonderie de Bourg-Bruche en 1568, fonderie dite "*du Weilerthal*"<sup>33</sup>.

En 1578 est faite la proposition de transposer à Paris la fonderie archiducal du Bonhomme<sup>34</sup>.

Plus loin, nous trouvons en 1590 un inventaire du complexe d'Urbeis, acheté par le baron Ulrich de Stadion, grand prévôt de la seigneurie de Belfort<sup>35</sup>. Celui-ci comprend 2 fonderies, 6 fourneaux, 2 arbres et 2 roues, un fourneau d'affinage, un fourneau de grillage (*Brannherd*), 2 aires de grillage, 2 halles à charbon, 7 pièces de stockage de minerai. Le document signale aussi le canal, et détaille l'outillage (pelles, moules, crochets, tamis, mesures, balances...).

Enfin en 1635 au moment où éclate la guerre de Trente Ans, un document de Heyd de Heidenburg<sup>36</sup>, nous décrit

- la fonderie *autrichienne* du Weilerthal à Urbeis, dirigée par Georges Mathis. Le texte est un "état des lieux" sommaire, et un état des productions et débouchés (l'archéologue y relèvera la présence d'un stock de 9 quintaux de briques). Malgré la faiblesse des productions, les soucis d'approvisionnement en bois y restent constants : on se tourne à l'époque vers le "Bois de Vau" en Lorraine et les forêts de Bergheim...
- la fonderie des *Ribeaupierre*, malheureusement non localisée. De Heidenburg y remarque une anomalie de la production de cuivre, très inférieure à celle que per-

mettait de prévoir la petite épreuve. Si le *Bergrichter* incrimine la présence de fer (v. plus loin, à propos des écrits de Monnet), le directeur de la fonderie d'Urbeis, consulté également, certifie au contraire qu'on en a tiré plus de cuivre qu'es-compté...

## Le XVIIIe siècle.

Les textes concernant le XVIIIe siècle sont plus fréquents et surtout infiniment plus informants sur le plan des technologies. Dès le démarrage, on notera un recentrage des établissements autour de Sainte-Marie-aux-Mines (et de La Croix-aux-Mines). Pour 1736, nous possédons un "état des lieux"<sup>37</sup> des deux fonderies: au total 4 fourneaux de fonte, un fourneau d'affinage ou coupellation (par fonderie, sans doute), un fourneau de liquation, un fourneau de recuit ou de ressuage, un fourneau de raffinage du cuivre, enfin un atelier de grillage. Sur les *techniques*, on note par exemple que le *grillage* des minerais arsenicaux du Rauintal se fait sur le site, dans un fourneau spécifique (*Brennofen*), alors que les cuivres gris de la Petite-Lièpvre sont livrés bruts (ou "crus"), avec cependant de la chaux comme fondant. Le protocole suivant est toujours celui du *Saigern* (trilogie fusion plombeuse - liquation - ressuage). Les auteurs préconisent la construction d'un fourneau spécial pour la fusion plombeuse (*Frischarbeit*).

Deux ans après<sup>38</sup>, l'un des trois experts, Seidensticker, maître de fonderies du Harz donc faisant autorité, se référant à sa visite de septembre 1736, va plus loin dans l'analyse et les conseils. On apprend ainsi que le fourneau de grillage du Rauintal est flanqué d'un *Windofen*, littéralement *four à vent*; le texte est clair, il s'agit d'un four non pourvu de soufflets, dans lequel la soufflerie est remplacée par un tirage naturel de l'air. Aurions-nous affaire à une sorte de prototype du *four à réverbère*, peut-être celui que décrit Schlütter en 1738? Cet ensemble est situé à trois quarts d'heure de distance des fonderies, d'où un problème de transport des minerais grillés<sup>39</sup>.

La coupellation se pratiquait selon l'ancienne méthode avec d'énormes bûches (dont on aurait d'autres usages!), aussi Seydensticker préconise-t-il la construction pour cette opération d'un *four à réverbère* (*Windofen*), se référant tout particulièrement à l'économie de bois: ce fourneau fonctionne en effet avec de simples fagots. Mais, insiste Seidensticker, il importe d'apprendre... à s'en servir. Par ailleurs, cet expert réitère son conseil de construire un fourneau spécifique pour la fusion plombeuse. Pour 1746<sup>40</sup>, nous trouvons un document fort détaillé sur la métallurgie du plomb argentifère, avec notamment la "recette" de la fabrication de la coupelle. On y relève deux particularités:

- le fourneau de fonte fonctionne au charbon de terre extrait "sur place" (petit gisement houiller près d'Échery ?)
- on ajoute du salpêtre comme fondant<sup>41</sup>.

Une question importante dans l'histoire des techniques est de savoir quand fut construit le fameux four à réverbère dit de Sainte-Marie. La réponse est peut-être dans le manuscrit MS 16 de la bibliothèque de l'École des Mines de Paris (MONNET, *Essai des Principes de Métallurgie*), au chapitre 3 ("des mines de cuivre") : en 1755 (sans doute déjà 1754, v. *infra*), le petit fourneau de raffinage du cuivre, appelé *garofen* par les allemands, fut remplacé à Sainte-Marie par un grand fourneau à réverbère qui permit de traiter à la fois jusqu'à 90 quintaux de cuivre noir. Monnet donne de ce fourneau une description assez détaillée; il s'agit d'un four hémisphérique (rien à voir avec le four réverbère des Anglais) présentant une base similaire à celle d'un fourneau de coupellation, mais une voûte bien plus élevée; l'appareil est en pierres, très bien lutées car le feu y "produit un effet terrible". Le fourneau est pourvu de 4 soufflets.

Dans le manuscrit MS 31 du même auteur, il est précisé que Gabriel Jars séjourna 10 mois à Sainte-Marie, en 1754. Il y aurait observé ce fourneau (dérivé du modèle de Schlütter?), et l'aurait ensuite adapté à Chessy, en y rajoutant une cheminée.

En 1772, RADIUS<sup>2</sup> adresse à M. D'Aigrefeuille un rapport extrêmement détaillé, très clair, sur les techniques métallurgiques. Il confirme à nouveau l'emploi du four à réverbère (de forme intérieure ovale, et comportant des soufflets), mais qui sert maintenant à trois opérations :

a. le grillage (36 heures) : cette "invention" est saluée pour l'économie de combustible qu'elle procure.

b. divers stades de grillage des mattes (dont RADIUS donne la composition : celles-ci contiennent Cu, Ag, Pb, Sb, S, As).

c. le raffinage du cuivre, à condition d'entourer celui-ci de charbon.

Là se trouve une information (?) curieuse : si RADIUS écrit en effet de ce four à réverbère qu'il a été "construit par Schreiber selon son étude et ses expériences", cette phrase est ensuite barrée!

Enfin une nouveauté : la coupellation se pratique à l'aide de fagots (plus de grosses bûches, ni charbon).

De Dietrich, qui visita les mines de Sainte-Marie en 1785, ne fait que reprendre avec une certaine fidélité les données de RADIUS.

Mais la source d'informations de très loin la plus riche pour le XVIII<sup>e</sup> siècle est le manuscrit MS 31 "*Exposé de la nature des minéraux qui se trouvent ou qui se sont trouvés dans les mines de Sainte-Marie, et de la manière dont on les y a traités*" de A.G. Monnet, 1802 (École Nat. Sup. Mines Paris). Deux caractéristiques émergent de cette oeuvre :

— Monnet, le premier, raisonne en *chimiste*, s'exprimant en termes d'*affinités*. Par exemple, il considère la présence de *fer* dans les cuivres gris comme très préjudi-

- cialable à la métallurgie de l'argent; il expose alors une technique qu'il dit avoir été éprouvée par Schreiber: l'addition de galène (dans la proportion de 2/3) aux mattes d'argent (1/3): l'affinité du soufre plus forte pour le fer que pour le plomb le fera s'unir au fer contenu dans la matte, le plomb ainsi libéré entraînant l'argent.
- Monnet “encense” littéralement l'école métallurgique sainte-marienne, qu'il situe au “top-niveau” à la fois pour la France et l'Allemagne.

Quelques “faits” parmi beaucoup d'autres :

- (sur les flux de matières) la métallurgie sainte-marienne utilise le plomb de La Croix-aux-Mines (où on ne pratique ni liqutation ni raffinage de cuivre)
- (sur l'organisation des usines) il y a deux fonderies à Sainte-Marie, chacune contenant 2 fourneaux à manche et deux fourneaux de coupellation (pour éviter les pertes de temps, il y a toujours un fourneau sur deux en activité). On retrouve ainsi— sauf pour les fourneaux d'affinage— les chiffres de 1736<sup>43</sup>. Si la *Schmelz* entre Sainte-Marie et Echery est localisée, on ne sait rien de l'emplacement de la seconde (Fertrupt ?)
- (sur l'innovation technologique) Schreiber — un des plus habiles métallurgistes de tous les temps, selon Monnet— introduisit la liqutation à la *litharge* et non au plomb réduit (économie de plomb, et débouché pour la litharge produite !)
- (toujours sur la technologie) depuis “bien longtemps”, le grillage (on le savait) comme le ressuage (là, c'est “nouveau”) se faisaient dans le *fourneau à réverbère*
- (encore sur l'innovation technologique) les élèves de Schreiber (dont Demuth) ont été à l'origine de la *plus grande innovation* (semble-t-il, pour la France et l'Allemagne) : ils remplacent trois opérations longues et fastidieuses, la liqutation, le ressuage et le raffinage du cuivre, en une seule, pratiquée dans le grand fourneau à réverbère : au lieu de 4 quintaux (dans les anciens fours), on traite à la fois 70 à 100 quintaux ! Ce fourneau “dit de Sainte-Marie” “*aurait servi de modèle à celui établi par Jars à Saint-Bel*” (dans les Monts du Lyonnais, on sait que le fourneau de Chessy fut construit en 1755)(v. *supra*).

### Les sources iconographiques.

L'iconographie locale est exceptionnellement riche. Elle a été décrite dans la publication citée en note [6]. Nous en reproduisons l'essentiel. La première figuration - et une des plus anciennes concernant la coupellation - est celle du graduel de Saint-Dié (vers 1510-1515). On y remarque le fourneau rond, plus élancé que sur les représentations ultérieures, et son chapeau de fer muni d'anneaux pour le soulever. La grue est également visible, mais le soufflet et son dispositif n'apparaissent pas (fig. 2).

La fonderie d'Heinrich Gross (1530) est plus complète et figure l'archétype des représentations ultérieures. On y voit deux fours parallélépipédiques hauts d'environ 2 mètres inclus dans une même maçonnerie, un fourneau de coupellation plus surbaissé que celui du *Graduel*, et à un seul anneau d'ancrage, la roue hydraulique (d'environ 4 mètres de diamètre), son coursier et son canal de fuite, l'arbre à cames et les soufflets (dont deux pour le seul fourneau d'affinage).



Fig 2. Le fourneau d'affinage de l'argent, sur le Graduel de Saint-Dié (vers 1510-1515)

Sur le grand hanap de Ribeaupierre (1543), on remarque le même dispositif, ainsi que, sur le devant, un énorme baquet d'eau. La *Cosmographie* en donne une représentation légèrement simplifiée (on n'y voit pas les joints de la maçonnerie des fours, ni le moule à lingots dans lequel le fondeur verse le métal).

Sur le "paysage minier" du Val de Lièpvre à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle conservé à la *Staatsarchiv* de Stuttgart<sup>43</sup> apparaît une fonderie plus complète. On y voit au premier plan l'aire carrée de grillage, puis sous un même toit trois fours parallélépipédiques (à deux avant-creusets) et un fourneau de coupellation très bas. L'architecture de la fonderie est rendue avec précision; on y remarque les coursiers qui attestent la présence de deux roues hydrauliques dont une seule apparaît, un vaste baquet pour refroidir les "lingots", une balance...

Sur aucune des représentations locales cependant n'apparaissent les fourneaux de liquation, de ressuage et de raffinage du cuivre (c'est-à-dire les installations des *Saigerhütten*) tels qu'ils sont figurés par Agricola.

Nous devons enfin à Heinrich Schickhart (vers 1590) plusieurs figurations sous la forme de croquis techniques annotés et cotés, concernant les fonderies du Rosemont (Vosges méridionales)<sup>44</sup>. L'une est une vue en plan de la fonderie dite autrichienne. On y voit l'aire de stockage du minerai, la roue (de 25 pieds, soit 7,15 mètres), son arbre, trois couples de soufflets et trois fours carrés, dont deux inclus dans un même bâti. Une vue en perspective figure ce dernier; des escaliers donnent accès à la partie supérieure des fours. La hauteur totale du bâti est de 18 pieds (5,15 m), celle des fours d'une dizaine de pieds. Leur trou de coulée, un peu surélevé, donne sur deux avant-creusets. C'est la figuration en "dessin industriel" et l'indication des cotes qui fait tout l'intérêt des croquis de Schickhart, ainsi que leur confrontation possible aux données à venir de la fouille.

## **5. L'ETUDE D'UN SECTEUR : LES FONDERIES DE LA HAUTE MORTE.**

La haute vallée de la Morte, à l'amont de La Croix-aux-Mines et du village du Chipal, offre la plus belle illustration du groupement *en série* d'installations métallurgiques. Nous les avons numérotées F1 (= fonderie N° 1) à F $\bar{n}$  d'aval en amont. La carte fig. 3 en montre l'organisation. Nous les décrivons sommairement. Ce secteur de la haute Morte est également désigné sous le nom des *Schlagues*, du nom d'une maison forestière construite sur le site F6, qui proviendrait, sous toutes réserves, de la présence des scories.

### **Le site F1.**

F1 constitue un complexe, fait d'une halde à scories d'environ 50 m de côté, occupant une sorte de bombement en rive droite, 450 m au Sud-Est du point 584 de la carte I.G.N., de part-et-d'autre du chemin, et deux petites haldes à charbon de bois, immédiatement en aval et en rive gauche. Les affleurements sont très médiocres.



#### **Le site F2.**

F 2, minuscule, passerait facilement inaperçu, à 1175 m au Sud-Est du point 584. On y remarque d'étranges scories noires en plaques minces (quelques mm).

#### **Le site F3.**

F 3 est encore 700 m en amont, et à 350 m en aval du point 789 (confluence de la Morte et du ruisseau du Pré de Raves). Il s'agit d'une halde à scories très plate qui affleure très mal, sur une cinquantaine de mètres, en rive droite.

#### **Le site F4.**

F 4, au lieu dit *Pré du Bois*, est une halde à scories qui couvre en un mince placage une terrasse fluvio-glaciaire à morphologie marquée, étendue sur 80 mètres en rive gauche du ruisseau, 150 m à l'ouest (et en aval) du point 789. Au Sud dans la pente, quelques mètres au-dessus, se trouvent encore deux plateformes côte à côte, sièges possibles d'un habitat. D'importants dégâts occasionnés par un engin forestier nous déterminèrent en 1991 à pratiquer sur ce site des sondages dans une optique de sauvetage.

L'un de ces sondages, S1 (fig. 4) a livré la base de ce qui paraît être un fourneau carré de 2,10 m de côté, conservée sur une hauteur de 60 cm environ, fait d'énormes pierres (jusque 90 x 40 cm), ainsi qu'un train de planches, probablement une rigole. Le remblayage se compose d'une quantité énorme de résidus de métallurgie (v. plus loin, § 8.). Un sondage très voisin, S2, a livré une stratigraphie de couches déposées par l'eau au moment de l'abandon (et peut-être même de l'incendie) de l'installation.

#### **Le site F5.**

F 5, peu net et peu étendu, est en rive gauche du ruisseau du Pré de Raves, 150 m à l'amont du point 789, dans un secteur où la vallée accuse une forte déclivité (une sorte de verrou).

#### **Le site F6.**

F 6 se situe un peu plus haut, de part-et-d'autre de la maison forestière *les Schlagues*. Cette accumulation de scories, sans morphologie nette car remaniée par divers travaux de voirie ou d'agriculture, s'étend sur pas loin de 200 mètres en longueur et 60 m en largeur. Une trace de canal s'observe à l'amont de la maison forestière.

#### **Le site F7.**

F 7 est à 700 m en amont du point 789, sur les deux rives du ruisseau du Pré de Raves. Il offre l'un des plus beaux exemples de l'organisation dans l'espace de ce type d'implantations industrielles. Il comprend en effet :

- en rive droite du ruisseau, une étendue de scories et un canal de 250 mètres. La trace de celui-ci est nette, il est encore par endroits totalement encaissé. La halde à scories (65 x 25 m) recouvre d'un mince placage une terrasse fluvio-glaciaire, qui surplombe de 5 à 6 mètres le cours du torrent. Encore au dessus s'étale une charbonnière, probablement l'emplacement d'un *entrepôt à charbon*.

- en rive gauche, trois haldes à scories, et un canal, beaucoup plus discret et

*pointillé* : blocs arrondis de granite en voie de désagrégation  
*tréfilé nord* : limite du fossé à scories et charbon de bois  
 Sc = scorie  
 C = céramique  
 Pa = paroi de four

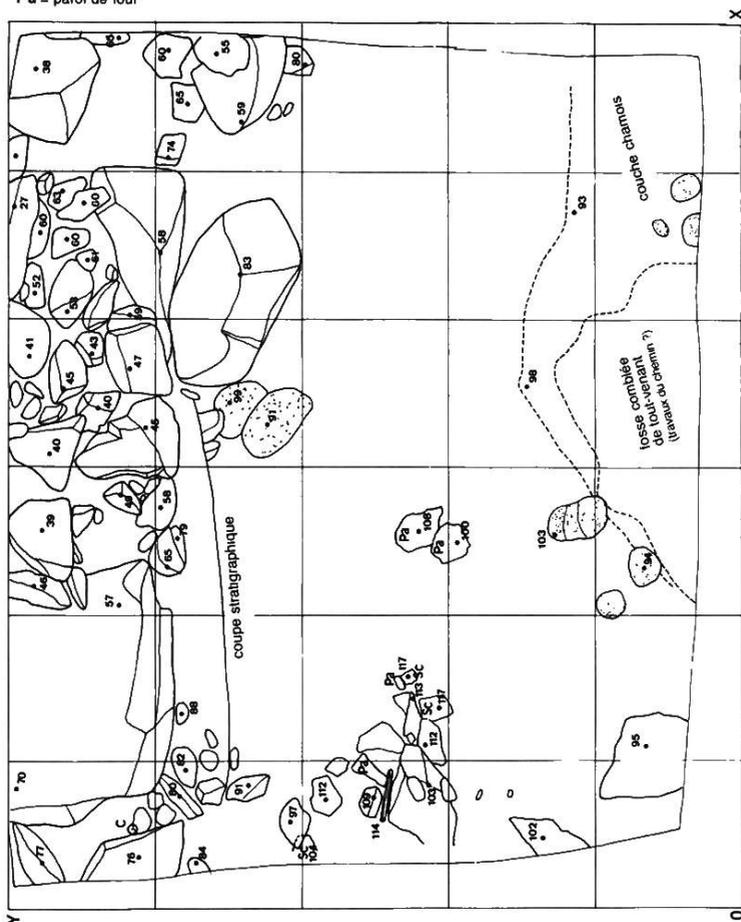


Fig 4. Site F4 de la haute Morte (Pré du Bois), sondage S1.

Fig 4a : premier état, montrant l'architecture du fourneau, à gauche, et la répartition d'éléments de mobilier. Les cotes altimétriques sont par rapport à un zéro de référence arbitraire.

presque totalement effacé, néanmoins reconnaissable sur une soixantaine de mètres. Les haldes à scories sont d'importance secondaire par rapport à celle de rive droite. La première relaye l'extrémité aval du canal et se confond avec la courbure naturelle de la terrasse fluvio-glaciaire de rive gauche. La seconde la prolonge tout en bas et s'allonge en terrasse (35 x 10 m) en bordure du ruisseau. La troisième, détachée, se confond à nouveau avec la terrasse naturelle.

De par sa situation, le plateau en rive droite nous a semblé d'emblée favorable à l'application des méthodes géophysiques. Une prospection magnétique a livré des anomalies présentant des caractéristiques avantageuses (fig. 5). Il peut s'agir de fours. Malheureusement, nous nous sommes heurtés à l'incompréhension totale de la propriétaire, qui exclut formellement toute forme d'investigation.

### **Le site F8.**

F8 est le plus élevé en altitude dans l'ensemble des Vosges centrales (900 - 910 m). Il se situe encore 600 mètres plus loin, soit 1300 m à l'amont du point 789. Il se compose de trois éléments : une vaste accumulation de charbon de bois en amont (rive gauche), une halde à scories formant plateau en rive gauche, une halde à scories très plate en rive droite, au ras du ruisseau (fig. 6). Il n'y a pas d'indice probant de canal; si un tel dispositif a existé, les remaniements dus à la Première Guerre Mondiale ainsi que la route forestière J.F. PELET en auront en effet effacé les traces.

*L'accumulation de charbon de bois* peut être détectée, par divers "affleurements", en bordure du ruisseau et dans le talus oriental d'une plateforme en excavation (dont nous parlerons plus loin), sur un allongement de 50 mètres. Il s'agit vraisemblablement d'un complexe de halles à charbon (ou "charbonnières-entrepôts"). Nous avons déjà été frappés sur les sites du Bonhomme (Rapport de prospection 1991) par l'extension importante des dépôts de charbon de bois, le plus souvent à l'amont des haldes à scories.

*La halde à scories de rive gauche* (65 x 20 m) recouvre en placage une terrasse alluviale, entre la route forestière J.F. Pelet et le ruisseau. Dans sa partie amont, cette terrasse est surcreusée d'une sorte de plateforme en creux (12 x 12 m). Terrassement lié aux installations de la Première Guerre Mondiale, ou à l'implantation d'une fonderie ? Nous apporterons plus loin la réponse à cette question.

*La halde à scories de rive droite* (50 x 15 m) forme un glaciais peu épais à moins d'un mètre au-dessus du lit du ruisseau, sur le fond alluvial du vallon. Ici se pose la même question que pour la halde centrale de rive gauche du site F7, de savoir si les débordements du torrent n'ont pas enlevé une partie de l'épaisseur de cette halde. Malheureusement, cette rive appartient à la même propriétaire peu enclin au dialogue que le site de rive droite de F 7.

### **Le site F9.**

F 9 se trouve en rive gauche de la Morte (ici très escarpée), à 400 m au Sud du point de confluence (cote 789) avec le ruisseau du Pré de Raves, et juste au-dessous du

surfaces rayées : planches, avec le cas échéant l'indication du pendage de leur surface

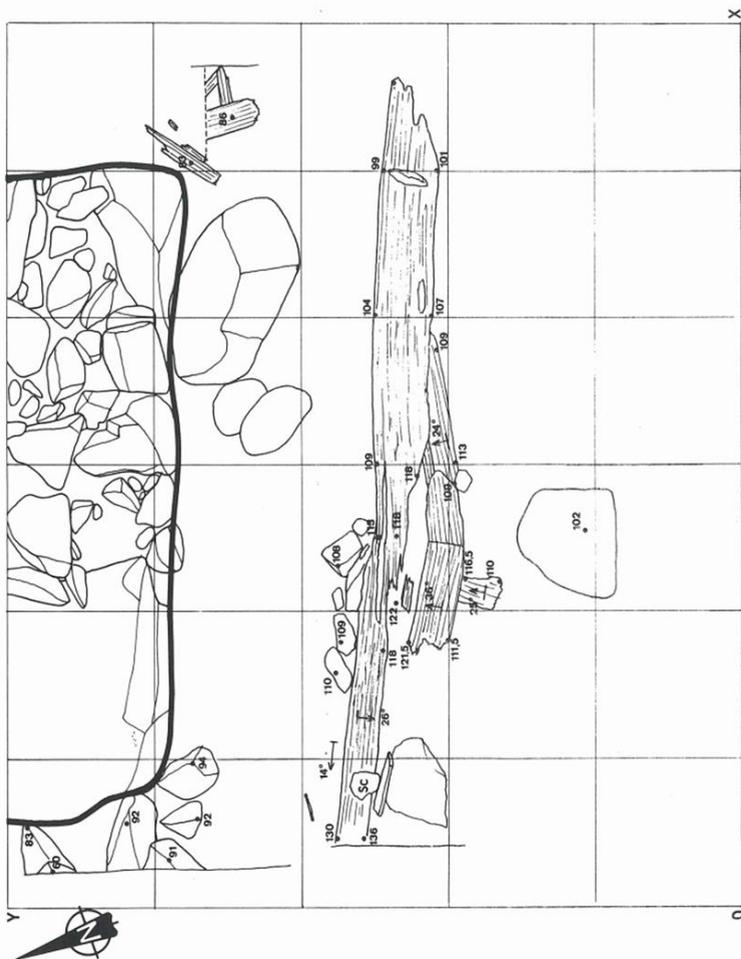


Fig 4b : deuxième état, montrant le caniveau en bois.  
Les carrés mesurent 50 cm.

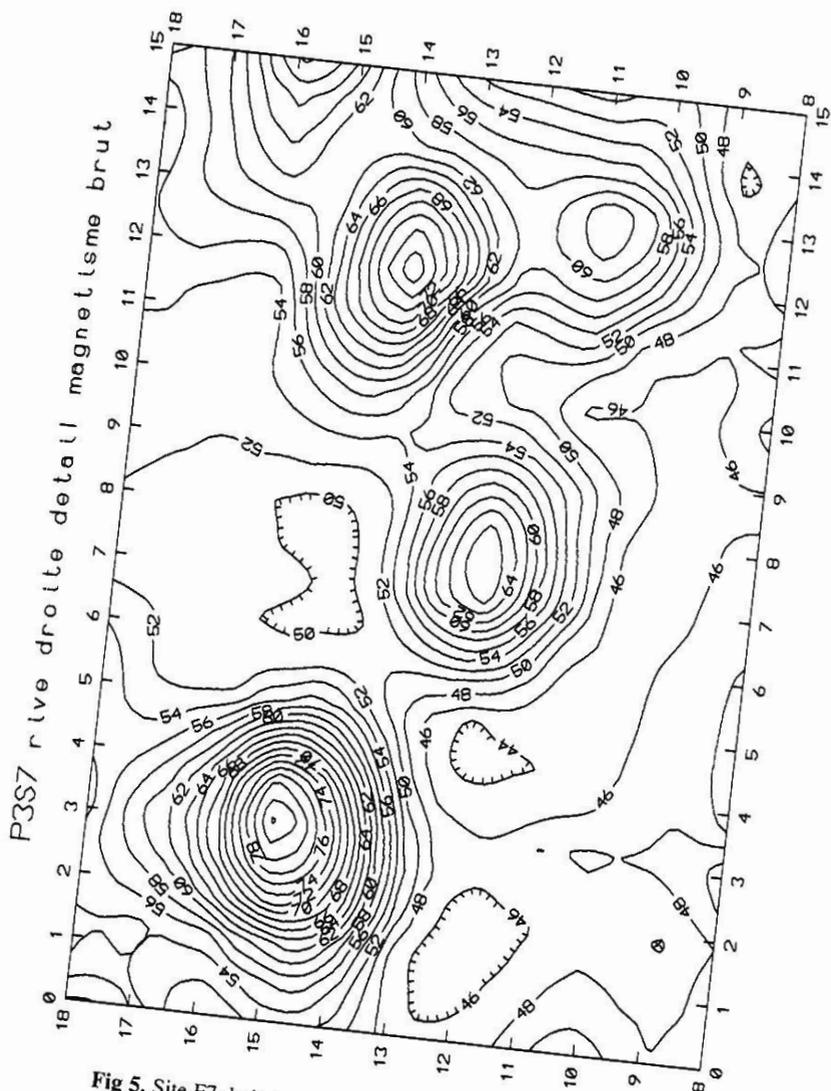


Fig 5. Site F7 de la haute Morte, rive droite, carte magnétique.

point topographique 874. La halde s'étale sur environ 50 mètres en rive gauche d'un petit affluent de la Morte, dans l'interfluve à une cinquantaine de mètres de la croisée des deux torrents. Elle se termine au sommet par une sorte de longue plateforme allongée sur une quarantaine de mètres, attenante au torrent du côté amont. Divers sondages y ont été effectués par les soins de l'ASMAC, guidés par les résultats de la prospection magnétique. La plupart des anomalies livrées ici correspondaient à des surépaisseurs de scories. Presque partout dans les sondages, la stratigraphie a montré une couche de cendres et charbon nivelant les irrégularités du sol d'origine, avant les épandages de scories, et contemporaine du fonctionnement de la fonderie. Dans un sondage numéroté S1, une tache rouge particulièrement spectaculaire (couleur S 20 du code CAILLEUX des couleurs de sols) d'un mètre-carré pourrait matérialiser la trace d'une aire de grillage.

## 6. UN SITE: F8 DU SECTEUR DE LA HAUTE MORTE.

La prospection ne peut se contenter d'une cartographie de ce qui est visible et d'une couverture géophysique. Pour se donner toutes les chances de faire le bon choix dans la perspective de l'implantation d'une fouille, il convient d'établir un diagnostic précis de la nature des anomalies géophysiques, par la mise en oeuvre de sondages qui en même temps nous livreront *la stratigraphie du site* et un échantillonnage des rejets industriels qui constituent le *mobilier archéologique*.

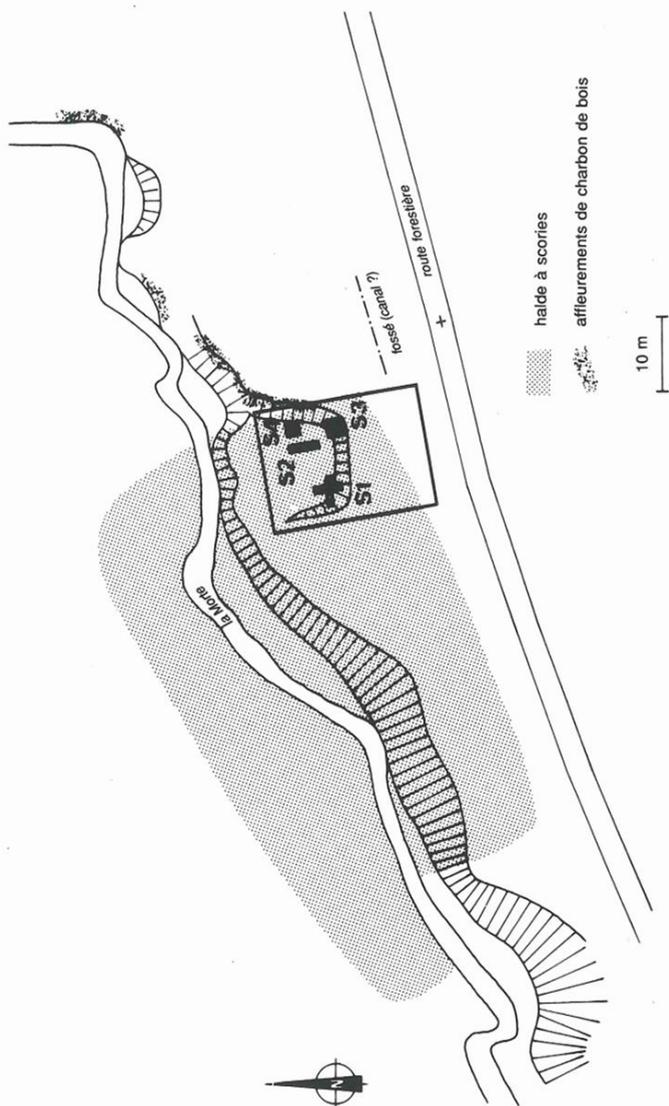
La morphologie nette de plateforme en creux dans la halde à scories de rive gauche, jointe à une carte d'anomalies magnétiques violentes, nous inclina à mettre en route en 1993 une série de 4 sondages (fig. 7). Nous les décrivons successivement. Cette plateforme se trouve à environ 2,10 m au-dessus du ruisseau, et à environ 2,35 m au-dessous du niveau de la terrasse principale.

Les sondages ont été orientés suivant un référentiel N80 / N170 qui correspond à l'orientation générale de la plateforme. Une notation uniforme des coordonnées ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) a été adoptée pour les quatre sondages, l'origine des  $x$  et des  $y$  se situant au coin sud-ouest du sondage S 1.

### *Le sondage S 1.*

S'il n'a mis au jour aucune structure immobilière, il a néanmoins permis de fixer la géométrie du sol, et d'offrir une stratigraphie du remplissage. Le sol ancien est une surface à peu près plane mais inégale dans le détail, dont l'altitude décroît légèrement vers le centre de la plateforme.

Trois taches rubéfiées apparaissent sur ce sol; elles correspondent à des aires chauffées et peuvent recevoir diverses interprétations : rejet de contenus de foyers encore en fusion (résidus métalliques, par exemple), aires de chauffe au sol...



**Fig 6.** Site F8 de la haute Morte, topographie générale.

*le rectangle délimite la zone ayant fait l'objet d'une prospection magnétique*

Le sol était coiffé localement d'une couche discontinue de charbon de bois parfois en gros morceaux, d'épaisseur irrégulière, qui a fait l'objet d'un prélèvement pour analyse (v. plus loin).

#### *Le sondage S 2.*

Il s'agit d'une tranchée nord-sud de 4 x 1 mètres. Elle a livré un niveau qui est indubitablement un *remaniement de matériaux de démolition de four(s)*: limon, terre plus ou moins rubéfiée (donc cuite), charbon de bois, pierres et scories. Ces matériaux paraissent avoir été étalés d'Est en Ouest, ce qui situe à l'Est de cette tranchée le four recherché. Au dessous, des poches de cendres et charbon, et un mince niveau charbonneux au sol d'origine, sont contemporains du fonctionnement du ou des four(s).

#### *Le sondage S 3.*

Ce sondage est carré, de 2,50 mètres de côté. C'est le plus informant sur le plan des structures immobilières. Il a livré en effet (fig. 8) le coin d'un mur en pierres sèches très grossièrement appareillées, de 40 à 50 cm de largeur. La branche sud est légèrement déversée vers l'intérieur par la pression du terrain. La partie la plus haute conservée de ce mur est à 90 cm au dessus du sol. A l'arrière se trouve un sol à peu près horizontal, plus élevé de 75 cm, qui fut manifestement surcreusé jusqu'au sol inférieur pour les besoins de l'édification du mur. Ce dernier ne s'explique pas comme mur extérieur de la fonderie: l'angle n'est pas droit, et le coin arrondi. On peut le considérer simplement comme mur de soutènement du terrain, ou bien, ce qui est moins vraisemblable, comme le mur contre lequel viendraient s'appuyer, plus loin, les fours...

A l'intérieur de la structure en coin, le sol inférieur est percé d'un trou de poteau, à 30-35 cm des bords du mur, ceinturé par quelques pierres de calage. Le sol intérieur est coiffé d'une couche à cendres et charbon de bois qui va en s'épaississant vers le mur, comme si ces résidus avaient été balayés vers les bords. Divers morceaux de parois de four, deux tessons et un résidu métallique se trouvaient sur ce sol.

Nous avons affaire au coin du "bâtiment" recherché, dont l'extension paraît donc effectivement correspondre à la dépression du terrain. Mais celui-ci se résoud à un simple toit reposant sur des poteaux; il n'y a pas de cloisons extérieures fermées; en effet, les cendres et charbons ont été balayés sur les côtés, jusqu'au muret bordant à l'extérieur la plateforme en creux, et nous n'avons retrouvé aucune trace de bois, ni discontinuité stratigraphique, qui pourrait marquer la base de telles cloisons. Ce toit ne devait pas être fait de bardeaux : les clous dans la couche de base sont d'une extrême rareté (comme ailleurs sur les autres sites). Il s'agissait donc soit d'un toit de grandes planches, soit d'un toit végétal.

#### *Le sondage S 4.*

Il a été réalisé avec l'aide des stagiaires dans le cadre des travaux pratiques du stage CNRS de perfectionnement à l'archéologie des mines et de la métallurgie, en septembre 1993. Il s'agit d'un carré de 2 m de côté, dont le côté ouest n'est distant que

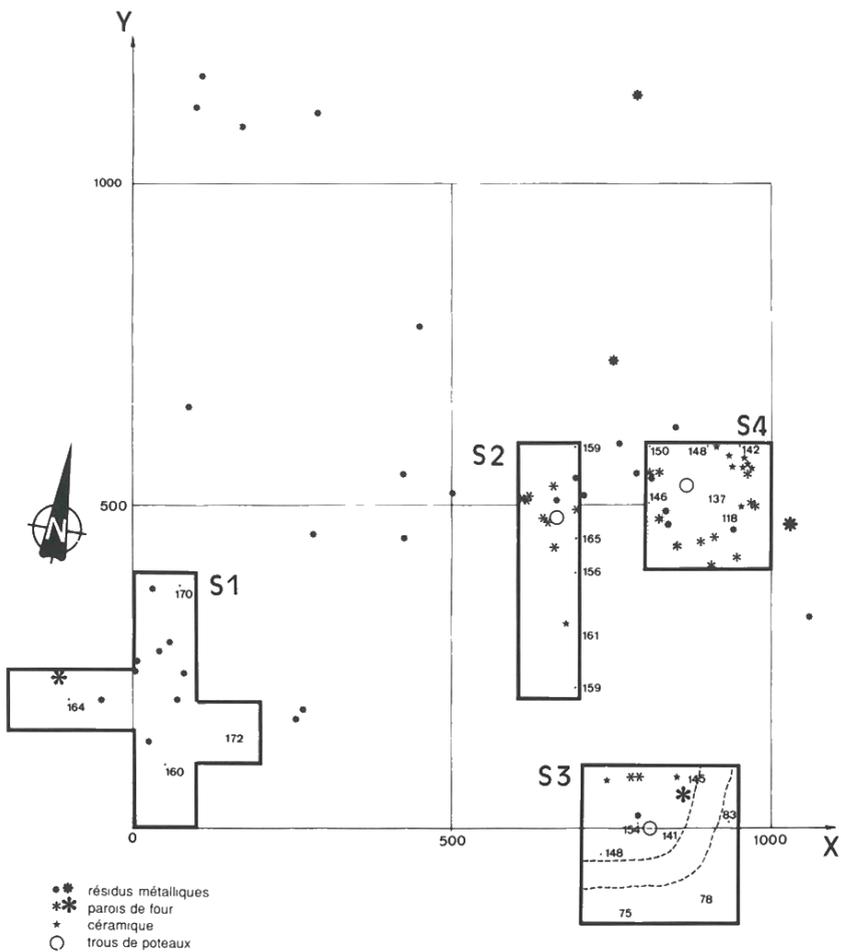


Fig 7. Site F8 de la Haute Morte, plan des sondages.

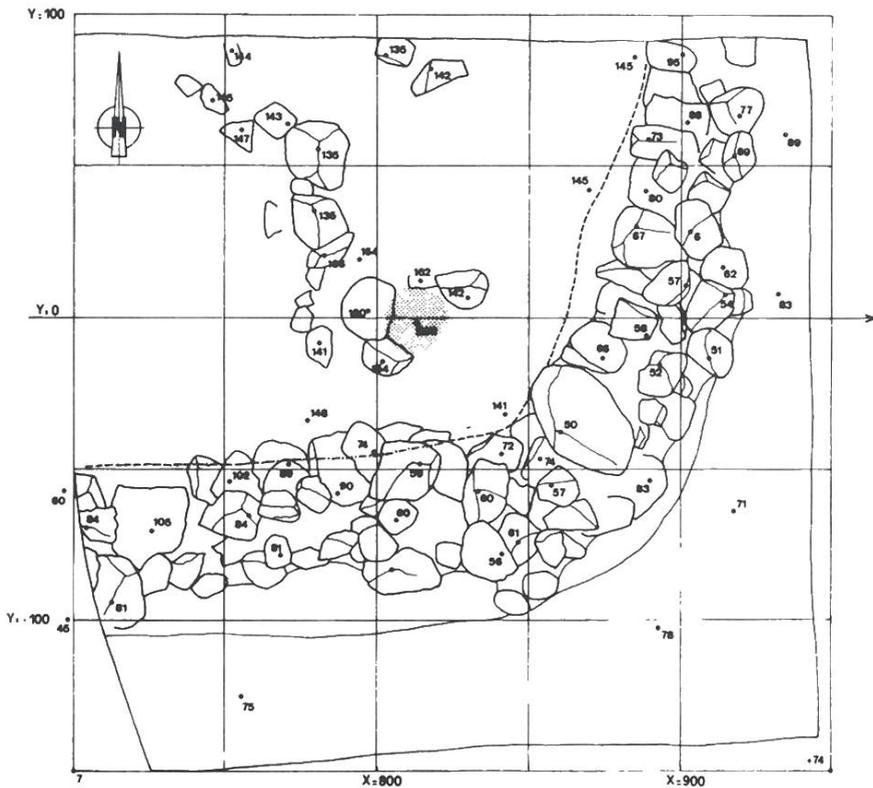


Fig 8. Site F8 de la Haute Morte, le sondage S3.

de 1 m du bord est de sondage-tranchée S 2, à la hauteur de la moitié septentrionale de celui-ci.

L'organisation du volume est gouvernée par l'existence, dans la moitié sud, d'*un massif très dense de petites pierres* nettement délimité; on n'en observe pas la bordure ouest, qui doit se situer dans la berme entre les deux sondages S 2 et S 4. Certaines de ces pierres sont indubitablement des parois de four. Les pierres sont liées par une terre chamois, qui offre une tendance à l'induration et à la rubéfaction. Le "toit" de ce massif n'est que 40 à 50 cm au-dessus du sol ancien relativement plat.

Nous sommes en présence d'une portion de *maçonnerie d'un fourneau totalement effondrée*, d'ailleurs localisée exactement au niveau du renflement de la couche de matériaux de destruction de four observée dans S 2.

A l'Est de ce vestige, et au flanc du talus, a été trouvé en outre une galette de métal en forme de fond de creuset (on la décrira plus loin).

## 8. LES RESIDUS DE LA METALLURGIE.

Les sondages effectués sur divers sites alsaciens (l'Altenberg à Sainte-Marie-aux-Mines, les fonderies F2 et F3 du Bonhomme) et lorrains (F4, F8 et F9 de la haute Morte, F4 et F5 du vallon de Lauterupt) ont livré un échantillonnage très complet des déchets laissés par ce type d'activité industrielle, que l'on désigne couramment par l'expression *spectre des matériaux archéométallurgiques*.

### *Méthodologie de la recherche.*

Ces sondages sont pratiqués sur des sites dont on sait que l'un d'eux sera le lieu d'une fouille : chaque sondage peut être ainsi l'amorce potentielle d'une fouille à venir, aussi *la plus grande rigueur* doit s'attacher à leur mise en oeuvre. Chaque objet (la moindre petite scorie par exemple) a été mesuré dans les trois dimensions de l'espace, définies par rapport à un référentiel si possible nord-sud-est-ouest mis en place pour chaque site. Un exemple : le sondage S1 (2 x 2 mètres) du site de la fonderie F5 de Lauterupt a livré 11 scories, 67 fragments de parois de fours, 8 résidus métalliques, 3 morceaux de plomb ou de litharge, 4 morceaux de combustibles, un objet en fer, 4 tessons de céramique. Chacun de ces objets est pris en compte dans un listing où figurent :

- le N° du sondage et les coordonnées (x, y, z) de repérage de l'objet dans l'espace
- le poids, véritable "carte d'identité" de l'objet qui permet de le retrouver en cas de perte du sachet polyéthylène sur lequel figurent ses coordonnées
- la couleur, par référence au *Code de couleurs des sols* de CAILLEUX
- un bref descriptif.

En outre pour chaque sondage, divers prélèvements de "niveaux stratigraphiques" font l'objet de lavage, tamisage et tri manuel. Ce dernier constitue l'opération la plus

fastidieuse de ce type d'archéologie, dévoreuse d'heures de travail. Il s'agit de séparer à la pincette (ou par flottage, pour le charbon de bois !) les grains des matériaux de différentes natures. Mais c'est à ce prix qu'on pourra *quantifier* la composition de chaque niveau dans une stratigraphie.

A l'exception des cendres et combustibles, l'étude des matériaux archéométriques fait appel aux méthodes traditionnelles de la pétrographie et de la minéralogie : observation en lame mince (microscope polarisant) ou en section polie (microscope métallographique), diffraction des rayons X pour la détermination des phases minérales cristallisées, analyse chimique semi-quantitative (microscope électronique à balayage) ou quantitative (microsonde électronique). A présent, passons en revue le spectre de ces matériaux.

### 1. Les minerais.

Les minerais sont évidemment rares sur les sites de métallurgie (un petit morceau de galène sur le site F3 du Bonhomme...): ils ont été réduits en métal!

Par contre, il est clair que leur étude est incontournable si l'on souhaite comprendre les processus de la réduction et les qualité et quantité de métal produit. Trois paramètres interviennent<sup>46</sup> :

- leur nature minéralogique qui détermine en grande partie le cheminement du procédé de la réduction. Le plus souvent, ce sont des sulfures (plomb) ou des sulfosels (cuivres gris argentifères ou groupe de la tétraédrite, dans les textes anciens *glaserz*).
- leur composition chimique, qui détermine évidemment la quantité de métal qu'on peut en tirer, mais dicte aussi, en partie, les techniques à mettre en oeuvre. Ainsi, la teneur en argent des cuivres gris peut varier de zéro à 15%, avec une moyenne de... 1%<sup>47</sup>; leur teneur en fer peut être appréciable et nuire à la bonne marche de la métallurgie<sup>48</sup>. La teneur en argent (ou en cuivre, ou en fer) même approximative d'un cuivre gris n'est à priori pas déductible visuellement; aussi l'achat d'une concession d'un tel gisement était-il une loterie ! Quant à l'achat du minerai, il s'effectuait après les essais de l'éprouveur assermenté.

Les analyses chimiques modernes peuvent être utilement confrontées aux comptes de production pour tenter des *bilans*. Ainsi par exemple pour 1633-1634 au Neuenberg, le rapport pondéral du cuivre à l'argent produit est-il d'environ 35<sup>49</sup>, c'est-à-dire à peu près conforme aux analyses chimiques. Il n'en est pas de même du rapport du poids de cuivre au poids de minerai: 42% s'après 11 analyses de cuivres gris du Neuenberg, 10% d'après les comptes de Genault, ni du rapport d'argent au poids de minerai: 1,3% d'après les analyses, 0,3% d'après les comptes. *On pressent une perte énorme à la métallurgie*. Ces très grandes quantités de cuivre et d'argent seraient-elles passées dans les résidus métalliques et dans les scories ?

- la nature pétrographique du corps minéralisé (du gisement): relations morphologiques et quantitatives entre le minerai et sa gangue, nature minéralogique de la

gangue, présence d'espèces métalliques non utiles (blende, pyrite, arsenic...); celle-ci détermine les techniques du lavage et son efficacité.

## 2. Les minerais modifiés.

Il s'agit de minerais qui ont subi des transformations dans les processus métallurgiques : minerais grillés, minerais en voie de réduction (poreux, parfois bulleux, vitrifiés en surface...). Les échantillons sont encore rares dans les sites étudiés.

## 3. Les scories.

Les scories sont le marqueur par excellence de la proximité d'une fonderie<sup>30</sup>. Ce sont des matériaux fréquemment vitreux, donc non cristallisés; leur étude recourt alors à l'examen macroscopique (morphologie externe et structure visible en cassure ou section polie) et à l'analyse chimique<sup>31</sup>. Mais la prospection englobait un certain nombre de sites que nous avons peu évoqué ici, les implantations médiévales. Autour des Xe et XIe siècles, les fonderies s'installèrent à proximité du gisement (par exemple, à Sainte-Marie, le secteur de l'Altenberg), elles n'étaient pas tributaires de l'énergie hydraulique. En conséquence, les températures atteintes étaient plus faibles et la fusion de ces produits moins complète: les scories de la métallurgie de l'an Mil sont en grande partie cristallisées, faites d'un enchevêtrement de lamelles d'un silicate de fer, la *fayalite*<sup>32</sup>. On perçoit déjà les rudiments de l'utilisation des scories comme marqueurs de la chronologie, presque comme fossiles directeurs. Bien sûr cette chronotypologie a été affinée et étendue au XVIIIe siècle<sup>33</sup>.

Par excellence, les scories des XVIe et XVIIe siècles sont de type " *biphases*". Leur aspect évoque en effet de deux phases immiscibles (comme les gouttes d'huile dans l'eau), des sphérules grises ou noires dans une matrice gris-verdâtre à bleue. Ces deux phases sont presque fortement vitreuses et peu contrastées sur le plan chimique.

La morphologie externe des scories est saisissante: elles offrent toutes les structures des coulées de lave, les bulles n'y manquent pas, ni les figures de fluidalité lisibles sur la cassure par des traînées à pigmentation contrastée. Fréquemment, plusieurs coulées de quelques centimètres d'épaisseur se superposent, la base de la coulée supérieure moulant le sommet de la coulée inférieure. Les échantillons de grande taille offrent la courbure du bord du réceptacle qui accueillit la coulée, et montrent souvent en incrustation les grains de sable du substrat (ce qui permettrait de les dater par thermoluminescence !).

Il existe d'autres types de scories, comme des scories extrêmement déchiquetées et emprisonnant des bouts de charbon de bois, qui se sont solidifiées dans le fond du fourneau, des micro-scories en forme d'échardes ou de gouttelettes, ou encore de petites scories très noires à cassure conchoidale et aspect d'obsidienne<sup>34</sup>, ou enfin des parois de four scorifiées.

La chimie des scories permet d'en affiner la typologie. La figure 9 en montre une représentation triangulaire. Les teneurs en fer sont importantes, celles en plomb parfois considérables.

Des phases cristallisées très discrètes peuvent être mises en évidence par des méthodes fines d'analyse, qui permettent de construire *toute une minéralogie des scories*. Le tableau I expose quelques-unes de ces déterminations. A cela s'ajoutent les cristallisations généralement microscopiques dans les bulles et fentes, qui rappellent les formations extrêmement variées décrites au Laurium<sup>55</sup>. Noter bien que les minéralogistes acceptent de classer comme *minéraux* authentiques ces néoformations du Laurium pourtant développées dans des produits d'origine anthropique. D'ailleurs, bien des néoformations (dont la fameuse série des arséniates, un domaine classique de la minéralogie<sup>56</sup> dans les anciens travaux miniers) doivent à la main de l'Homme leur existence...

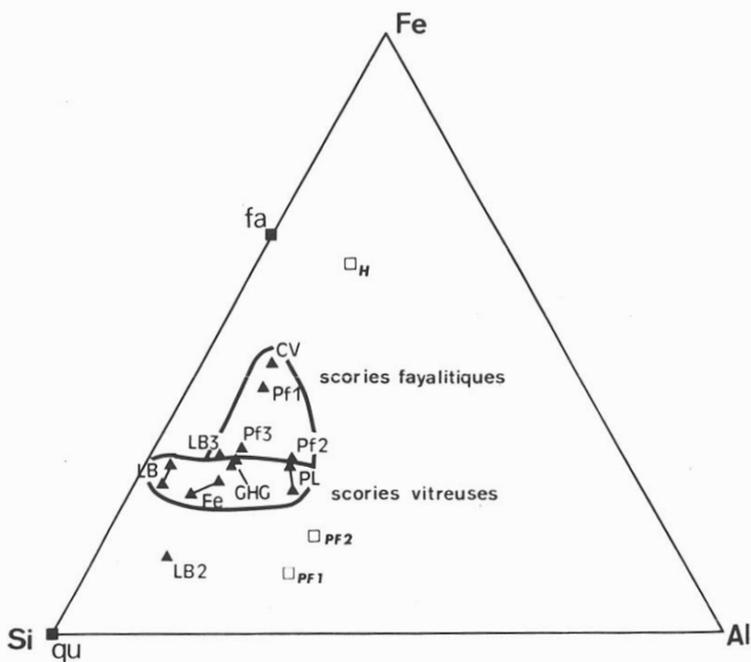
Enfin, une question fréquemment posée est "pourquoi la métallurgie fabrique-t-elle des scories ?". Il se trouve que pour abaisser la température de fusion d'un minerai, le fondeur ajoute ce qu'on appelle un fondant. Ce fondant, joint à diverses substances issues de la dépuraison du minerai, à d'éventuelles quantités de gangue présentes en impuretés et au produit de la fusion partielle des parois du four, entre dans la composition des scories. Il est illusoire de vouloir quantifier la production de scories: celles-ci étaient perpétuellement recyclées dans le circuit comme... fondant.

#### **4. Les parois de fours, la terre de fours et les néoformations plombées.**

Autant les scories se montrent en abondance au point de remplir et caractériser les *haldes à scories*, autant les parois de fours ne sont fréquentes qu'aux abords des fours. Il faut savoir que l'intérieur d'un fourneau est une maçonnerie fragilisée par le feu, qui vient à s'"émietter" littéralement et demande à être fréquemment restaurée. Les briques, vitrifiées en surface - ce qui permet de les distinguer des briques de construction - paraissent peu fréquentes (le Bonhomme F3, Rauenthal F5, Lauterupt F5). Presque toujours, les morceaux de parois internes des fours se composent de deux matériaux, la pierre et la terre.

Les pierres sont de taille très variable, de quelques centimètres à 20-30 centimètres. Leur étude pétrographique montre toute la palette des roches du voisinage de la fonderie. Par exemple à Lauterupt, le granite des Crêtes, des aplites, des microgranites porphyriques clairs à quartz automorphe, des microsénites porphyriques... Elles ne sont jamais équarries, tout est bon à prendre, galets, cailloux variés... Ces matériaux sont souvent désagrégés ou craquelés par la chaleur, les micas sont rubéfiés.

La terre constitue le ciment des pierres. Elle est rougie et indurée par la chaleur, et ressemble alors à de la brique. Certains niveaux stratigraphiques en offrent en quan-



Relations Fe-Si-Al dans les scories. CV scories fayalitiques sous la mine Cep de Vigne, Altenberg, Ste-Marie-aux-Mines ;  
 Pf 1 Pfaffenloch, scorie noire stalactiforme ; Pf 2 et 3 Pfaffenloch, scories noires à inclusions de plomb ;  
 PL laverie des Treyer, Petite-Liépvre, scorie vitreuse biphasee ;  
 GHG scorie vitreuse biphasee près de la mine Gott-Hilft-Gewiss, Petite-Liépvre ;  
 Fe Fertrupt, près de la mine Lehenschafft, scorie vitreuse biphasee ;  
 LB Le Bonhomme F3, scorie vitreuse biphasee ; LB 2 même localisation, petites scories noires vitreuses ; LB 3 même localisation, scorie noire fayalitique en plaques.  
 Scories de forge (carrés) : H Henon, PF1 petite scorie de la Porte de Fer, PF2 micro-scorie de la Porte de Fer. fa fayalite ; qu quartz.

Fig 9. Représentation triangulaire du chimisme des scories.

tité d'éclats littéralement émiettés. Parfois aussi, d'authentiques fragments de briques participent à l'édifice, eux-même liés par de la terre cuite d'un rouge différent<sup>57</sup>.

Du côté de la cuve du four, ces parois sont scorifiées sur quelques millimètres ou quelques centimètres, en une matière vitreuse, bulleuse, noire, miel ou verdâtre sale. Ces parties scorifiées sont exceptionnellement riches en plomb.

Enfin, ces fragments s'incrudent de néoformations qui pénètrent aussi dans les fentes. Ce sont des croûtes de 0,1 à 10 mm d'épaisseur. Certaines ont l'aspect de laques blanchâtre sale, grisâtre, jaunâtre ou verdâtre, d'autres (surtout à F3 du Bonhomme) ont un éclat cireux et une teinte jaune clair à orangé; ces dernières sont un mélange d'oxyde de plomb (*litharge* ou *massicot* ?) et de *bindheimite*  $Pb_2Sb_2O_6 \cdot [OH]$ , dans la proportion de 1 à 2 PbO pour 1 bindheimite, avec un peu d'arsenic et d'*hydroxyle-phosphate de plomb*; peut-être ces incrustations sont-elles à rapprocher des formations nommées *abstrichs* par les anciens métallurgistes, mélanges d'oxyde de plomb, d'antimoniate de plomb et d'oxydes d'autres métaux.

En tout état de cause, ces parois internes ne sauraient constituer toute l'architecture du four. Les sondages S1 de Pré du Bois et S1 de Lauterupt F5 ont montré des structures construites que nous avons interprété comme des maçonneries externes de fours; celles-ci sont faites de blocs de granite parfois cyclopiéens.

### 5. Les mattes et résidus métalliques.

Les *mattes* (allemand *Stein*, *pierre*, l'exemple type est la *pierre de cuivre*) sont des produits métalliques en cours de purification, qui contiennent progressivement moins de soufre et d'arsenic et plus de métal utile. En principe, on ne devrait pas en trouver car ce matériau noble est affiné jusqu'à obtention du lingot.

Les *résidus métalliques* (allemand *Speiss*) sont le complément des mattes; ils rassemblent tout ce dont le métallurgiste veut se débarrasser: le soufre, l'arsenic (déjà en principe au moins éliminés lors du grillage, en fait très imparfait dans la pratique), l'antimoine, le fer et, ce fut pour l'archéologue la surprise... le nickel.

Ces résidus se présentent sous la forme de galettes très denses ayant coulé dans l'avant-creuset devant le four, d'environ 40 cm de diamètre et de 4 à 8 centimètres d'épaisseur. Certaines de ces galettes ont été retrouvées entières, la plupart sont fragmentées et dispersées sur l'étendue des plateformes et même dans les haldes à scories. Elles offrent une patine terne d'altération (parfois rehaussée de néoformations cuivreuses vertes), mais en cassure, elles apparaissent cristallisées, d'un gris clair très métallique.

Une galette de Lauterupt présente une remarquable zonation verticale, faite de minces niveaux de coloration, densités et donc compositions contrastées.

Macroscopiquement, les mattes et les speiss ne peuvent être distinguées. C'est la composition chimique qui devrait lever l'indétermination. Néanmoins, on mesure

encore 10 à 25% de cuivre (sous forme de... sulfure) dans les résidus, ce qui est énorme et nous procure un premier élément d'explication à la perte en métaux dont nous faisons état à propos du bilan. Le fer peut monter à 40%, l'arsenic à 35%, l'antimoine à 11% et... le nickel à 36% ! Le plomb n'est présent le plus souvent que dans les cavités, en néoformations. Mais un morceau de F4 de la haute Morte s'est révélé presque un plomb d'oeuvre à 65% de plomb.

On s'interroge évidemment sur l'origine du nickel, qui nous amène à revoir sur un plan quantitatif la minéralogie des espèces nickelifères en inclusions microscopique dans la galène, ou isolées (*gersdorffite*, *corynite*, *skuttérodite*<sup>58</sup>). Les structures au microscope sont souvent spectaculaires, finement engrenées ou imbriquées, myrmékitiques. Les phases cristallisées sont nombreuses. Le tableau II en donne quelques déterminations.

Les enseignements de l'étude de ces produits sont lourds de conséquences. Les matières que le fondeur souhaitait éliminer n'ont en effet "quitté le circuit" qu'en piégeant les métaux utiles. On a évoqué plus haut, à propos des minerais, nos calculs de bilans : *les trois-quarts du cuivre et de l'argent potentiels ont été ainsi perdus*.

## 6. Le plomb et les produits de la coupellation.

De petits morceaux plombeux (jusqu'à 75 g) ont été livrés par les sondages, notamment à F3 du Bonhomme et F5 de Lauterupt. Il s'agit de *plomb*, ou de carbonate de plomb (altération du précédent au contact du gaz carbonique de l'air). On rencontre aussi de la *litharge*, blanche en surface, à cassure rouge cerise à rouge-brun et cristallisée, parfois associée à du *massicot* (haut Altenberg, Le Bonhomme F3, Lauterupt F5). A F4 de la haute Morte, on a pu observer une foule de gros rognons de coulées d'oxyde de plomb vitrifié, ocre à brun. Enfin, certains échantillons blanc-grisâtre, à structure granuleuse, très lourds donc fortement imbibés de plomb, paraissent devoir être rapportés à des éclats de coupelles...

On ne peut dire avec certitude à quel stade de la chaîne ce plomb et ces oxydes peuvent être rapportés (plomb d'oeuvre, coupellation...). On attend la première fouille exhaustive d'une fonderie pour tenter d'établir une possibilité de diagnostic du type de fourneau (réduction, coupellation, autres...) par la nature de ses produits (étendus bien sûr aux différents types de scories).

## 7. Les combustibles.

Une analyse *anthracologique* a été pratiquée par le laboratoire ARCHEOLABS sur un corpus de charbons de bois en provenance du sondage S 1 du site F 8 de la haute Morte<sup>59</sup>. Il s'agissait vraisemblablement d'une aire de stockage de charbon prêt à l'emploi.

Les taxons sont les suivants (fig. 10) : érable (*Acer sp.*) 48 fragments soit 20,1 %, frêne (*Fraxinus excelsior L.*) 19 fragments soit 8,0 %, hêtre (*Fagus silvatica L.*) 165 fragments soit 69 %, sapin (*Abies alba Mill.*) 7 fragments soit 2,9 %.

Le hêtre paraît donc majoritairement exploité pour la fonderie, les autres essences étant plus rares (érable), voire anecdotiques. Ce résultat est tout-à-fait intéressant, par la quasi-absence des résineux. Celle-ci appelle évidemment à être confirmée par d'autres analyses sur d'autres sites de fonderies, ainsi que sur quelques charbonnières couplées à ces sites.

De prime abord, deux explications se présentent : ou bien le sapin était quasi-inexistant dans le secteur, ou bien il était considéré comme une mauvaise essence à charbonner (il semble en effet que les charbonniers préfèrent les taillis, que ne peuvent procurer les peuplements de résineux<sup>60</sup>). La première alternative paraît devoir être éliminée : la forêt caractéristique des régions de crêtes vosgiennes de moyenne altitude a bien été, depuis les temps néolithiques, la hêtraie-sapinière. Mais alors, dans ce cas de charbonnage sélectif, une bonne partie de la forêt devait rester sur pied, ce qui ruine l'idée d'une désertification du pays, pourtant alimentée par certains dessins d'Heinrich Gross. L'usage de fûts de sapins comme bois de mine est évidemment quantitativement limité, et ne saurait concerner des espaces étendus à toute la région. On pourrait aller plus loin dans l'interprétation, et se questionner de savoir si la naissance d'une monosylviculture du résineux n'est pas une conséquence du charbonnage des feuillus à l'époque de la Renaissance. Là encore, une cartographie plus exhaustive des charbonnières apporterait de bons éléments de réponse.

En conclusion, cette analyse de charbons de bois ne fait qu'ouvrir des perspectives nouvelles de recherches que nous n'avons fait qu'entrevoir. Une enquête détaillée dans les textes, une cartographie exhaustive des charbonnières et des compléments d'analyses anthracologiques s'imposent, dans la perspective d'inaugurer une archéologie diachronique de la gestion du paysage, couplée à cette archéologie industrielle des sites de la métallurgie.

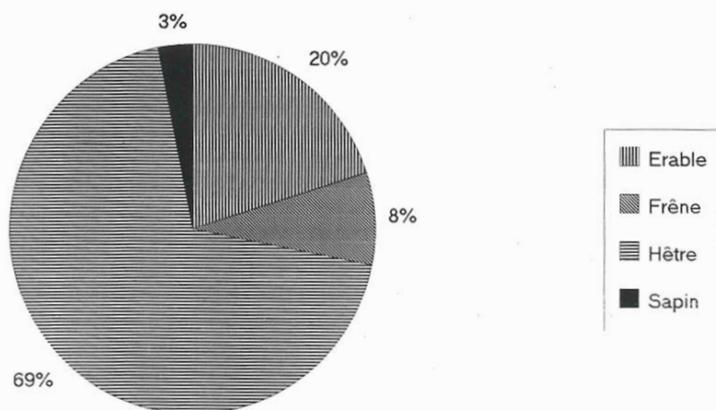
## **8. Les cendres.**

Un sondage à F3 du Bonhomme a livré, dans un profil stratigraphique aux couches contrastées, un niveau de cendres et limon de couleur brun-chocolat. A Lauterupt, tout contre un fourneau en partie conservé, une épaisse loupe de cendres de plusieurs mètres-carrés a été fouillée.

## **L'outillage.**

On attend beaucoup d'une fouille extensive d'une fonderie pour essayer de retrouver des éléments de l'outillage des métallurgistes. Le bilan des sondages effectués à ce jour (1 à F2 du Bonhomme, 3 à F3 du Bonhomme, 5 à F4 de la haute Morte, 4 à F8 de la haute Morte, 6 à F9 de la haute Morte, 2 à F4 de Lauterupt, 6 à F5 de Lauterupt, 1 à Fertrupt, 3 à Pfaffenloch) est mince. La pièce la plus spectaculaire, unique à notre

"Les Schlagues", La Croix-aux-Mines (88)



**Fig 10.** Analyse anthracologique d'un échantillon de charbon de bois de la fonderie F8 de la haute Morte. Laboratoire *Archéolabs*.

connaissance, (F4 de la haute Morte) est un moule en fer destiné à recueillir les gâteaux de cuivre, de 25 cm de diamètre, 5,5 cm de hauteur et 1 cm d'épaisseur moyenne.

Ailleurs sont à signaler quelques masses de fer, crochets, anneaux, clous, burin...

### **Les éléments de la vie matérielle.**

Hors les sites de la vallée de Sainte-Marie, la *céramique de poêle* n'a été trouvée qu'à F4 de la haute Morte (grand tessons de carreau-bol). On n'éprouvait pas le besoin de se chauffer dans la fonderie...

Les sites sont presque aussi chiches pour ce qui concerne la céramique culinaire (pots à pâte rouge parfois glaçurés, presque exclusivement): 23 petits tessons à F4 de la haute Morte, 11 tessons à F8 et 4 à F9, 5 minuscules tessons à F5 de Lauterupt ! Ceci pourrait témoigner d'une vie matérielle d'une grande rusticité, mais il convient d'attendre le résultat d'une fouille exhaustive; peut-être le lieu de résidence - ou de restauration - se situe-t-il à l'écart...

### **Cartographie des charbonnières.**

144 charbonnières ont été repérées sur 200,33 ha<sup>st</sup>, soit une densité moyenne de 72 charbonnières au kilomètre-carré. Il faut ajouter au nombre 19 charbonnières sur la surface qui n'a fait l'objet que d'investigations partielles. La vallée de la haute Morte étant un gros centre d'industrie métallurgique à l'époque de la Renaissance (et seulement à cette époque), la liaison entre les fonderies et les charbonnières est ici évidente.

On n'observe a priori pas de concentration plus importante au voisinage des fonderies, mais peut-être une dissémination plus grande du côté de la crête. Pour plus de rigueur dans l'interprétation du résultat, il conviendra de couvrir encore les parcelles manquantes. Un traitement par courbes d'isodensités sera alors possible.

Cette investigation étant la première du genre dans le massif vosgien, nous manquons d'éléments de comparaison. Cependant, des premiers rudiments de cartographie autour de Sainte-Marie-aux-Mines procurent des densités beaucoup plus faibles. Cette approche cartographique revêtira toute sa valeur lorsqu'elle pourra être généralisée à l'ensemble des Vosges centrales. Son intérêt est appelé à s'accroître proportionnellement à la surface couverte! Les problématiques en question sont en effet multiples :

- une réponse à l'idée reçue que tout le pays devait être désertifié. Si la prospection met en évidence des zones dépourvues de charbonnières, c'est qu'il restait des portions de couvert forestier. En prolongement, cette carte pourra être mise en parallèle avec le statut foncier des forêts concernées.
- la variation de densité en fonction de paramètres orographiques: exposition, pente, altitude...

- la reconstitution des paléopeuplements forestiers (proportions des différents taxons) par l'anthracologie, sur un certain nombre de sites choisis en fonction de leur représentativité (notamment par la situation géographique).

## CONCLUSION AUX CAMPAGNES DE PROSPECTION.

Les trois campagnes de prospection 1991, 1993 et 1994 nous permettent de voir plus clair dans l'organisation des structures, d'affiner l'interprétation des données géophysiques, enfin d'appréhender ce qui reste des fourneaux.

### *La hiérarchisation des structures.*

En fonction de l'échelle d'observation, une hiérarchisation des structures se dégage :

- la *série de fonderies* s'organise le long d'un même cours d'eau. On a vu ici le cas de la haute Morte.

- la *fonderie*, c'est-à-dire le site, est parfois un groupement de plusieurs ateliers.
- l'*atelier*, qui correspond à une unité architecturale, siège d'une *batterie de fours*, matérialisé sur le terrain par une plateforme; un site peut ainsi regrouper de une à quatre batteries de fours, marquées par des haldes à scories coalescentes (le Bonhomme F3) ou disjointes (haute Morte F7, F8)
- le *fourneau*.

### *La prospection magnétique*

La prospection au magnétomètre à protons intervient sur les plateformes - sièges des ateliers - mises en évidence par la topographie des sites. Elle a livré, sur la plupart des sites étudiés, un certain nombre d'anomalies. Beaucoup de ces anomalies correspondent à des ferrailles superficielles (débris des dernières guerres, notamment) qui gênent énormément l'interprétation des résultats. Les autres sources d'anomalies, dont le diagnostic implique la mise en oeuvre de sondages, sont liées le plus souvent à :

- des surépaisseurs dans la halde à scories (ex. F5 à Lauterupt)
- la présence de morceaux (allant jusqu'à une dizaine de kg) de résidus métalliques, coulées d'alliages ou de sulfures (Fe, Ni, Cu, Pb, As, Sb...) dans l'avant creuset des fourneaux, perdues pour le métallurgiste et généralement fragmentées
- la présence de fourneaux.

### *Les fourneaux.*

Divers sondages ont mis en évidence

- des portions de bordures de bâtiments en bois, voire des trous de poteaux (Lauterupt F5, Schlagues F8 et F9)
- la proximité immédiate d'un fourneau — par la concentration de morceaux de parois de fours en granite ou en terre, plus ou moins scorifiées — (le Bonhomme F3, haute Morte F8 et F9),

- diverses aires de chauffe, voire de grillage, marquées par un sol rubéfié (haute Morte F8 et F9)
- des fourneaux. Dans ces derniers cas, seule l'infrastructure externe est conservée, éventuellement coiffée par un glacis de démolition fait de morceaux de parois internes (pierres) noyés dans une terre légèrement rubéfiée (Lauterupt F4 et F5, Schlagues F8). Il est vrai que les sondages, presque aveugles, ne livrent que des informations extrêmement fragmentaires, et ne permettent pas, du fait de leur faible dimension, d'appréhender la forme et la taille des fours. A ce jour, la meilleure structure conservée est le côté du fourneau carré livré en 1991 par le sondage S1 sur le site F4 de la haute Morte.

#### *Les matériaux archéométallurgiques.*

En revanche, les sondages permettent un échantillonnage représentatif des matériaux archéométallurgiques : minerais (rares sur de tels sites !), minerais grillés, scories (sur lesquelles on tente d'établir les bases d'une chrono-typologie), parois de fours, résidus métalliques, néoformations (dans les fourneaux), produits de la coupellation (litharge, plomb...), combustibles, cendres...

#### *La production de combustible.*

Une cartographie des charbonnières (aires de production du charbon de bois) a été entreprise dans la haute vallée de la Morte par Y. DELEPELAIRE, agent de l'O.N.F. L'opération a couvert à ce jour 223 hectares, livrant 161 charbonnières. En attendant de mettre en place une étude plus complète (élargissement de la cartographie, sondages, anthracologie), diverses analyses anthracologiques sont en cours sur les charbons livrés par le site F8 des Schlagues.

### **CONCLUSIONS GENERALES.**

La recherche sur les fonderies d'argent est partie de peu de choses: on répétait à l'en-  
vi, dans les années 80, que Sébastien Munster signale douze fonderies en activité à  
Sainte-Marie vers 1545, et on avait bien repéré des toponymes révélateurs comme *la*  
*Fonderie* à Fréland, *la Fonderie* à Orbey ou *la Fonderie* à La Croix-aux-Mines, ou  
encore, plus subtil, *les Schlagues* sur le cours supérieur de la Morte<sup>62</sup>. Très brusque-  
ment en 1989, l'enquête de terrain livre 55 sites, certains très éloignés des mines. Puis  
la prospection de détail en éclaire l'organisation: canaux (la série du Bonhomme en  
représente incontestablement le plus bel exemple), emplacements d'entrepôts (à char-  
bon!) et de fonderies, épandages de déchets industriels (les haldes à scories). Les son-  
dages, guidés par la prospection magnétique, nous mettent alors en contact avec la  
réalité de la conservation des sites: il ne reste rien, ou presque, des bâtiments qui  
étaient tout en bois; quant aux fours, ils sont difficiles à appréhender, certains même  
sont réduits à un amas de pierres noyées dans de la terre plus ou moins rubéfiée par  
la chaleur.

Mais surtout, les matériaux révélés par les sondages nous apportent une véritable facette nouvelle de la minéralogie et de la pétrographie. C'est cette implication forte des sciences de la Terre et des matériaux dans l'Histoire que nous avons souhaité mettre en avant.

Les prolongements de cette recherche sont impressionnants, à chacun de ses stades :  
- la *reconnaissance cartographique* permet d'aborder la géographie de l'histoire économique de la Renaissance, un déploiement méconnu il y a peu; ainsi la recherche s'ouvre-t-elle à la synergie industrie/environnement, souvent préjudiciable à ce dernier, environnement en tous cas modelé par l'Homme sur le plan de l'aménagement (canaux), mais aussi mort et nouvelle naissance de la forêt vosgienne. Le démarrage en grand des résineux n'est-il pas la conséquence de cette industrie ? Noter que la cartographie des charbonnières, l'analyse anthracologique des essences, sont les deux outils incontournables pour écrire cette histoire de l'environnement.

- les *sondages*, par les matériaux qu'ils livrent, nous permettent une approche par la matière de l'histoire des techniques. Déjà, des *bilans* quantitatifs peuvent être esquissés. Mais lorsque la fouille nous permettra de relier indubitablement tel type de résidu à tel type de four, un grand pas sera franchi vers la compréhension des processus physico-chimiques de la métallurgie ancienne. N'oublions pas que celle-ci s'est achevée - remplacée par la métallurgie moderne - tandis que s'élaborait la connaissance de la chimie moderne, de sorte que nous ne percevons pas - ou très peu - d'adéquation savoir-faire empirique / connaissance scientifique des phénomènes (des rudiments d'explication sont proposés par quelques auteurs du XIXe siècle<sup>63</sup>).

- la *fouille* enfin permettra de dessiner le plan d'une fonderie, d'en comprendre l'organisation, de "désosser" un four par le menu et de confronter, enfin, les textes (et l'iconographie) et le terrain. A cela s'ajoute toute la dimension patrimoniale et ses prolongements muséographiques. Enfin, toute forme d'archéologie expérimentale en est tributaire. On attend tout de sa mise en oeuvre qui est l'aboutissement vers lequel cette recherche, conduite depuis six ans, converge.

L'autorisation de fouille sollicitée pour 1995 sur le site F5 de Lauterupt (commune de Ban-de-Laveline) m'a été refusée par la *Commission Interrégionale de la Recherche Archéologique*, pour incompétence du demandeur. Le lecteur jugera.

juin 1995

## RESUME

La teneur du message que nous souhaitons transmettre est triple :

- montrer comment, dans le domaine de l'industrie des métaux, l'étude des sites d'extraction est indissociable de celle des sites de valorisation des minerais (les laveries) et de celle des sites de métallurgie (les fonderies). C'était là le thème de la sortie du 11 juin 1994 de la Société d'histoire Naturelle de Colmar.
- faire percevoir au curieux de sciences de la Terre la richesse du domaine ouvert par l'étude des résidus industriels; ceux-ci livrent une gamme d'espèces d'une grande

diversité ainsi que des structures spécifiques aux milieux en fusion. Abandonnés à la Nature, ces résidus se positionnent aux frontières - peu définies - de la minéralogie traditionnelle et de la science des matériaux.

- montrer la richesse de l'information, dans le domaine de l'histoire des techniques, apportée par la prospection assortie de sondages, avant même le passage à la fouille. Sur un plan très pragmatique, ce sont les résultats des prospections programmées de 1991 et de 1993 qui sont ici analysés, autour de l'exemple des sites de la haute Morte. On s'aperçoit qu'à chacun des stades de l'investigation, au-delà des acquis souvent inattendus, des horizons nouveaux de recherche surgissent. Mais la richesse de l'information n'exclut pas ses limites: la finalité des opérations, mises en route en 1989, est la fouille d'une fonderie d'argent de la Renaissance; d'elle, on attend tout.

Les trois moyens d'approche sont analysés "par le menu" : étude des textes et des représentations graphiques anciennes, archéologie et analyse des matériaux. Cette dernière, bien que relevant à part entière de l'archéologie sous le générique plus large d'archéométrie, mérite ici une place à part, car elle illustre à merveille l'interdisciplinarité entre les sciences humaines et les sciences de la Terre.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Inhalt der Botschaft welche wir weitergeben möchten, ist dreifach :

- Beweisen wie im Bereich der Metallindustrie, das die Studien der Förderungslagen untrennbar ist mit den Auswertungslagen der Mineralien (Wäschereien und mit den metallurgischen Anlagen (Schmelzereien). Dies war das Thema des Ausfluges am 11. Juni 1994 der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft von Colmar.
- Den Erdkundeneugierigen sollte das Reichtum des Gebietes durch die industriellen Schlackenstudie wahr genommen werden, die letzteren liefern eine Reihe von Arten in grosser Manigfaltigkeit, ebenso wie die spezifischen Gefügen der Schmelzmaterialien. Der Natur überlassen, gliedern sich diese Schlacken an den Grenzgebieten -zwischen der traditionellen Mineralogie und der Wissenschaft der Materialien.

Um die Fülle der Information auf dem Gebiet der Geschichte der technischen Verfahren zu zeigen, herbeigeführt durch das Schürfen mit Sondierung verbunden, bevor man zur Ausgrabung schreitet. Auf einem pragmatischen Plan werden hier die Ergebnissen der von 1991 und 1993 programmierten Schürfungproben untersucht, nachdem Beispiel der Lagen der oberen Morte Man merkt dass bei jedem Untersuchungsabschnitt ausser den öfters unvorhergesehen Kenntnissen erscheinen immer neue Forschungshorizonten. Doch die Fülle der Information schliesst nicht ihre Grenze aus; der Endzweck der Unternehmen, die 1984 im Ganggesetzt wurden,

ist die Untersuchung einer Silberschmelzerei der Renaissance; von ihr erwartet man alles.

Die drei Annäherungsmittel sind "durch das Menu" untersucht : Studie der Texte und den alten graphischen Darstellungen der Archeologie sowie die Analyse der Materien.

Die letztere, obwohl sie ein Bestand der Archeologie unter dem weiten Titel der Archeometrie eingereiht ist, verdient hier ihren gazon Platz, weil sie blendend die Interdisziplinarität zwischen der humanen Wissenschaft und den Wissenschaften der Erde darstellt

Fallen to zero couples in 1978, the falcon population now consists of 26 couples whose progeny attained 62 young elements at the time of flight in 1995.

In spite of official protection since 1972, the peregrine falcon is menaced by human invasion in its natural surroundings, especially by rock-face mountain climbing.

Resume 2 : 2 ornithologists living in semi-constructed low-building lots in Mulhouse have observed 58 bird species over a 10 year period.

Nachdem die Bestände der nestenden Wanderfalken 1978 ganz ausgerottet waren, sind sie wieder auf 26 Paare welche 1995; 62 Junge erzeugt haben, angestiegen.

Trotz öffentlichen Schutzes den sie seit 1972 geniessen, ist der Wanderfalke bedroht durch das menschliche Eingreifen in der Natur, insbesondere durch das Felsenbesteigen.

Von ihren Wohnungen in Mulhouse, innerhalb einer Pavillonzone, haben zwei Ornithologen 58 verschiedene Vogelarten während 10 Jahren beobachten können.

## SUMMARY

The contents of the message that we wish to send is three-fold :

- to show how, in the domain of the metalindustry, the study of the extraction sites is linked totally to the sites of exploitation (baths) and to those of the production sites (the foundries).

Such was the theme of the outing of the Natural History Society which took place on June 11, 1994.

- To bring to light to those interested in the Earth sciences the domain covered by the study of industrial residues. These show a scale of a great variety of species as well as structures specifically linked to smelting. Abandoned in nature, these residues - join the categories - poorly defined - of traditional metallurgy and the science of materials.

- To show the richness of the information in the domain of the history of techniques brought about by prospect, to which boring is associated before the actual dig. On a very pragmatic scale, the results of the prospect programmed in 1991 and 1993 are analysed here, following the example of the sites of the upper Morte. One becomes aware of the fact that at each stage of investigation, beyond that of information which is comes often quite unexpectedly, new horizons of research appear. However the wealth of information does not exclude its limits : the finality of the operations begun in 1989, is the dig of a silver Renaissance foundry from which all is expected.
- To bring forth that the three ways of approach are analyses “in detail” : study of old texts and graphic representations, archeology and analysis of the materials. This last element, while pertaining to archeology under the more generic term of archeometry, deserves a special place, since it illustrates beautifully the interdisciplinary relation between human sciences and earth sciences.

## LISTE DES FIGURES

- Fig 1.** Carte des fonderies d’argent des Vosges centrales.
- Fig 2.** Le fourneau d’affinage de l’argent, sur le Graduel de Saint-Dié (vers 1510-1515)
- Fig 3.** Extrait de l’atlas des sites de métallurgie de l’argent des Vosges centrales: planche 3, haute vallée de la Morte.
- Fig 4.** Site F4 de la haute Morte (Pré du Bois), sondage S1.  
 Fig 4a : premier état, montrant l’architecture du fourneau, à gauche, et la répartition d’éléments de mobilier. Les cotes altimétriques sont par rapport à un zéro de référence arbitraire.  
 Fig 4b : deuxième état, montrant le caniveau en bois.  
 Les carrés mesurent 50 cm.
- Fig 5.** Site F7 de la haute Morte, rive droite, carte magnétique.
- Fig 6.** Site F8 de la haute Morte, topographie générale.
- Fig 7.** Site F8 de la haute Morte, plan de sondage.
- Fig 8.** Site F8 de la haute Morte, le sondage S3.
- Fig 9.** Représentation triangulaire du chimisme des scories.
- Fig 10.** Analyse anthracologique d’un échantillon de charbon de bois de la fonderie F8 de la haute Morte. Laboratoire *Archéolabs*.

**TABLEAU 1.** Phases cristallisées dans les scories.

**TABLEAU 2.** Phases cristallines déterminées dans les résidus métalliques.

## NOTES

1. *Centre de Recherches sur les Sciences, les Arts et les Techniques*, Université de Haute-Alsace, et UPR CNRS Paléométaballurgie et Cultures, Institut Polytechnique de Sévenans.
2. v à ce sujet: les différentes contributions du Colloque de Strasbourg, 1988, dans *Les techniques minières de l'Antiquité au XVIIIe siècle*, CTHS éd., Paris, 1992, 601 p.; plusieurs articles dans *Vivre au Moyen-Age*, Musées de Strasbourg éd., 1990; FLUCK P., *Montanarchäologische Forschungen in den Vogesen. Ein Zwischenbilanz*. in: *Montanarchäologie in Europa*, Thorbecke, 1993, p. 267-289; FLUCK P. et BENOIT P., *Les techniques minières à l'époque moderne, Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti*, Univ. di Siena, 1993, p. 381-411
3. traduction française FRANCE LANORD, G. KLOPP éd., Thionville, 1987, ou M. ANGEL, *Mines et fonderies au XVIe siècle d'après le De re metallica d'Agricola*, éd. *Les Belles Lettres*, Paris, 1989.
4. FLUCK P., La métallurgie de l'argent dans les Vosges centrales. Voies de recherches historiques et archéologiques. *Vivre au Moyen-Age*, Musées Strasbourg, 1990, p. 301-313.
5. FLUCK P., Les fonderies d'argent, de cuivre et de plomb dans les Vosges centrales: une prospection stratégique et des perspectives nouvelles. *Pierres et Terre* 34, 1991, p. 122-126.
6. FLUCK P., FLORSCH N. et GOLDENBERG G., La métallurgie du cuivre et du plomb argentifère dans les Vosges centrales (Xe-XVIIIe s.). Approche archéologique et archéométrique. *Colloque "Argent, cuivre et plomb dans l'histoire"*, Lyon, 1992, éd. *Les Chemins de la Recherche, Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, Mines et Métallurgie*, 21, 1994, p. 135-171.
7. Du même coup, la lecture en sera plus ardue, car nous renvoyons le lecteur aux sujets déjà traités dans d'autres publications, plutôt que de répéter celles-ci...
8. Arch. Innsbrück, Pestarchiv XIV
9. Arch. Innsbrück, Pestarchiv XIV, 697. FLUCK P., Le rapport de Hans Hipp Bergrichter sur les mines de Sainte-Marie, 1586 (traduction). *Pierres et Terre* 18, 1979, p. 45-50.
10. A.D.H.R. E 1979. FLUCK P., Le rapport de 1597 sur les mines de Sainte-Marie (traduction). *Pierres et Terre* 30, 1986, p. 34-52.-
11. A.D.H.R. E 1979. FLUCK P., Le rapport de Guillaume Prechter sur les mines du Val de Lièpvre, côté d'Alsace, 1er octobre 1602. *Société d'Histoire du Val de Lièpvre*, 9e Cahier, 1974, p. 15-61
12. Arch. Innsbrück, Pestarchiv XIV, 826.
13. Arch. Monaco T 956/2
14. MARTIN D., Les anciennes mines du Blüttenberg, *Bulletin Municipal de Lapoutroie*, juillet 1981.
15. BOHLY B., MARTIN D. et PROBST G., Le mobilier archéologique des sites miniers, reflet de la vie quotidienne. *Vivre au Moyen-Age*, Musées de Strasbourg, 1990, p. 326-330.
16. FLUCK P. et ANCEL B., Le Haut-Altenberg, rapport de fouille, 1986.
17. FLUCK P. et COLAS R., Les mégastructures filoniennes à galène et sidérite dans le socle rhénan : âge tertiaire des minéralisations de type Sainte-Marie-aux-Mines ? *Pierres et Terre* 35, 1992, p. 117-120.
18. BARI H., Minéralogie du Blüttenberg, *Pierres et Terre* 12, 1977, p. 40-47.
19. GRANDEMANGE J., Le lavage des minerais argentifères au Samson (Sainte-Croix-aux-Mines, Haut-Rhin) d'après l'archéologie et les textes. Colloque *Argent, cuivre et plomb dans l'histoire*, Lyon, 1991, Actes, P. BENOIT coord., *Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines*, 21, 1994, "Mines et Métallurgie", p. 77-96.
20. BOHLY B. et FLUCK P., Sainte-Marie-aux-Mines: fouille de sauvetage d'une laverie. *Pierres et Terre* 34, 1990, p. 105-107.
21. FLUCK P., Sainte-Marie-aux-Mines, secteur de l'Altenberg: la vallée de Fertrupt (première campagne: 1989), *Pierres et Terre* 34, 1990, p. 74-78; FLUCK P., FLORSCH N., LATASSE F., OTT J.F., La vallée de Fertrupt, rapport de fouille 1994
22. la plus spectaculaire des haldes de lavage se trouvait à Musloch sur les berges de la Lièpvrette; elle occupe 1 à 1,5 m d'épaisseur sur une longueur de 300 m; un enrochement récent a définitivement mis un terme à toute possibilité d'observation.
23. dans le haut-Altenberg, une telle approche sur des résidus lités a permis d'attester que ceux-ci furent déposés par l'eau dans un régime tantôt calme, tantôt turbulent, et, par voie de conséquence, de prou-

- ver l'existence d'une laverie médiévale liée à un canal d'altitude de 1,2 à 1,6 km de longueur, cf FLUCK P, Sainte-Marie-aux-Mines, le haut-Altenberg (campagnes 1982-1987), *Pierres et Terre* 34, 1990, p 68-73
24. RECH G., La fonderie de Wisembach d'après les comptes d'exploitation, Colloque *Argent, cuivre et plomb dans l'histoire*, Lyon, 1991, Actes, P. BENOIT coord., *Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines*, 24, "Mines et Métallurgie", 1994, p. 173-186
  25. STOLZ O., Zur Geschichte des Bergbaus im Elsass im 15. und 16. Jahrhundert, *Elsass-Lothar. Jahrbuch, Frankfurt*, 18, 1939, p. 116-171.
  26. outre le plaisir des chiffres que procurent ces informations quantitatives, on relèvera l'importance de la brique en tant que matériau des fours. Cette information contraste avec la relative parcimonie des briques découvertes à ce jour sur les sites (v plus loin)---
  27. Tiroler Landesarchiv, Handschrift 5122
  28. A D H R. E 1979, f° 233-235, 14 02 1551
  29. WESTERMANN A., Entwicklungsprobleme der Vorderösterreichischen Montanwirtschaft im 16. Jh. *Schulz-Kirchner Verlag, Idstein*, 1993.
  30. WESTERMANN A., loc cit.
  31. Dictionnaire des Communes d'Alsace, 1850.
  32. en 1557, la fonderie dite *alte Hütte* aux Bonhomme apportait un revenu substantiel aux Ribeaupierre JORDAN B., "Les sires de Ribeaupierre", *Société Savante d'Alsace et des Régions de l'Est*, 1991, p. 82.
  33. FUCHS F.J., Une usine de raffinage de cuivre dans la vallée de la Bruche (Alsace) au XVI<sup>e</sup> siècle, *Festschrift für hermann Heimpel*, Göttingen, 1971, p. 729-740
  34. WESTERMANN A., loc cit.
  35. Pestarchiv Innsbrück XIV - 497
  36. A.D.H.R. C 398, pièce 18
  37. Ahrend, Seydensticker et Heintze, A D B R E 570
  38. A.D.B.R. E 570
  39. Ce fourneau de grillage devait être implanté devant la mine Saint-Guillaume — si l'on se réfère à la localisation de la seule fonderie du Raenthal indiquée sur la carte de D'Angervilliers, 1716 —, ce qui nous ramène, pour la fonderie principale, dans un lieu situé en aval d'Echery. Ainsi déjà en 1736, la "*Schmelz*" (à mi-distance de Sainte-Marie et d'Echery), non datée jusqu'ici, devait-elle être en fonction.
  40. Bibl. Univ. Bâle L Ia 746
  41. cité aussi par MONNET A.G., *Essai des principes de métallurgie*, chap. "argent", à propos du raffinage.
  42. AN F 14
  43. A noter toutefois que dans le manuscrit MS 7 (2e voyage) de Monnet, l'auteur évoque l'existence passée de 3 fonderies à Sainte-Marie
  44. SLOTTA R., Bergwerksdarstellung, *Der Anschnitt*, 1/1982, et BARI H., *Pierres et Terre* 25-26, 1982, p. 19-21.-
  45. Consultables au Musée des Techniques minières, Giromagny
  46. FLUCK P, FLUZIN P, et FLORSCH N., L'archéologie minière dans ses rapports avec les sciences exactes, *Quaderni del Dipartimento di archeologia e storia delle arti, Università di Siena*, 1993
  47. on trouvera le détail des 29 analyses de cuivres gris vosgiens, ainsi qu'une figuration de leur chimisme, dans l'article cité en note [6]
  48. MONNET A.G., *Exposé de la nature des minéraux qui se trouvent ou qui se sont trouvés dans les mines de Ste Marie...*, manuscrit MS 31 Biblioth. Ecole des Mines de Paris, 1802
  49. comptes du *Bergrichter* Genault, Arch. Départ. Ht-Rhin C 392
  50. ne pas confondre avec les scories de forge, et surtout le machefer issu de la combustion du charbon
  51. fluorescence X, microscope électronique à balayage, microsonde électronique, analyse par activation neutronique...

52. FLUCK P., L'extraction des métaux dans les Vosges: les grandes mutations technologiques. *Cahiers Alsaciens d'Archéologie, d'Art et d'Histoire*, 35, 1992, p. 119-134.
53. notamment sur les sites de Forêt-Noire, GOLDENBERG G. et WAGNER H., La métallurgie des non-ferreux dans la Forêt-Noire du Moyen-Age au 19e siècle, Colloque *Argent, cuivre et plomb dans l'histoire*, Lyon, 1991, Actes, P. BENOIT coord., *Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines*, 24, "Mines et Métallurgie", 1994, p. 59-74.
54. à F3 du Bonhomme, de telles scories se sont révélées exceptionnellement riches en baryum, FLUCK P., FLORSCH N. et GOLDENBERG G., Rapport de prospection 1991.
55. un en trouvera un descriptif dans le Rapport cité en note [54]
56. BARI H., Minéralogie des filons du Neuenberg à Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin), *Pierres et Terre* 23-24, 1982, 143 p.; FLUCK P. et STEIN S., Catalogue des espèces minérales des principaux districts miniers du massif vosgien, *Pierres et Terre* 35, 1992, p. 9-105.
57. exemple à Lauterupt, brique rouge R25 et terres N39 à P37 du code CAILLEUX.
58. LOUGNON J., Une mine d'argent célèbre: La Croix-aux-Mines en Lorraine (France). *Chronique de la Recherche Minière* 446, 1978, p. 3-21.
59. Réf *Archéolabs* de l'échantillon : ARC94/R1197B
60. DUHAMEL DU MONCEAU, *Art du charbonnier ou manière de faire du charbon de bois*, Genève, 1770
61. DELEPELAIRE Y., in FLUCK P. et coll., Rapport de prospection programmée 1993
62. les scories ? cela n'est pas absolument certain, le mot peut aussi signifier des ... coupes de bois...
63. par exemple C. SCHNABEL, *Traité théorique et pratique de métallurgie, cuivre - plomb - argent - or*, traduit de l'allemand par L. GAUTIER, Baudry et Cie, Paris, 1896, 831 p.

**Adresse de l'auteur :**

Centre de Recherche sur les Sciences, les Arts et les Techniques  
 Université de Haute-Alsace  
 68100 MULHOUSE

# INCLUSIONS METALLIQUES DANS LES SCORIES ET COMPOSES DES RESIDUS METALLIQUES

N B Parmi ces composés, beaucoup ont été déterminés par l'analyse microchimique, leur formule n'est en conséquence qu'approximative, et doit être tenue pour indicative

## 1. SCORIES

### scories vitreuses biphasées

*arséniures, antimoniures*  
(Cu,Ni,Fe)<sub>9</sub>(Sb,As)<sub>4</sub>  
(Ni,Fe)<sub>5</sub>(Sb,As)<sub>7</sub>

*sulfures*  
PbS  
Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>  
(Cu,Fe)<sub>3</sub>S<sub>2</sub>

### scories fayalitiques

*arséniures*  
(Ni,Fe)<sub>2</sub>As<sub>3</sub>  
(Fe,Ni)As<sub>3</sub>  
(Ni,Cu)<sub>5</sub>As  
(Cu,Ni)<sub>3</sub>As  
Ni<sub>2</sub>As<sub>3</sub>  
Cu<sub>9</sub>As<sub>5</sub>

*sulfures*  
Cu<sub>9</sub>S<sub>5</sub>  
PbS

## 2. RESIDUS METALLIQUES

*arséniures, antimoniures*  
(Fe,Cu,Ni)<sub>4</sub>As<sub>3</sub>  
(Cu,Ni)<sub>2</sub>(As,Sb)

*sulfosels*  
(Cu,Ni,Fe)<sub>4</sub>(As,Sb,S)<sub>3</sub>  
(Cu,Fe,Ni)<sub>4</sub>(As,Sb,S)<sub>3</sub>

*sulfures*  
(Cu,Fe)<sub>4</sub>S<sub>3</sub>  
(Fe,Ni,Cu)<sub>4</sub>S<sub>3</sub>  
Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>  
CuFeS<sub>2</sub>  
(Cu,Fe)<sub>8</sub>S<sub>7</sub>  
(Cu,Fe)<sub>9</sub>S<sub>5</sub>  
Cu<sub>2</sub>S  
CuS  
CuS<sub>2</sub>  
FeS

*éléments*  
Pb  
Cu  
Fe  
Ni  
Sb

Tableau 4  
liste non exhaustive des inclusions métalliques dans les scories  
et des composés des résidus métalliques et mattes cuivreuses

TABLEAU 1. Phases cristallisées dans les scories.

TABLEAU 2. Phases cristallines déterminées dans les résidus métalliques.