

zu einem wichtigen Teil des Programms. Aus der täglichen Arbeit in Archäometrie muß der dabei ganz wesentliche Beitrag von Kollegen aus Mainz gewürdigt werden, weil sich hier ein beachtliches Potential der kollegialen Zusammenarbeit offenbarte. Wir sind dafür dankbar.

Beim Abschluß des Symposions blieb zunächst eine für den wissenschaftlichen Ertrag wesentliche Frage offen: Es mußte eine Möglichkeit zur Publikation gesucht und gefunden werden. Hatte das Römisch-Germanische Zentralmuseum Mainz bereits in vielfältiger Weise technische Durchführung und Ablauf der Veranstaltung unterstützt, so erklärte das Direktorium des RGZM nun spontan seine Bereitschaft, die Veröffentlichung der Beiträge zu übernehmen; dies obwohl eine auch ohne das Archäometallurgie-Symposion bereits gedrängte Langzeitplanung vorlag.

In der Form wurden alle Beiträge gleichrangig behandelt, unabhängig auch davon, ob sie während des Symposions vorgetragen, als Poster vorgestellt oder erst nachträglich in diese Sammlung aufgenommen wurden. Die Gliederung wurde nach einer zeitlichen Zuordnung der Beiträge vorgenommen und kommt den Vorstellungen der Archäologen wohl am nächsten. Einzelne Beiträge behandeln Themen ohne direkten zeitlichen Bezug und sind eher als technische Beiträge mit übergreifender Bedeutung im Rahmen der Gesamthematik zu verstehen.

Was die Zusage des RGZM in der Vorbereitung des Druckes bedeutet, wurde in der Arbeit der Herren P. Betzler und O. Höckmann deutlich, die als Redakteure ihre große Erfahrung zum Gelingen einsetzten. Ihnen danke ich, die in vorderster Linie sehr viel Geduld und Einfühlungsvermögen aufbrachten – Eigenschaften, die offenbar auch im interdisziplinären Geschäft der Archäometallurgie eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg sind.

Last not least danke ich persönlich H. G. Bachmann sehr herzlich für die Ermutigung zu diesem Wagnis, das wir gemeinsam durchstanden, und für seine großartige Unterstützung, die noch weit über das Symposion hinausreicht.

PHILIPPE ANDRIEUX

PROBLEMES ET DYNAMIQUE DES STRUCTURES DE PRODUCTION METALLURGIQUE: LE FER

L'exposé suivant se veut assez général, il est essentiellement la présentation d'un travail mené depuis maintenant 6 ans.

Ma démarche repose à la base sur un ensemble de réflexions d'Archéologue face à un trouble ressenti devant les exposés classiques de collègues ayant rencontré des ateliers métallurgiques, en fouille, et dont le compte-rendu marquait à l'évidence une approche totalement extérieure, non technique, handicapée d'un manque de références descriptives évident. Si la céramique, »commune« ou non, était à peu près appréhendée, les traces d'atelier étaient totalement incomprises dans leur dialogue interne et leurs implications d'indices techniques, quand bien même elles étaient décrites. On pourrait résumer ceci en énonçant qu'il y avait là une »Archéographie« et non une »Archéologie«. Si donc le Verbe était absent, on avait peu de chance de rencontrer l'Homme, l'Artisan.

Deuxième constat: la tentative honorable du collègue, insatisfait de son compte-rendu, de raccrocher les indices de la fouille aux techniques connues actuellement en sidérurgie. Faire expliquer une »archéotechnique« par le contemporain, le synchronique non compris, par l'anachronique, ce dernier le plus souvent

avec les yeux d'un non technicien, devait fatalement amener à énoncer des conclusions sans aucun point commun avec la démarche quotidienne du métallurgiste de l'Age du Fer: un simple cinglage d'épuration et de resserrement de l'éponge métallique, devient alors un »puclage« décrit et mis au point uniquement au 18ème siècle pour la fonte!

Notre curiosité personnelle nous ayant déjà amené à »enquêter« le monde céramique, les émaux, puis le bronze, ayant constaté à chaque fois que la lecture du document ancien (»Traité des divers Arts« de Théophile par exemple...) était différente avant et après la pratique, il devenait évident qu'une manipulation de matériaux synchrotechniques pourrait se révéler riche d'enseignements...

...Mais alors, s'agissant du Fer, l'enquête prenait une tout autre dimension!

Le lecteur ne sera donc pas surpris de trouver ici une égale proportion de réflexions d'»Ethique de l'expérimentation« et de »Résultats quantifiés«. Il voudra bien accepter de considérer l'un et l'autre comme autant de »résultats«, tous »descripteurs« d'un lieu »ethnotechnique«, alors que le »panel expérimental« est encore en cours, l'Analyse physico-chimique et la Quantification n'étant pas encore achevées, loin s'en faut, et ressortant de collaborations et de compétences nécessitant la naissance d'une équipe et non du seul manipulateur.

Il ne s'est donc pas agi de réaliser une expérimentation directement sur des problèmes utilisant des matériaux archéologiques, mais, plus simplement de faire une série d'expériences qui puissent servir de base comparative entre différentes techniques, différents fourneaux et, par la suite seulement, différents minerais. Il s'agit pour moi d'une série de tests de base, et non pas d'une expérimentation totalement archéologique.

J'ai cherché à mettre en évidence quelques règles et une problématique de l'expérimentation, non pas du fourneau seul mais de l'atelier archéologique.

Il m'a été, au départ, naturellement facile de recréer des déchets métallurgiques sans avoir une seule goutte de métal; de la même manière, d'altérer et démolir des matériaux après les avoir soumis à haute température. La réussite conjointe fut évidemment plus délicate.

La production de métal dans chaque expérience est pour moi plus une validation d'expérience que la volonté de devenir un métallurgiste, ce que je ne suis pas, ce que je ne serais jamais, car je n'ai pas le métier dans les mains. Je suis simplement un archéologue qui cherche à mettre au point des méthodes de lecture des déchets que je vais rencontrer sur des sites archéologiques.

A ce stade de la réflexion, certains points sont apparus évidents:

- il est complètement nécessaire d'avoir une bonne compréhension des matériaux composant l'outillage et les structures de l'atelier métallurgique.
- il ne s'agit pas essentiellement d'un problème de métal, mais d'un problème de reconnaissance d'une technique métallurgique dans des structures qui relèvent de la compréhension des matériaux céramiques.
- il faut que l'extérieur de l'expérience et l'intérieur même de l'expérimentation puissent être, je dirais, synchroniques ou en tout cas cohérents par rapport aux époques considérées.
- par la même, il a été nécessaire, dans un premier temps, d'apprécier le poids des technologies modernes que j'aurais à introduire dans les expériences, afin de pouvoir juger de leurs perturbations éventuelles.

Nous débouchons donc sur un constat clair de nécessité de reconstituer strictement des structures trouvées en site archéologique le plus complet possible. Or, il y a un nombre minime d'ateliers trouvés dans nos régions, de l'Europe de l'Ouest. Ces ateliers ont, de plus, en général été beaucoup plus des cobayes de fouilles d'ateliers que des fouilles totalement maîtrisées.

J'ai donc été obligé de me retourner dans une première temps phase vers des ensembles qui étaient bien connus: les fourneaux à réduction d'Europe Centrale (»Montagne Sainte-Croix«, Pologne, Tchécoslovaquie) (fig. 1,1), et Suisse Romande (fourneaux des Bellaires et de Primbois) (fig. 1,2).

Dans un premier temps, nous avons cherché à stabiliser ce que j'appellerai des paramètres externes, par exemple essayer de comprendre, d'après des trouvailles archéologiques, les techniques de ventilation sur des bas-foyers comme celui trouvé à Chartres et adapter ces ventilations.

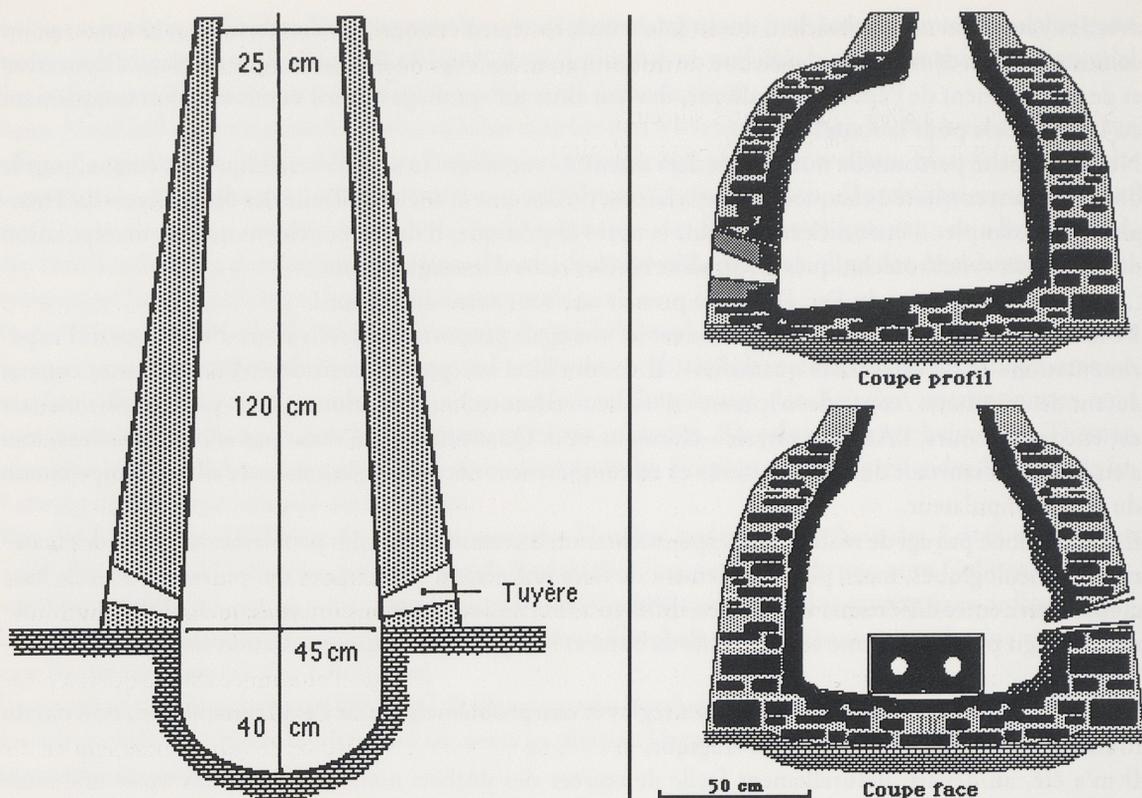


Fig. 1 1 Bas-fourneau d'Europe centrale, coupe théorique. – 2 Fourneau «cuve», type «Bellaires».

Nous avons fort heureusement, par nos expériences sur la céramique, mais surtout sur le bronze, pris conscience de l'importance fondamentale de l'air de ventilation. Lorsque l'on regarde des courbes (Tylecote p. ex.) d'expérimentateurs ayant été à l'origine des problèmes de l'étude expérimentale, on se rend compte que l'utilisation de soufflerie à turbine, tel que des aspirateurs fonctionnant à l'envers, provoquent des montées en températures nettement supérieures, créent des problèmes de fusions parasites de compositions anachroniques, et, en tout état des causes, ont une dynamique très différente des soufflets antiques. La température de 1500° C ne peut pas être atteinte en ventilation manuelle alternée, c'est-à-dire avec une outre ou un soufflet.

Cette impérieuse nécessité de cohérence chrono-technologique nous a donc amené à essayer de trouver et de concevoir, d'après nos expériences manuelles calibrées, mesurées, une machinerie qui puisse reproduire les modes de ventilation anciens et qui soit totalement compatible. Cette «machine du savant fou», à laquelle il ne manque que le sifflet et la vapeur, est inspirée du fourneau à zinc décrit par Agricola (*De re metallica*, ed. Hoover, p. 419), où j'ai remplacé, le malheureux apprenti par la «fée électricité» et un système de cames, afin de multiplier ou de diviser les ventilations et le rythme à mon gré, ceci en fonction de mes expériences manuelles.

Le problème de l'air étant résolu, il a fallu également se pencher sur le problème du combustible. Nous avons rapidement déterminé que le charbon de bois était valide et que sa meilleure dimension était la dimension de ce qui s'appelle, en France, dans les ouvrages du 19^e siècle, la charbonnette, c'est-à-dire une maille d'environ 5 à 10 cm.

Pour ce qui est des matériaux de constructions, nous avons décidé de construire les fourneaux selon les traces archéologiques, c'est-à-dire sur des gabarits et selon les méthodes anciennes avec des matériaux argilo-sableux. Le matériau de construction choisi est une terre à brique à 40% d'argile proche des limons

de plateau ou fluviatiles qui nous ont parus être à la base de tout ce que nous avons pu voir comme échantillons archéologiques. La variéance a été introduite au niveau des dégraissants ajoutés:

- Sable siliceux (5 à 8%) pour des sites siliceux,
- Calcaire en poudre (5 à 8%) pour des sites calcaires.

Nous pensons donc avoir ainsi eu la possibilité de stabiliser l'élaborant autour d'un élaboré variable suivant les projets expérimentaux.

Les structures ainsi copiées ont toujours été utilisées par deux. D'un côté, nous avons toujours eu un fourneau à parois de composition acide, siliceuse, et de l'autre côté, nous avons toujours eu un fourneau de composition basique c'est-à-dire calcaire.

Il a fallu introduire alors l'appareillage de mesure. Nous avons introduit des couples thermiques, platine-rodé 6-30 et chromel-allumel enregistrés en continu sur des enregistreurs qu'il nous a fallu absolument apprendre à ne pas regarder. Pourquoi? Parce que nous sommes des intellectuels, et que nous supportons très mal de voir une courbe redescendre à certain moment de nos expériences. Pourtant cela se passe comme ça dans le fourneau, sans préjudice pour le fonctionnement. Les températures prélevées sont naturellement les températures de la périphérie de la réaction puisque sinon l'appareillage bloquerait cette réaction. Nous savons donc qu'elles sont relatives mais il est important pour nous d'avoir une mesure qui soit systématiquement enregistrée, pour suivre les variations internes, je dirais de rythmes, de pulsations.

Ces fourneaux ont été utilisés en batteries de 10, depuis les années 82 jusqu'aux années 86, ce qui fait pour notre compte une expérimentation qui tourne systématiquement sur plus de 50 tests.

Les expérimentations ont d'abord commencé par un test, à vide, c'est-à-dire de fonctionnement en air naturel de ces fourneaux.

Nous avons constaté, ce que nous attendions un peu, la très forte ressemblance entre les altérations internes et externes des structures et celles que l'on retrouve dans les parois de fours des ateliers céramiques fouillés. Dans les premières expériences, en 1982, les parois ont été conçues sans matériaux organiques contenus alors que le four à céramique, comparé, a une paroi qui contient des matériaux organiques, ce qui explique un noircissement supplémentaire vers l'extérieur. Sur nos fourneaux métallurgiques cela correspond aux expériences 85 et 86 pour une tracéologie identique.

Les premières expériences réalisées en air insufflé selon notre technologie nous ont immédiatement confirmés la justesse de notre vue en travaillant comparativement sur des terres de compositions alcalines et acides. Nous avons clairement vérifié la persistance d'une différence d'altération entre les deux compositions de parois. Les fourneaux de composition calcaire ont montré une très grande fusibilité, alors que les fourneaux de composition siliceuse ont marqué une plus grande résistance. Ceci à des températures de fonctionnement moyennes de 1150 à 1250 degrés.

Nous nous sommes penchés en 1982 sur 2 types de problèmes:

1. Faut-il utiliser le four préalablement séché au feu, ou encore frais?
2. Faut-il utiliser un minerai de toute granulométrie ou est-il nécessaire de sélectionner la granulométrie?

Les résultats de nos expérimentations tendent à une utilisation »à sec« mais non cuit et une granulométrie de 10 à 25 mm. Il faut cependant pondérer ce résultat par le fait que nous devons également considérer qu'à l'époque nous étions encore certainement un apprenti. Notons cependant que ce résultat plaide pour une économie de temps et de combustible.

Le choix du minerai a posé problème dans la mesure où il y avait à choisir entre le test de minerais trouvés selon le hasard des prospections ou des découvertes de sites, et un minerai utilisé actuellement, même venant d'un autre pays. La réalité du quotidien, par l'impossibilité d'obtenir alors plus de 10 à 15 kg de minerai »archéologique«, imposa la seconde solution. Il a donc été sélectionné, avec l'aide des ingénieurs minéralogistes de la société utilisatrice, une Limonite d'Amersley (Australie!) qui, chimiquement, est une Hématite brune $Fe_2O_3 + n(H_2O)$, très riche en fer puisqu'elle dépasse 60% de teneurs, mais nous l'avons choisi pour 2 raisons:

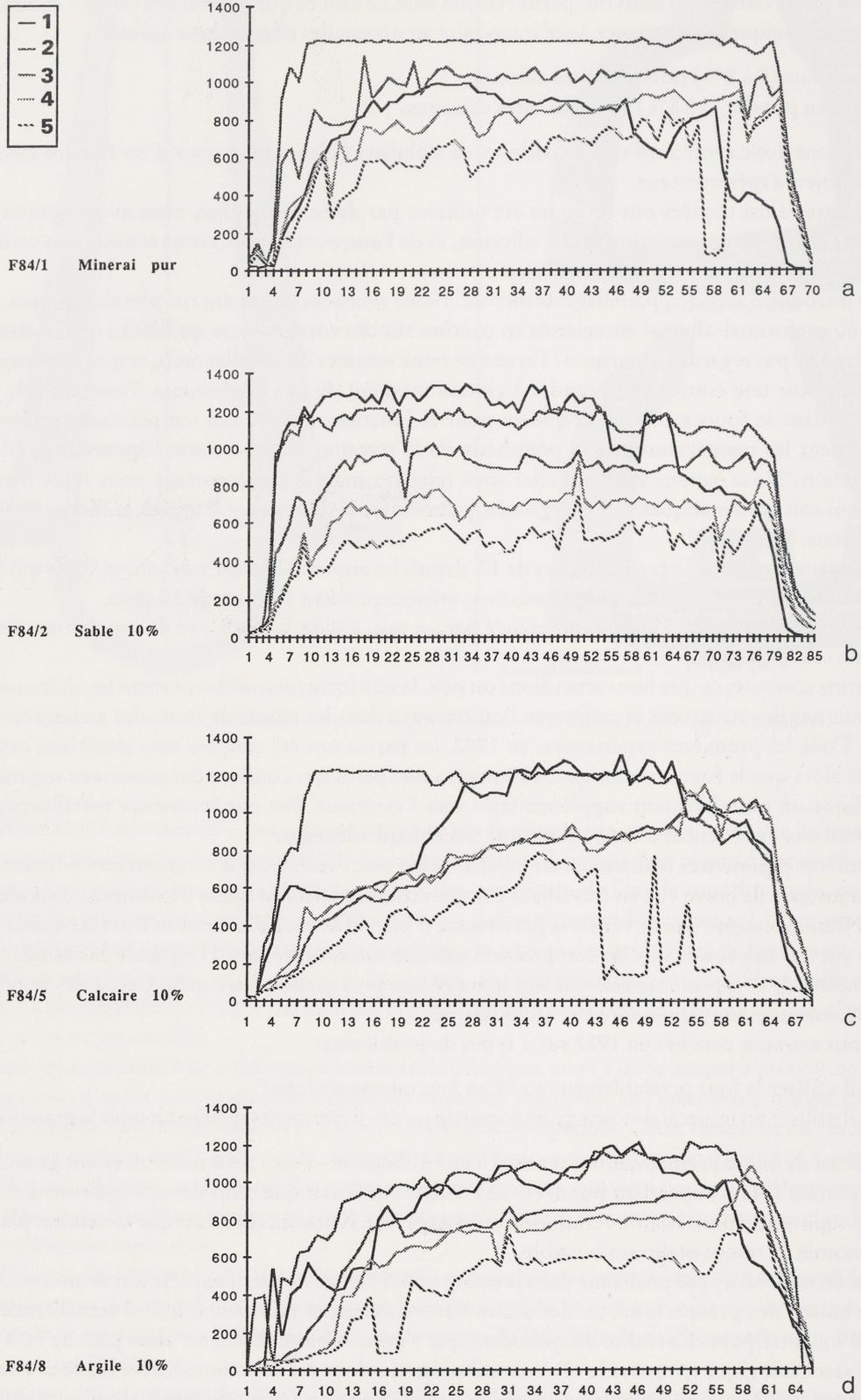


Fig. 2 Courbes thermiques et réactions à la charge minérale: 1 Niveau «tuyères» (0.). - 2 Niveau +25 cm. - 3 Niveau +50 cm. 4 Niveau +75 cm. - 5 Niveau +100 cm.

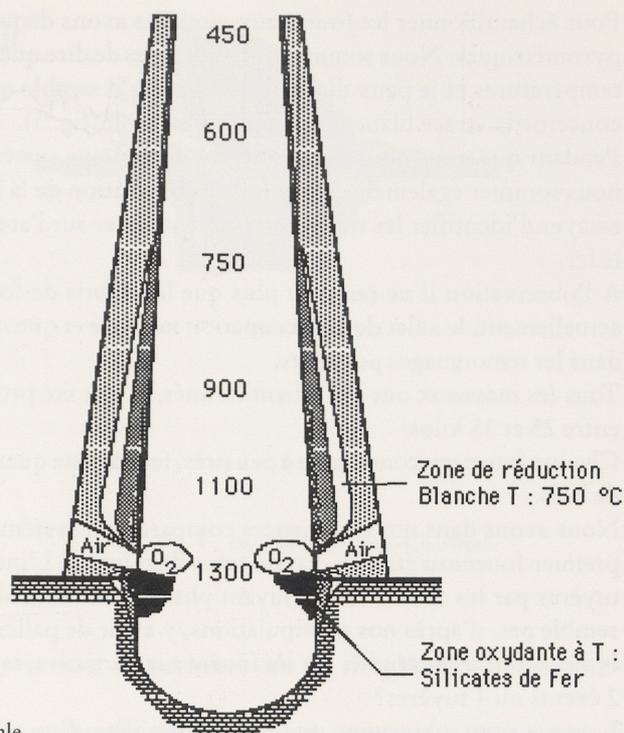


Fig. 3 Bas-fourneau d'Europe centrale, coupe expérimentale.

1. Elle était très bien connue par les métallurgistes, les chimistes et les physiciens et elle pouvait donc être un paramètre stable à travers toutes nos expérimentations.
2. Sa richesse en fer allait nous permettre de «créer» des minerais que j'appellerais, sans doute à tort, synthétiques, c'est-à-dire que nous leur avons ajouté dans les années suivantes de charges de calcaire, de silice, et d'argile, de 10, 20, 30% afin de voir les rendements.

Les expériences suivantes nous ont amené à vérifier s'il nous fallait ou non griller le minerai. Les premiers tests, déjà comparatifs, nous orientèrent vers une utilisation sans grillage préalable.

Les résultats des expériences comparatives suivantes montrent une nette différence dans l'altération des matériaux comme dans la réalisation des massiaux (fig. 2).

On note, par exemple dans les parois, une ligne claire, qui correspond à la zone de température de paroi 600-800°, qui pourrait correspondre aux expériences de Sainte-Claire Deville sur la réduction en milieu humide de l'oxyde de carbone par le fer, et dont la position varie en relation avec le fonctionnement et le niveau thermique des fours.

Nous avons également constaté que la composition calcaire, quelle que soit la composition des parois, nous donne toujours des températures plus fortes que lorsque nous sommes en composition siliceuse, et que ceci semble se vérifier également sur les élaborations des massiaux.

De même que nous observions la réalisation des massiaux, nous nous sommes penchés sur ce qui intéresse au premier chef l'Archéologue, c'est-à-dire les traces.

Deux problèmes se posaient à nous:

- Allaient-elles être caractéristiques,
- Allaient-elles se conserver dans le temps?

Au bout maintenant de 6 ans d'expérimentation, sur le site d'Archéologie expérimentale de l'Archéodrome de Beaune-Tailly, on voit sur ces fourneaux que les traces semblent stables, mais nous n'avons pas hélàs, et je vous prie de m'en excuser, mille ans de recul à vous proposer.

Pour échantillonner les fourneaux, nous les avons démontés tous les 20 cm et ceci en regard des sondes pyrométriques. Nous sommes donc capables de dire que telles ou telles altérations sont en regard de telles températures et je peux dire aujourd'hui qu'il semble qu'il y ait là une constante, notamment en ce qui concerne la »trace blanche« évoquée plus haut (fig. 3).

Pendant que nous nous occupons du démontage systématique de nos structures expérimentales, nous nous sommes également occupés de l'observation de la formation des massiaux, de manière, là encore, à essayer d'identifier les traces qui peuvent rester sur l'atelier archéologique, et ce qui en part, c'est-à-dire le fer.

A l'observation il ne resterait plus que les débris de fourneaux et les scories qui sont pour beaucoup, actuellement, le sujet de préoccupation majeure et que nous aurions pour notre part tendance à minorer dans les témoignages possibles.

Tous les massiaux ont été échantillonnés, et ont été produits à partir d'une masse de minerai se situant entre 25 et 35 kilos.

Chaque fourneau consomme à peu près, face à cette quantité de minerai, une centaine de kilos de charbon de bois.

Nous avons dans nos expériences comparatives systématiquement arrêté l'expérience au moment où le premier fourneau était en état de refus de minerai. L'indice de ce refus est simplement l'obstruction des tuyères par les scories. Ne pouvant plus bénéficier d'air, la réduction voit sa température chuter. Il ne semble pas, d'après nos manipulations, y avoir de palliatif direct à cet état.

Nous avons aussi étudié, sur les fourneaux verticaux, la question de 2 ou 4 orifices à la base: 2 tuyères et 2 événements ou 4 tuyères?

Lorsque nous observons une coupe complète d'un massiau, alors que nous avons une seule tuyère, emplacement très reconnaissable dans les déchets de parois de four, nous observons une élaboration asymétrique, par rapport à l'axe du fourneau, contenant beaucoup plus de scories et de fer d'un côté et beaucoup plus de perte de l'autre.

Si, dans une deuxième manipulation on change les tuyères, transformant les événements en tuyères et les anciennes tuyères en événements, on s'aperçoit que le métal a tendance à se regrouper au centre.

Ce test nous a également amené à découvrir une caractéristique thermique qui pourrait se révéler très importante:

- Lorsque l'on a 2 tuyères les températures moyennes de fonctionnement oscillent entre 1150 et 1250°, avec quelques miracles à 1300°,
- Lorsque l'on a 4 orifices en bas, tuyères et événements, on gagne immédiatement 100° C.

Les températures d'expérimentation moyennes sont donc passées de 1200°C à 1300°C, voire même 1400°C sur un des fourneaux à phase calcaire.

Parallèlement à ces séries se poursuivaient nos expérimentations sur les fourneaux cuves, type de Bellaires ou Primbois.

Le gros avantage de ces fourneaux cuves est qu'ils semblent fournir un massiau de fer concentré, massif, qui se sépare très bien du reste de la scorie; un avantage certain pour le forgeron.

Ces fourneaux ont parfois des écoulements de scories à l'extérieur par les tuyères. Ce phénomène est rare et s'explique fort bien. Il est lié à la composition minéralogique des minerais, et non pas forcément à un fonctionnement générique du four. Il s'est toujours produit alors que paroi et composition minérale étaient en forte opposition (four Si et charge Ca).

Nous avons aussi eu des accidents classiques, lorsque le fourneau est en plein fonctionnement. Par exemple des fractures de tuyères de ventilation naturelle, lors d'écoulements anarchiques des scories, en dégageant les orifices, aux alentours de 1350°. Nous avons retrouvé des stigmates identiques sur des pièces de fouilles qui nous ont été montrées et existaient déjà au Bellaires. Nous pouvons donc estimer que, là encore, nous sommes dans une relative réalité archéologique.

Les courbes thermiques relevées sur ces fourneaux cuves ont une stabilité sans comparaison avec les variations importantes de courbes de fourneaux du type d'Europe Centrale.

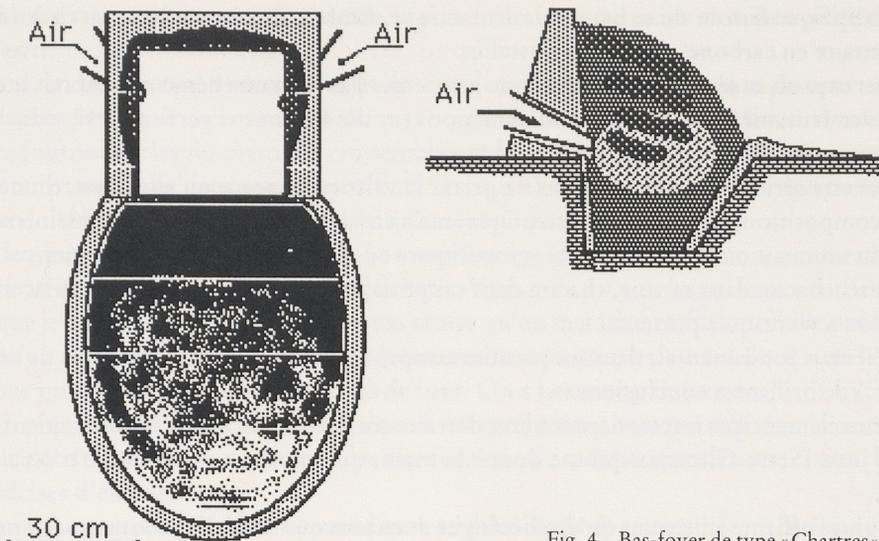


Fig. 4 Bas-foyer de type »Chartres«.

Nous avons également expérimenté des bas-foyers dont les premiers ont été simplement un Bas-fourneau du type Europe Centrale tronqué.

Par la suite nous nous sommes intéressés à une découverte faite à Chartres où nous avons une tuyère qui n'était ni dans l'axe, ni dans un coin du foyer rectangulaire. La restitution que nous avons menée, nous a conduit à une structure de conception très structurée et proportionnée. Il s'agit d'un Bas-foyer à creuset et sole, à deux tuyères, légèrement en avant, et avec une disposition d'angulation en gites et en sites qui semble devoir être extrêmement précise (fig. 4).

Nous avons, avec notre hématite limonitique et des minerais archéologiques que l'on a bien voulu nous fournir (pisolithique de Thoste, Bourgogne), obtenu des massiaux médiocres en général, mal réduits, mal concentrés.

Nous devons alors nous interroger devant ces massiaux médiocres:

Quand un archéologue trouve du minerai en quantité sur un site archéologique, il doit se poser à notre avis deux questions.

N'ont-ils pas eu le temps de l'utiliser? ou

Ne l'ont-ils pas utilisé car ils savaient qu'il n'était pas valable?

Actuellement lorsque l'on présente un minerai aux analyses et que l'on annonce 30% de fer contenu, on dit que c'est un minerai très riche. Personnellement je prétends que c'est un minerai très pauvre puisque déjà nous savons tous que nos scories archéologiques consomment à peu près cette quantité de fer potentiel.

Parallèlement à ces tests, nous avons observé l'ensemble de ces fourneaux abandonnés aux intempéries, de manière à voir les altérations en sites archéologiques. La comparaison avec la trouvaille archéologique présente les mêmes altérations, et, là encore, je pense que nous sommes cohérents quant aux résultats.

Il a fallu enfin se poser les problèmes de la forge et là, j'ai fait appel à un technicien forgeron (Premier ouvrier de France, 25 ans de métier) extrêmement compétent technologiquement.

Nous avons eu terriblement de mal à élaborer un petit bloc de fer à partir de nos massiaux. Il semblait avoir beaucoup plus tendance à vouloir se disperser qu'à se rassembler. Un dernier test nous a cependant permis, en reprenant un de nos massiaux et en le passant dans un bas-foyer du type »Chartres«, de constater que, là, il y avait effet de concentration du métal, changement de la maille cristalline et moyen d'agglomérer. Ce fourneau de Chartres, en hypothèse seconde, pourrait-être alors, non pas une forge, mais un fourneau de repasse, un fourneau de recristallisation, un fourneau de concentration. Je laisse à la com-

munauté scientifique le soin de se livrer à la sémantique. En fait, il pourrait bien servir à décarburer un métal exédentaire en carbone, donc trop cristallin.

A la fin de cet exposé, et je voudrais dire ici que je ne crois pas personnellement avoir fait le tour du problème, loin s'en faut, même si j'ai réalisé 60 réductions sur des fourneaux verticaux, 12 réductions sur des fourneaux-cuves, 50 réductions sur des bas-foyers.

Je pense que cette série d'expérimentations ne prend sa valeur que parce qu'elles sont, d'une part, documentées en composition, en chimie, en thermique: mais aussi que celles-ci ne seront pleinement atteintes qu'à partir du moment où la communauté scientifique voudra bien venir échantillonner sur ces essais et essayer de dire, chacun dans sa voie, chacun dans sa spécialité, comment on peut les replacer par rapport à tout ce qu'on a vu jusqu'à présent.

Je pense qu'il était fondamental, dans un premier temps, d'essayer de poser des bases de raisonnement avant d'aller à de brillantes conclusions.

Il est encore un élément que je teste depuis 6 ans, derrière ces fourneaux, c'est l'Homo sapiens, moi-même et mon ami Jean-Pierre Gimenez qui me donne la main, qui m'aide, et sans qui je n'aurais réalisé ces expériences.

Une fois de plus j'affirme ici en tant qu'Archéologue et en tant que scientifique que ces fourneaux métallurgiques ne peuvent nous donner de bonnes informations, ne peuvent être appréciés, que dans la mesure où nous serons tous persuadés que leurs dimensions, leurs techniques de construction, et leurs techniques de fonctionnement sont avant tout et surtout la raison d'un rapport étroit entre un homme et une structure qui l'a lui-même générée.

Questions

Question: Qu'elle est l'utilité du séchage et de la vérification expérimentale?

Ph.A.: Quand je dis sécher j'entends un séchage thermique c'est-à-dire une cuisson. Des étudiants de Monsieur Mangin pourraient en témoigner qu'il est fort hasardeux d'utiliser un fourneau qui a été construit la veille. A son aspect final on se demande comment il a pu tenir debout les 15 heures nécessaires.

Pour ma part, j'ai constaté simplement que le rendement thermique était nettement meilleur. J'ai observé, sur un fourneau cuit précédemment, une espèce de «fuite» de calories et je pense en fait que cela est à rapprocher de ce phénomène qui apparaît sous forme d'une ligne blanche. On crée des parois de four nécessairement très poreuses et je me demande, mais là c'est une hypothèse de travail, si en fait il n'y a pas une porte de «voile» d'eau ou de vapeur qui se crée et qui fait écran au rayonnement thermique, le maintenant à l'intérieur de la structure et jouant en quelque sorte le rôle d'un réflecteur. C'est une question que des techniciens peuvent documenter, mais personnellement, je n'ai que le constat, c'est d'ailleurs tout le sens de mon exposé.

Question: Pourquoi un minerai australien? Pourquoi ne pas avoir, dès le départ, utilisé les analyses actuelles?

Ph.A.: Je peux répondre, sur les deux points. J'ai longtemps cherché un minerai français en quantité suffisante pour pouvoir alimenter 120 expériences, ce qui veut dire environ 5 tonnes. Je ne les ai pas trouvées ou, je vais être très franc avec vous, des minerais pisolithiques à 7 mètres de profondeurs, pour lesquels il faut descendre des trous d'hommes et aller dans des galeries inutilisées depuis 200 ans. J'ai préféré être un archéologue médiocre vivant plutôt qu'un génial mort. – La seconde réponse est que je voyais une telle divergence entre les différentes écoles, les universitaires, les physiciens, les analystes, que j'ai renoncé à me préoccuper de ce qu'on pensait de telle ou telle utilisation ou tel ou tel type de minerai. J'ai donc fait des expériences systématiques à partir d'un minerai «synthétisé». Ce qui compte, sur mes 120 expériences, est que s'il y en a une qui apporte enfin une indication, je n'aurais pas perdu mon temps. C'est cette motivation qui fait qu'en utilisant des phases alcalines et des phases acides, je crois avoir élaboré des parois de four qui présentent des altérations d'un matériau nettement identifié, afin de savoir si

cela vient du minerai, ou de la paroi, d'une part, et si cette dernière participe au milieu propre de la réduction d'autre part.

C'est, je pense, le débat actuel et donc le sujet de mes dernières expérimentations de cette année. Je n'ai pas insisté dessus parce que ceci est une présentation générale. Vous avez sans doute remarqué que sur mes derniers fourneaux, les 60 premiers cm semblaient blanchâtres, et je dois vous avouer que là, j'ai introduit un corps moderne dans ma composition. Il s'agit d'un dioxyde de Titane, qui ne se décompose qu'au-dessus de 1850°. Il a été introduit à 2 cm à l'intérieur des parois.

J'avais en effet remarqué depuis longtemps que mes parois perdaient en moyenne, au niveau de la tuyère et dans les 25 cm au-dessus, entre 4 à 8 cm d'épaisseur. Vous avez pu voir les agressions différentielles sur des coupes que je vous ai montré et je ne peux pas croire qu'un matériau en fusion n'aille pas se mêler avec la scorie produit par le minerai, car j'ai des colorations caractéristiques venant du minerai et de l'atmosphère de four qui apparaissent sur mes bords de four. On a beaucoup ri, à un moment en France, parce que j'utilisais pour les parois calcaires, l'expression »vert céladon«, souvent utilisée en céramique orientale, mais elle décrit parfaitement le »vert« des vitrifications de mes parois calcaires, et signale des conditions très précises d'élaboration.

Si, dans les analyses, on retrouve maintenant dans les échantillons de cette année un énorme pic de Titane, il faudra bien admettre que les parois de four jouent un rôle extrêmement important dans la réduction, ce qui ne pouvait pas être démontré dans des fourneaux théoriques construits en réfractaire.

MARIE-LUISE HILLEBRECHT

HOLZKOHLEN ALS INFORMATIONSQUELLE DER ARCHÄOMETALLURGIE ERGEBNISSE AUS UNTERSUCHUNGEN IM BEREICH DER HARZREGION

Bis ins 19. Jahrhundert hinein war das Holz für den wirtschaftenden Menschen der Hauptenergieträger. Holzkohlen waren für Schmelzprozesse und die Metallverarbeitung (z. B. Schmiede) wegen der damit zu erzielenden hohen Temperaturen in Verbindung mit einem gleichmäßigen und gut regulierbaren Brand unverzichtbar. So sind Holzkohlen in einer großen Anzahl archäologischer Fundkomplexe, insbesondere den industriearchäologischen, enthalten. Im Bereich ehemaliger Metallproduktions- und Verarbeitungsstätten, von Glas- und Töpferöfen ist immer auch mit dem Fund von Holzkohlen zu rechnen. Die enge Verbindung legt nahe, die Holzkohlen als Informationsquelle für die Archäometallurgie zu nutzen, um weitere Hinweise auf den wirtschaftlichen und ökologischen Rahmen eines Fundkomplexes zu erhalten.

Zur Beurteilung der Stärken und Schwächen von Holzkohleuntersuchungen ist die Kenntnis der Methodik wichtig. Deshalb soll im folgenden zuerst ein kurzer Abriss der Methodik gegeben werden. Beispiele für eine abgeschlossene und eine noch laufende Untersuchung aus der Harzregion schließen sich an. Es folgen Ergebnisse, die am Beispiel des Harzes bisher gewonnen werden konnten. Den Abschluß der Betrachtungen bildet die Frage des Informationsinhaltes der Holzkohlen für den Archäometallurgen