Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise
Band: 60 (1993)

Artikel: Une industrie reconnue : fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud
Autor: Pelet, Paul-Louis / Carvalho-Zwahlen, Barbara de / Decollogny, Pierre
Kapitel: 4: Tuyères et ventilation
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-835406

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

4

TUYÈRES ET VENTILATION

Les indices préalables

PROSPECTER des sites sidérurgiques, c'est d'abord délimiter l'aire d'éparpillement des scories, qui varie considérablement: 110 m² aux sources de la Voualève I (commune de Moiry, coord. 525, 175/167,740), environ 1000 m² aux Petits Lacs III (commune de Ferreyres, coord. 525, 800/168,580). L'observation attentive du terrain permet d'évaluer approximativement l'importance de la halde et de constater la présence des vestiges d'un seul ou de plusieurs fourneaux. La superposition des terrasses de décombres révèle une succession d'entreprises, par exemple aux Carolines (commune de Moiry, coord. 525,325/ 168,050). Mais l'absence de mouvements de terrain ne prouve pas l'unicité d'une industrie. Ainsi, à Bellaires I, les scories de la dernière exploitation ont recouvert les tas antérieurs et uniformisé la pente.

Du fait de la modicité des affleurements de minerais, nous ne découvrons pas au pied du Jura des crassiers gigantesques comme ceux du Berry ou de l'Aude, dont la masse peut être évaluée à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes, si ce n'est à quelques millions (Tryon-Montalembert, 1955, 158, 165). Les 600 m³ de Bellaires I, les 500 de Bellaires III se prêtent plus aisément à une investigation systématique, bien que la couche des déchets industriels atteigne déjà, par places, jusqu'à 2,50 m d'épaisseur. Cette couche est formée avant tout de scories, qui trahissent par leur apparence les techniques de réduction utilisées. Compactes et lourdes, couvertes de circonvolutions analogues à celles d'un cerveau, elles remontent à une exploitation faiblement ventilée; parsemées de bulles, et irisées, elles indiquent une combustion à plus haute température, elles sont l'indice d'une ventilation artificielle (Gilles, 1957, 179-180). Du fait des fluctuations de la combustion au cours de chaque opération de fonte, tous les types de scories se retrouvent dans toutes les haldes. Un échantillonnage statistique indique les prédominances. Cet examen visuel, préscientifique, ne fait que précéder les analyses spectrographiques et chimiques en laboratoire. Ce sont elles qui détecteront, grâce à la teneur en fer et à la proportion des autres éléments constituants, les types de minerais fondus et les techniques utilisées. Nous en parlerons au chapitre 8.

Les bûchettes de charbon mêlées aux scories révèlent l'arborisation des forêts antiques. Le carbone 14 qu'elles contiennent contribuera à dater les ateliers (voir chapitre 10).

Des pierres, parfois rougies par le feu: gneiss, granits, moellons de calcaire, des tuiles brisées, des mottes de glaise cuite éclairent la masse noirâtre des scories. Restes de chapes, de parois, de cheminées, ces matériaux varient selon les types de fourneaux et selon les époques. Ils fournissent une série d'indices préalables. De nombreuses empreintes digitales montrent que les constructeurs des fours glaisaient leurs parois à main nue (fig. 9).

De tous les matériaux dus à la destruction des fours, ce sont les fragments de tuyères qui apportent cependant les indices les plus significatifs.

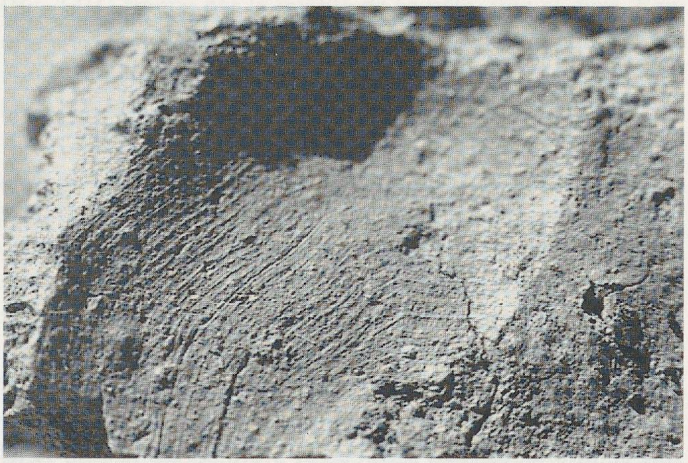

Fig. 9. Bellaires II. Empreinte digitale sur un fragment de glaise cuite, agrandi environ 2,5 fois.

La ventilation

Les fourneaux à fer se divisent en deux types fondamentaux dont les différences les plus marquantes résultent du système de ventilation adopté: les uns se contentent d'un tirage naturel, les autres exigent une soufflerie.

La présence parmi les scories de *conduits* de glaise dont le diamètre est constamment supérieur à 5 cm, ou celle de *tuyères* (d'un diamètre minimal inférieur à 5 cm) permet de reconnaître, avant même de les avoir dégagés, les fourneaux de chaque type.

Une fois cette distinction faite, les dimensions et les formes des tuyères proprement dites apportent une série d'indices sur le degré de perfectionnement technique des fours. On admet en général que les plus archaïques – qui ne sont pas nécessairement les plus anciens – adoptent les plus larges diamètres. Le perfectionnement de la ventilation fait adopter des canalisations de plus en plus étroites, qui ne descendent cependant pas au-dessous de 2,5 cm. C'est en effet ce calibre qui assure la soufflerie la plus efficace.

Les fragments de tuyères abondent dans les trois sites des Bellaires; ils ne manquent pas à la Bossena I et à Prins-Bois II.

La glaise dont ils sont faits varie non seulement d'une pièce, mais d'un morceau à l'autre: compacte ou friable, lisse ou sablonneuse, graveleuse parfois; ocre-jaune, grise, brique, rose ou violacée selon les coups de chaleur qu'elle a subis.

Du fait du degré variable de la destruction et de la présence vraisemblable de fourneaux d'époques et de constructions différentes, les critères distinctifs des tuyères divergent d'un site à l'autre. A Bellaires I, tous les fragments retrouvés proviennent de modèles qui ne dépassent pas 15 cm de longueur. Ils se différencient en premier lieu par leur forme, tantôt approximativement cylindrique, tantôt en entonnoir.

A Bellaires II, des déchets massifs longs d'au moins 40 cm sont mêlés à des becs aussi courts que ceux de Bellaires I, mais d'un diamètre en général beaucoup plus large.

A Bellaires III, des tuyères longues et massives subsistent en place dans les fours XIX et XX. Mais 22% des nombreux fragments qui gisent dans la halde ont un conduit ovale.

Pour plus de clarté, nous étudierons pour commencer les tuyères site par site.

Bellaires I

Quatre-vingts échantillons proviennent d'au moins trente-trois tuyères ou conduits différents. Aucun n'est resté en place dans un fourneau. Beaucoup de ces fragments, à peine reconnaissables ou trop petits, n'apportent pas d'indices probants. Ainsi, quinze d'entre eux suggèrent un diamètre de plus de 5 cm, mais sept proviennent d'une encolure de tuyère en entonnoir. Deux becs, relevés dans la partie supérieure du terrain où les tuyères ont en général un assez fort calibre, dépassent légèrement 5 cm. Cette largeur peut résulter d'une déformation due à une chaleur excessive. Quatre autres fragments oscillent entre 8 et 5,4 cm, mais ne

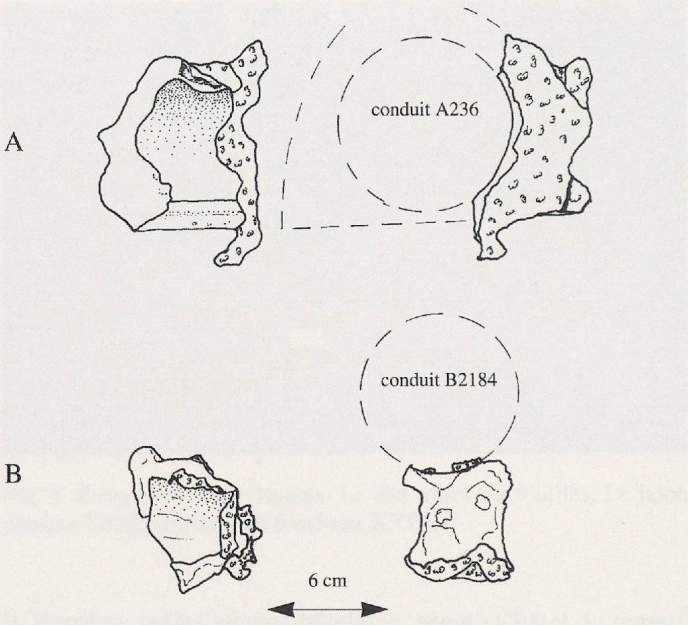

Fig. 10. Bellaires I. Conduits de ventilation. Dans toutes les figures symbolise la scorification.

portent aucune scorification significative. Ils pourraient provenir d'évasements.

L'un d'eux, A289, reposait cependant au niveau du four X, le plus ancien. Seuls A236 et B2184 présentent un conduit indiscutablement large (8,5 et 8 cm) jusqu'à son aboutissement dans le foyer (fig. l0 /A, B). A 1 m sous le niveau du sol, A236 gît en aval du four X, dans une couche qui ne peut provenir que de son exploitation. B2184 a été retrouvé dans une couche de déblais profonds au bas du secteur oriental. Deux fourneaux au moins ont utilisé une ventilation naturelle à Bellaires I.

Les tuyères en entonnoir

Trente-quatre fragments appartiennent indubitablement au type en entonnoir. Ces tuyères, ramassées, ne dépassent pas 10,5 cm de longueur; la plus courte mesure 6,5 cm seulement. Leurs encolures, massives et asymétriques, ont un diamètre extérieur de 10 à 12 cm. Il atteint 18 cm à B76, ovale. Mais il s'agit vraisemblablement de **l'appui** sur lequel reposait la tuyère proprement dite, comme l'ont montré les expérimentations de Gerhard Sperl à Vordernberg en 1978. L'épaisseur de la glaise des encolures varie de 2 à 6 cm. Le bec, au contraire, est très mince: 0,5-1 cm. Le diamètre minimal, repérable dans 17 cas, oscille entre 3 cm et 4,4 cm (moyenne 3,9 cm). L'évasement varie de 5 à 10 cm.

Ces tuyères se subdivisent en quatre groupes:

a) Le plus abondant comprend des échantillons d'un modelage grossier, à l'évasement irrégulier (fig. 12/4a, 4b; 12/7a, 7b).

b) Les tuyères B275-77-78 (fig. 11/2) et A178 (fig. 11/3) sont plus soigneusement formées. Leur évasement est moins accentué. B275-77-78 s'est fendu en cours de travail et la scorie s'est infiltrée dans les fissures.

c) Trois fragments, B490 (à la glaise grise), B433-435 et

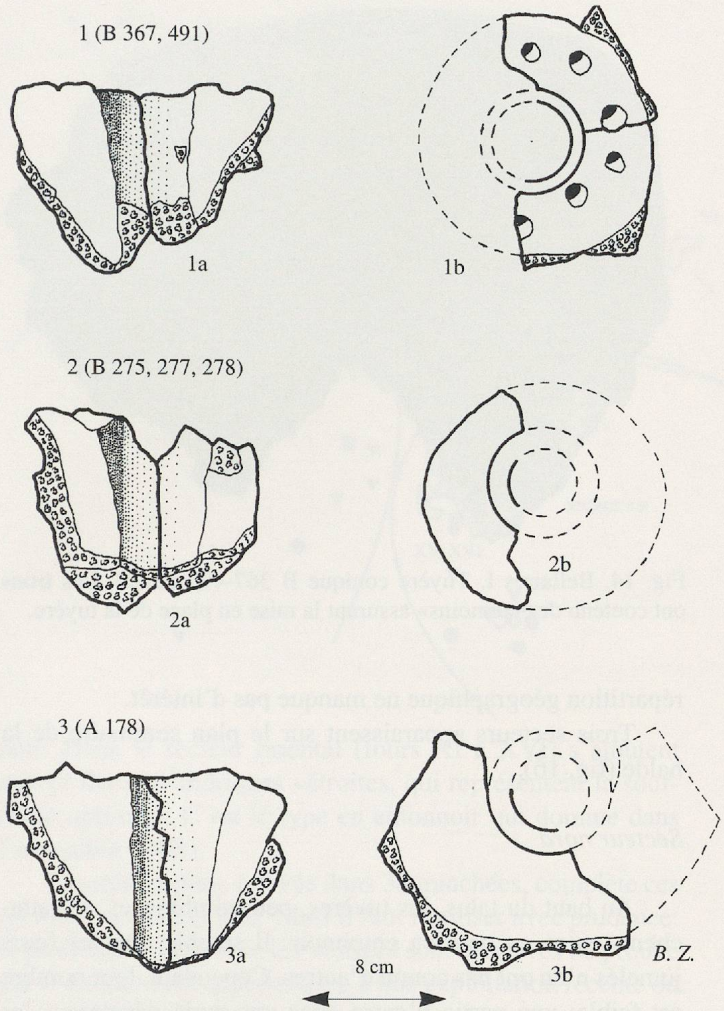

Fig. 11. Bellaires I. Tuyères coniques.

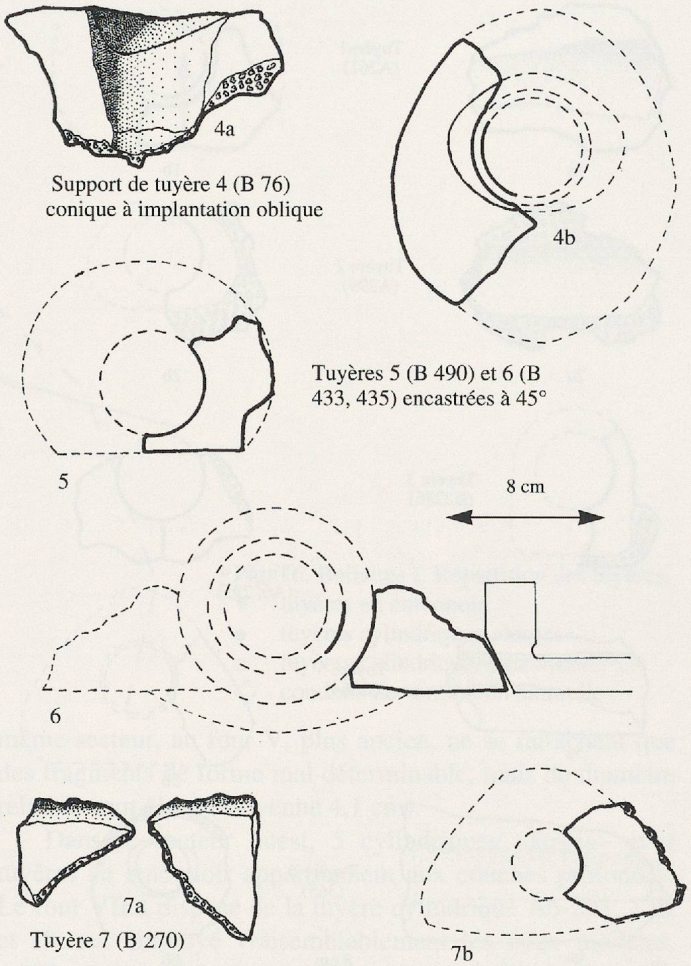

Fig. 12. Bellaires I. Tuyères à implantation oblique.

B2103 s'insèrent avec un angle de 45° dans la paroi (fig. 12/5, 3/6). L'évasement de B433-435 atteint 10 cm.

d) Plus curieux encore, A290, B367-491, B409 et B2097 représentent trois ou quatre tuyères en entonnoir à l'encolure parsemée d'alvéoles. Ces trous semblent résulter de la pression d'une série de baguettes pointues (fig. 11/1, fig. 14). Ils suggèrent le remplacement d'une tuyère cassée ou obstruée au cours d'une chauffe. On ne peut en effet fixer correctement un nouveau bec à l'intérieur de la cuve qu'en le dirigeant avec un faisceau de «témoins», comme les appellent aujourd'hui les fondeurs italiens, c'est-à-dire de baguettes de dimension fixe, qui facilitent la mise et le maintien en place.

Quelles que soient leurs caractéristiques, les tuyères en entonnoir s'encastrent dans une porte ou une embrasure, où elles sont retenues par leur encolure, qui forme souvent un bourrelet, un collier. Le bec, qui pénètre à l'intérieur de la cuve se couvre d'une épaisse couche de scories.

Les tuyères dont le conduit est horizontal ou légèrement incliné reposaient à proximité du fond, celles qui sont inclinées à 45° étaient au contraire insérées dans la paroi à une certaine hauteur (environ 40 cm). Elles étaient utilisées soit à la fin d'une période de fusion, soit dans des fourneaux d'un modèle différent.

Les tuyères cylindriques

Les dix tuyères que nous appelons cylindriques ne dépassent pas, en longueur, 15 cm. Modelées *grosso modo* en forme de tuyau, elles se distinguent de tous les modèles analogues relevés dans d'autres champs de fouilles par leur fond plat. Leur diamètre est compris entre 3 et 4,4 cm. A261 (fig. 13/1) frappe par la qualité de sa pâte, fine et dure. Son diamètre minimal conservé est de 3,9 cm. D'une glaise tout aussi soigneusement corroyée, la tuyère B286 (fig. 13/3) est beaucoup plus étroite (diamètre 3,4 cm).

A299 (fig. 13/2) et A6-295 (fig. 13/4), d'une pâte plus rugueuse ont les mêmes caractéristiques de minceur (l'épaisseur des parois s'abaisse de 2 cm à 0,8 cm) et le même calibre. A299 s'est tordue sous l'effet de la chaleur. A6-295 s'est brisée sous la pression d'un bouchon de scories, retrouvé à proximité.

B364 (fig. 13/5), au diamètre minimal conservé de 3 cm, tend vers une forme triangulaire. Cette forme n'a jamais été relevée non plus dans des fouilles, mais elle subsiste dans des hauts fourneaux du Harz et de Saxe bâtis au XVIIIe siècle pour réduire le plomb et l'argent. Schlüter (1738, pl. XXVIII, XXXIII) dessine des buses en forme de tétraèdre

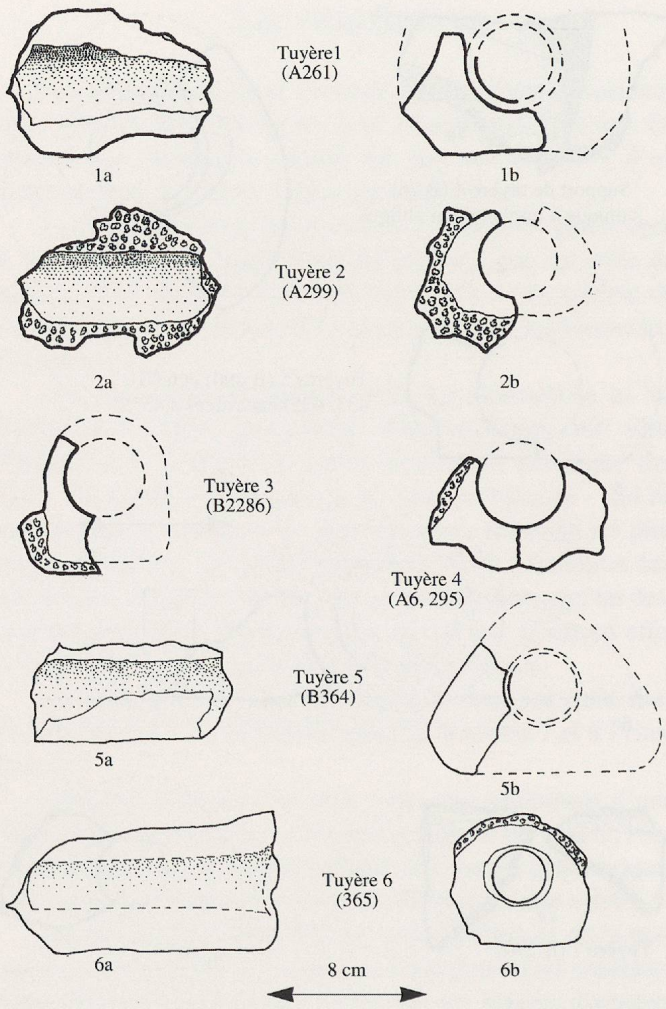

Fig. 13. Bellaires I. Tuyères cylindriques.

aux angles arrondis. Leur dimension (2 pieds environ) est évidemment proportionnée à celle de fourneaux de 15 pieds de haut.

Par sa texture, sa couleur et sa position dans le terrain, B364 s'apparente à la pièce la plus intéressante, B365 (fig. 13/6, fig. 15), que nous classons parmi les tuyères cylindriques «étroites». Première tuyère retrouvée intacte en Suisse, B365 forme un cylindre de 15 cm de long, au fond aplati. Sa hauteur extérieure s'abaisse de 8 à 5 cm près du bec, tandis que le diamètre du conduit passe de 3 à 2,5 cm. La glaise, surchauffée, a pris une teinte violet noir. Son bec est recouvert d'une fine couche de scories; le reste du cylindre semble avoir subi à l'air libre la chaleur du brasier. Trouvée parmi les déchets, au niveau du fond du four XII, elle se rattache probablement à son exploitation.

Un seul autre fragment relevé tout au bas de la halde (B2163) dispose d'un conduit aussi perfectionné (2,8 cm).

Les tuyères sur le terrain

Dans un sol constamment remanié par l'implantation de nouvelles forges, où seize fourneaux sont tantôt juxtaposés, tantôt superposés, il est difficile d'attribuer les échantillons de tuyères à un four déterminé. Toutefois, leur simple

Fig. 14. Bellaires I. Tuyère conique B 367-490 (B.Z.). Les trous ont contenu des «témoins» assurant la mise en place de la tuyère.

répartition géographique ne manque pas d'intérêt.

Trois secteurs apparaissent sur le plan sommaire de la halde (fig. 16).

Secteur nord

Au haut du talus, les tuyères, peu nombreuses, se rattachent toutes au type en entonnoir. Il semble que les fours jumelés n'en ont pas connu d'autres. Cependant, leur nombre est faible: une partie d'entre elles ont roulé par-dessus les exploitations antérieures qui s'étaient implantées à mi-pente. Il faut en tenir compte lors de l'examen des secteurs ouest et est.

Secteur ouest

Dans la zone des fours VII à X, à l'ouest, on constate des tuyères cylindriques «larges» à côté des modèles en enton-

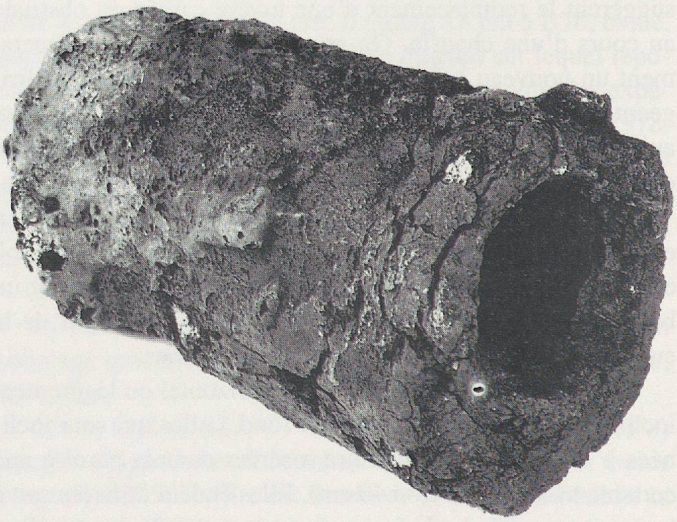

Fig. 15. Bellaires I. Tuyère cylindrique B 365, intacte (B.Z.).

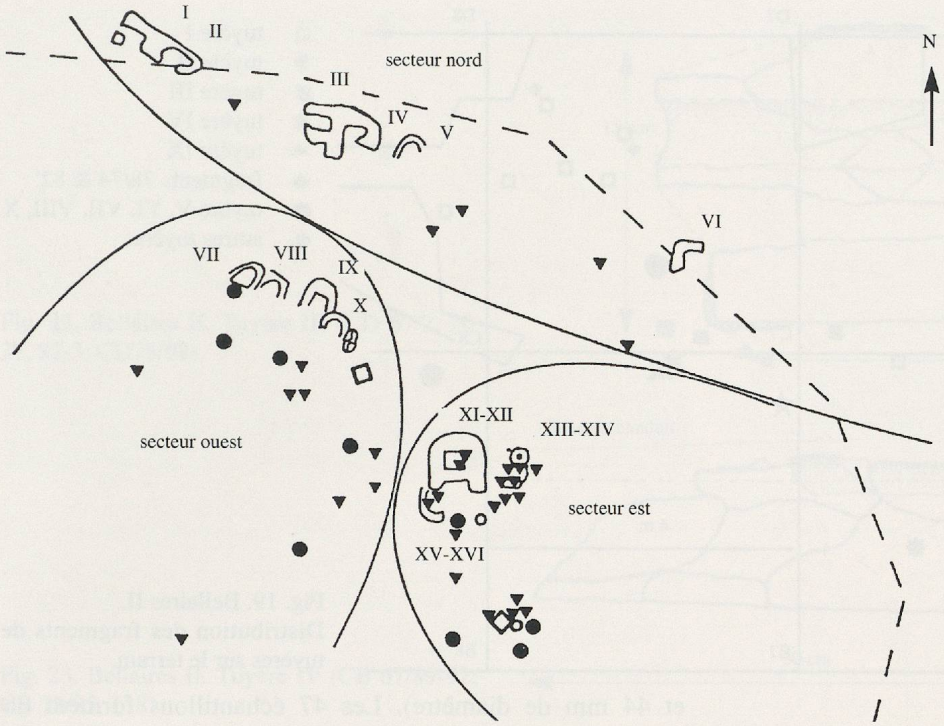

Fig. 16. Bellaires I. Répartition des tuyères.
▼ tuyères en entonnoir
● tuyères cylindriques «larges»
○ tuyères cylindriques «étroites»
◇ conduits de ventilation naturelle

noir. Dans le secteur oriental (fours XI à XVI) s'ajoutent encore deux cylindriques «étroites, qui représentent la soufflerie optimale. C'est le type en entonnoir qui domine dans l'ensemble (74%).

La stratigraphie, relevée dans 38 tranchées, complète ces premières constatations. Mais il faut l'utiliser avec prudence: la profondeur à laquelle les vestiges sont retrouvés ne prouve pas d'emblée leur appartenance à une exploitation récente ou ancienne. Il existe un peu partout, particulièrement au bas de la halde, des couches de rejet, interverties. Les tuyères les plus anciennes, déblayées lors d'un remaniement, gisent parfois dans une couche superficielle, immédiatement au-dessous d'échantillons beaucoup plus récents. Compte tenu de ce problème, on constate que, comme la répartition géographique, la stratigraphie attribue uniquement des tuyères coniques aux fours I, II, III, IV et VI du haut du site. Dans le même secteur, au four V, plus ancien, ne se rattachent que des fragments de forme mal déterminable, mais de diamètre relativement élevé (moyenne 4,1 cm).

Dans le secteur ouest, 5 cylindriques «larges» et 4 tuyères en entonnoir appartiennent aux couches profondes. Le four VII a disposé de la tuyère cylindrique A6-295; VIII et IX ont employé vraisemblablement les deux modèles. A290 (entonnoir à alvéoles) provient probablement de IX. Aucune tuyère n'est relevée dans les couches du four X (le plus ancien), mais un, ou peut-être deux conduits de ventilation naturelle.

Secteur est

Dans le secteur est, la répartition des trois types entre les six fourneaux se révèle plus délicate encore. Aucune tuyère ne provient clairement du four XIII, mais bien le conduit de ventilation B2184. XI, XIV, XV, XVI ont disposé de modèles en entonnoir. C'est à XIV que se rattachent ceux qui s'inclinent à 45°, et ceux à alvéoles du secteur B. Le four XII était très probablement pourvu de tuyères cylindriques et, parmi elles, des plus étroites. Il n'est pas exclu qu'il ait utilisé aussi des tuyères coniques.

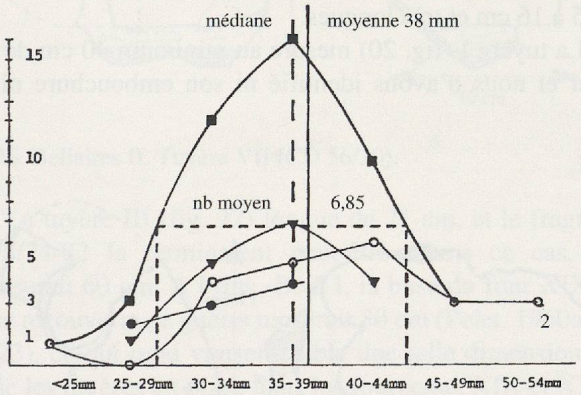

Fig. 17. Bellaires I. Diamètre minimum des tuyères.
▼ tuyères en entonnoir, moyenne 37 mm
● tuyères cylindriques, moyenne 33 mm
○ fragments de type incertain 41 mm
■ ensemble des tuyères, moyenne 38 mm
1 fragment aberrant (trou de ringard ou chalumeau, 18 mm)
2 fragments déformés par la chaleur

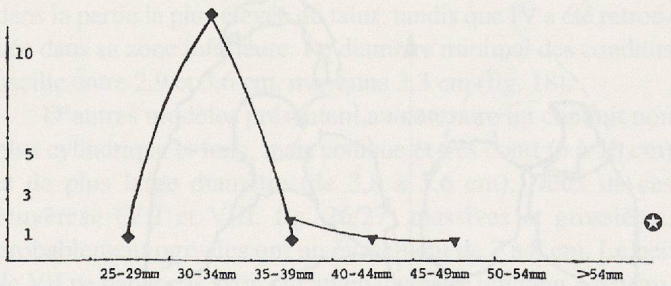

Fig. 18. Bellaires II. Diamètre minimum des tuyères.
▼ tuyères en entonnoir très courtes, moyenne 41 mm
◆ tuyères cylindriques ultralongues (buses), moyenne 33 mm
✪ conduits de ventilation naturelle

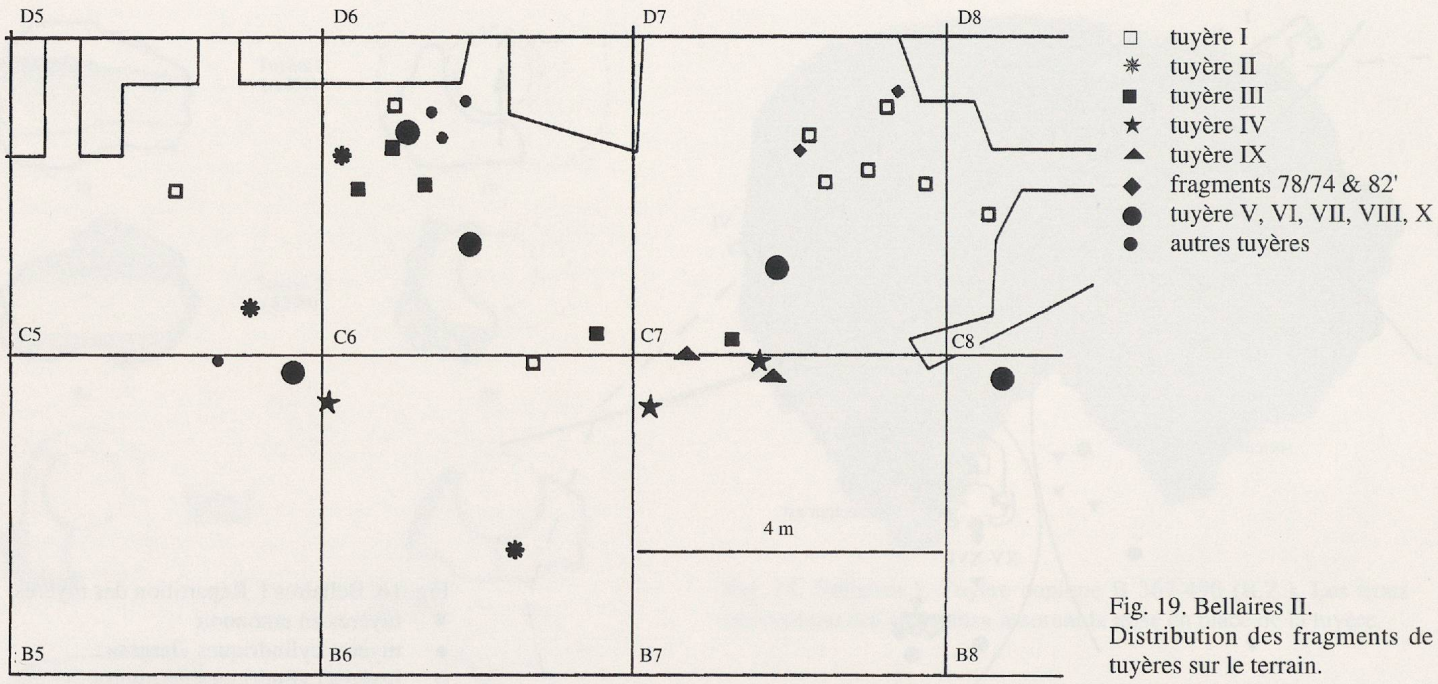

Fig. 19. Bellaires II. Distribution des fragments de tuyères sur le terrain.

Diamètre minimal des tuyères

Le relevé des 47 échantillons qui ne sont ni des évasements ni des trous de ringard (fig. 17) montre que le diamètre minimal moyen des modèles en entonnoir dont le bec est mesurable est de 39 mm. Les cylindriques, peu nombreux il est vrai, semblent plus étroits (33 mm). Seuls les fragments de type indéterminé dépassent en moyenne 4 cm (41 mm). Le mode des tuyères en entonnoir et celui de tous les échantillons se situent sur la médiane. 81% des tuyères sont groupées dans le secteur délimité par le nombre moyen (entre 30 et 44 mm de diamètre). Les 47 échantillons forment un ensemble homogène.

Une étude par secteur et par couches est plus significative: les six diamètres mesurables des échantillons de la couche supérieure (fours I à IV et VI) atteignent 44 mm. Les tuyères en entonnoir des couches plus profondes ont au contraire un diamètre moyen de 37 mm. La soufflerie des dernières exploitations semble en régression, avec son calibre nettement plus élevé.

Bellaires II

Deux cents débris de tuyères (dont une soixantaine de conduits) étaient dispersés parmi les scories et les restes de four de Bellaires II. 80 morceaux, éparpillés sur 70 m^2 ont été regroupés et recollés (fig. 19). Ils permettent de reconstituer une série de tuyères d'un type tout autre que celles de Bellaires I: ogivales, massives, larges de 10 à 13 cm, hautes de 15 à 16 cm et très longues.

La tuyère I (fig. 20) mesure au minimum 40 cm de longueur et nous n'avons identifié ni son embouchure ni son

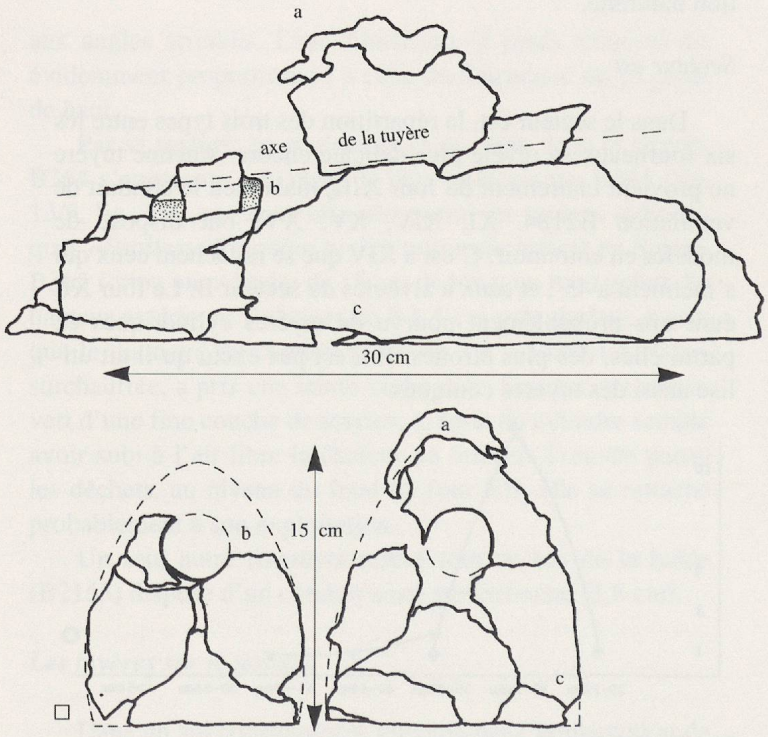

Fig. 20. Bellaires II. Tuyère I (CD56/11; 67/41, 81; 78/5, 11, 68, 81; 89/104).

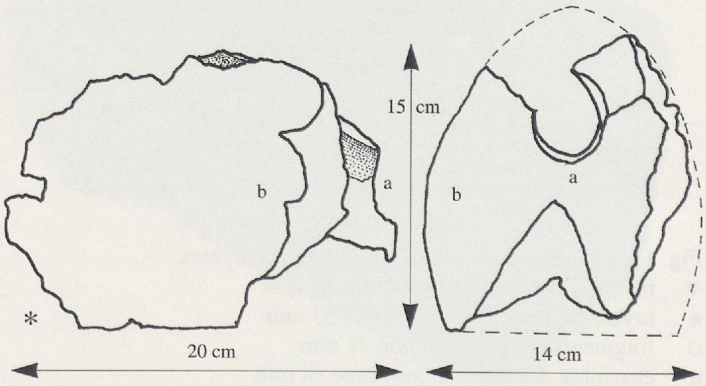

Fig. 21. Bellaires II. Tuyère II (CD56/24; CD67/58, 64.

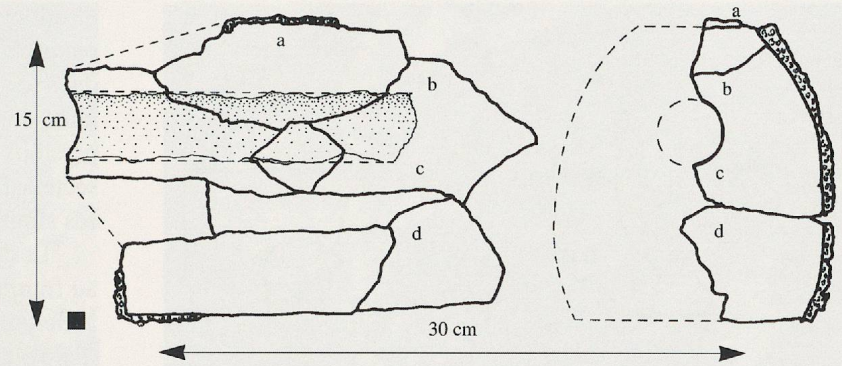

Fig. 22. Bellaires II. Tuyère III (CD 67/2, 20, 37, 82-3; CD78/99).

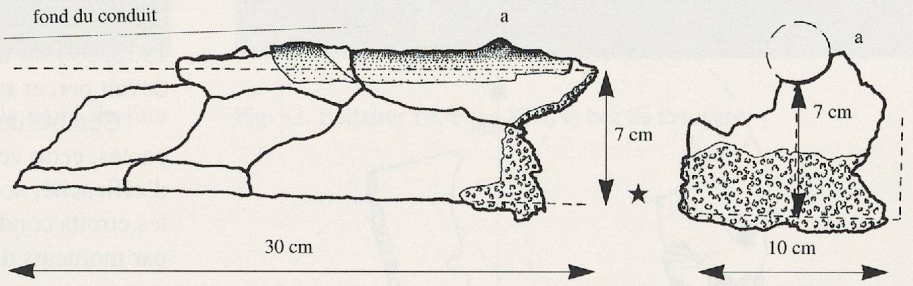

Fig. 23. Bellaires II. Tuyère IV (CB 67/89-92; CB 78/85, 118).

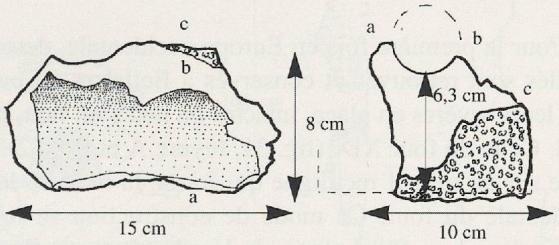

Fig. 24. Bellaires II. Tuyère V (CD 67/42).

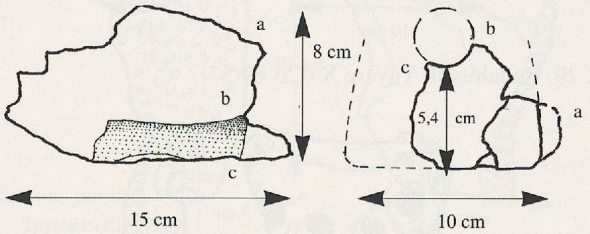

Fig. 25. Bellaires II. Tuyère VI (CD 67/87).

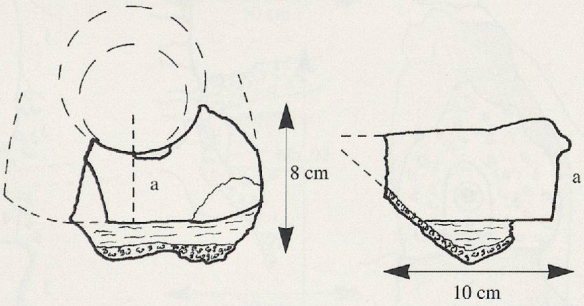

Fig. 26. Bellaires II. Tuyère VII (CD 56/20).

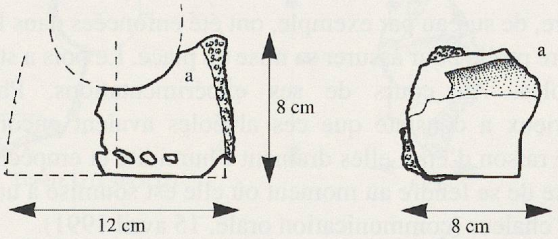

Fig. 27. Bellaires II. Tuyère VIII (CD 78/266).

bec. La tuyère III (fig. 22) longue de 21 cm, et le fragment CD78/74-82 la terminaient peut-être. Dans ce cas, elle dépasserait 60 cm. A Prins -Bois I, la buse du four XIX, en glaise recouverte de gneiss mesurait 80 cm (Pelet, 1960a, 70, fig. 23), ce qui rend vraisemblable une telle dimension. De même les tuyères en place dans les fourneaux XIX et XX de Bellaires III atteignent environ 40 cm.

Une enveloppe de glaise enrobait la tuyère I de Bellaires II pour la cimenter à la paroi. Jonction sans doute approximative: la scorie s'est collée sur une longueur de 19 cm contre le flanc de la tuyère III. Les becs de IV et de V (fig. 23-24) appartiennent à une variante aux flancs verticaux dans leur partie inférieure. Les tuyères I, II, III gisent principalement dans la partie la plus élevée du talus, tandis que IV a été retrouvée dans sa zone inférieure. Le diamètre minimal des conduits oscille entre 2,9 et 3,6 cm, moyenne 3,3 cm (fig. 18).

D'autres modèles présentent au contraire un conduit non plus cylindrique et long, mais conique et très court (5 à 10 cm) et de plus large diamètre (de 3,8 à 5,6 cm). Deux de ces «tuyères» (VII et VIII, fig. 26/27) massives et grossières, probablement ogivales ont un évasement de 7 à 8 cm. Le bec de VII ne paraît pas avoir atteint un diamètre inférieur à 5,6 cm. La tuyère IX, plus soignée (fig. 28) présente un évasement ovale de 9,9 sur 7 cm, qui aboutit à un bec de 3,8 cm. L'encolure est parsemée d'alvéoles circulaires au fond desquelles subsiste un pédoncule de glaise. Des baguettes à moelle

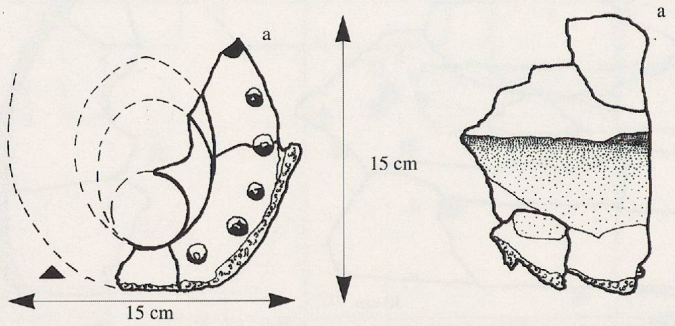

Fig. 28. Bellaires II. Tuyère IX (CB 78/97', 108, 108').

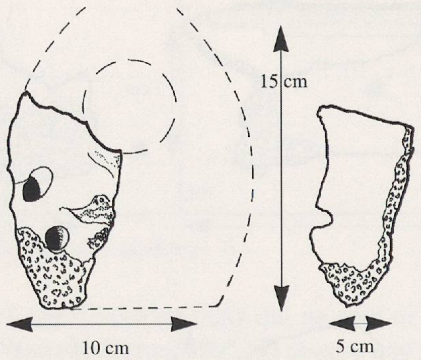

Fig. 29. Bellaires II. Tuyère X (CB 89/57).

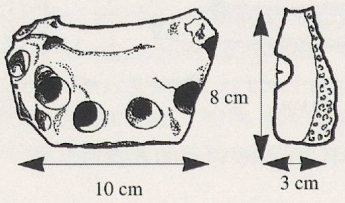

Fig. 30. Bellaires II. Plaque scoriée (CD 78/226).

tendre, de sureau par exemple, ont été enfoncées dans la pâte encore molle pour assurer sa mise en place. Le bois a strié les alvéoles. Au cours de ses expérimentations, Philippe Andrieux a constaté que ces alvéoles avaient encore une autre raison d'être: elles drainent l'humidité et empêchent la tuyère de se fendre au moment où elle est soumise à une très forte chaleur (communication orale, 15 avril 1991).

Plus inattendue encore, la tuyère X (fig. 29) apparaît comme une plaque ogivale de 5 cm d'épaisseur (diamètre du conduit 4,8 cm). La scorie, qui recouvre la face intérieure a glissé par-dessous et a collé au bas de la face extérieure. Les coniques grossières et larges VII et VIII (fig. 26-27) n'ont pas servi de trou de coulée: leur conduit est vierge de scories. Elles suggèrent une ventilation naturelle. Avec leur conduit pratiquement horizontal, les coniques de Bellaires II ne sauraient être encastrées à une certaine hauteur dans la paroi du four, comme celles de XIV de Bellaires I. Elles étaient logées vraisemblablement dans la porte. La plaque scoriée à trous (fig. 30) a pu soutenir l'une d'elles, tout en retenant le métal en voie de réduction.

Parmi les vestiges d'une seule couche archéologique, – d'un seul fourneau, nous avons recueilli les restes de huit tuyères au moins (douze peut-être), quatre à six cylindriques ultralongues, quatre à six coniques et ultracourtes. Des reconstructions partielles, dont nous retrouvons les traces dans les glaisages, et sans doute une exploitation d'une certaine durée, expliquent le surnombre des tuyères et leur dispersion dans le crassier. Comme dans le secteur II et le secteur III de Bellaires I, des modèles différents ont été utilisés simultanément.

Les ogivales ultralongues traversaient les parois comme au fourneau XIX de Prins-Bois (Pelet,1960a, 70) ou comme à Bellaires III. Les coniques s'inséraient dans la porte, ou remplaçaient une pointe endommagée. Le fourneau semble avoir possédé au moins deux tuyères ogivales à la fois, plus peut-être, comme certains modèles carinthiens (W. Schmid, 1932, 39) ou africains (Straker, 1969, 22-23). Une conique devait percer sa porte.

Comme un grand nombre de scories sont pâteuses, compactes, cette ventilation multiple paraît avoir manqué parfois d'efficacité, soit que les soufflets aient été trop faibles pour les étroits conduits, soit que les forgerons se soient contentés par moments d'un tirage naturel.

Bellaires III

Pour la première fois en Europe occidentale, deux fours jumelés sont retrouvés et conservés à Bellaires III en 1967 avec leurs tuyères en place, intactes ou peu s'en faut, dans la paroi. Celle du four XIX (fig. 31, tuyère A et fig. 32-33) est posée sur un massif rectiligne qui forme la base de la paroi occidentale du four. Ce mode de construction se retrouve encore dans les «Stückofen» de Vordernberg en Styrie, au

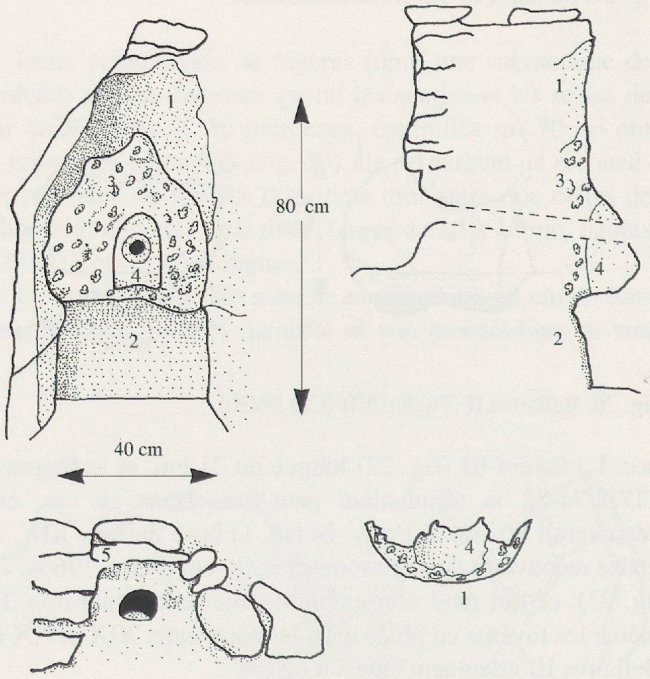

Fig. 31. Bellaires III. Tuyère A (four XIX).

1 paroi de la cuve, concave
2 paroi du creuset, rectiligne
3 motte de scories
4 bec de la tuyère
5 embrasure de la tuyère

Fig. 32. Bellaires III. Tuyère A encastrée dans la paroi du four XIX.

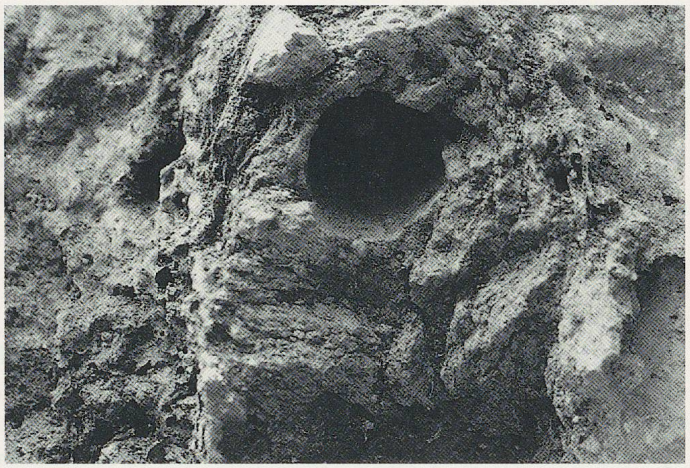

Fig. 33. Bellaires III. Four XIX, le bec de la tuyère.

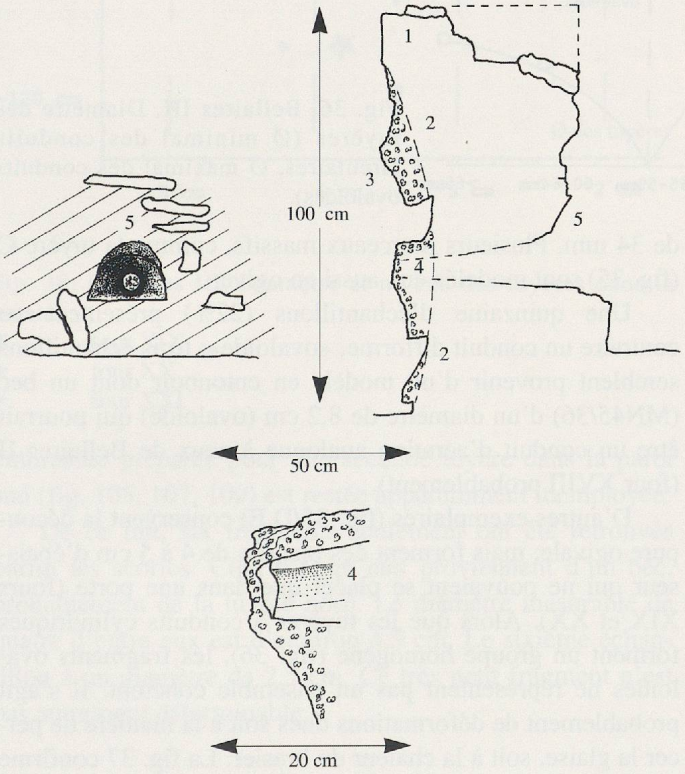

Fig. 34. Bellaires III. Tuyère B (four XX).
1 paroi verticale et rectiligne
2 paroi concave
3 motte de scories
4 bec de la tuyère
5 embrasure de la tuyère

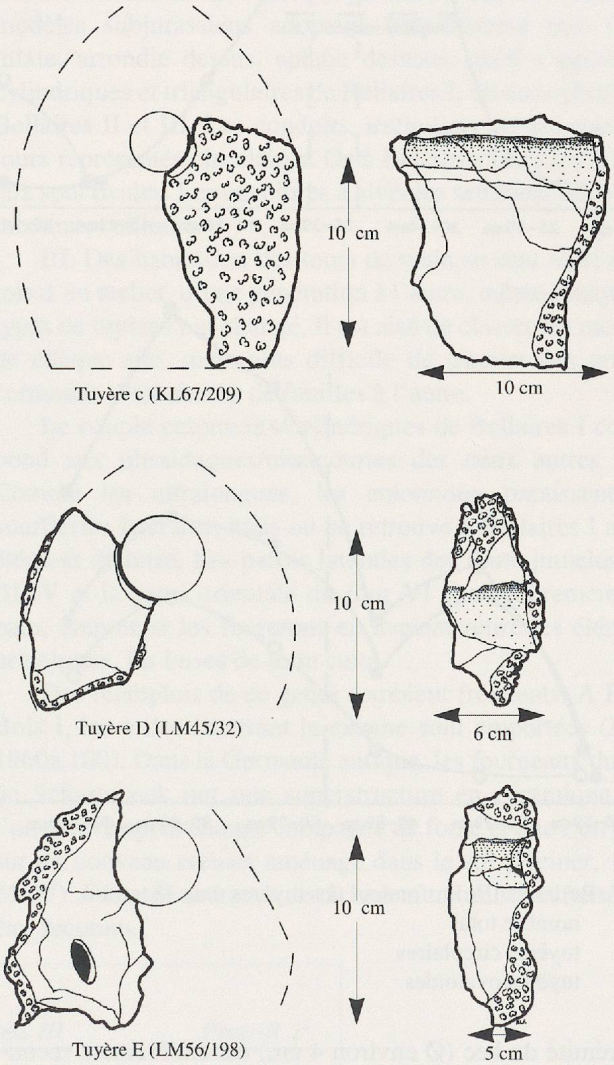

Fig. 35. Bellaires III. Tuyères C, D, E.

XVIIIe siècle (Courtivron et Bouchu, 1761-2, III, 35). Le bec de la tuyère, d'un diamètre de 42 mm, débouche à 35 cm du fond. Le conduit est légèrement incliné (5°) en direction du creuset. Il est percé dans une motte de glaise ogivale, analogue par ses dimensions et par sa forme à celles que nous avions reconstituées en 1966 à Bellaires II. Le bec, qui s'avance d'environ 15 cm à l'intérieur de la cuve, est recouvert d'une carapace de scories qui s'étale sur toute la paroi (voir fig. 98). A l'extérieur, l'embrasure est protégée par des pierres (Ø du conduit: 8 cm).

La tuyère du four XX (fig. 34, tuyère B) dans la paroi orientale présente une embrasure plus évasée (15 cm).

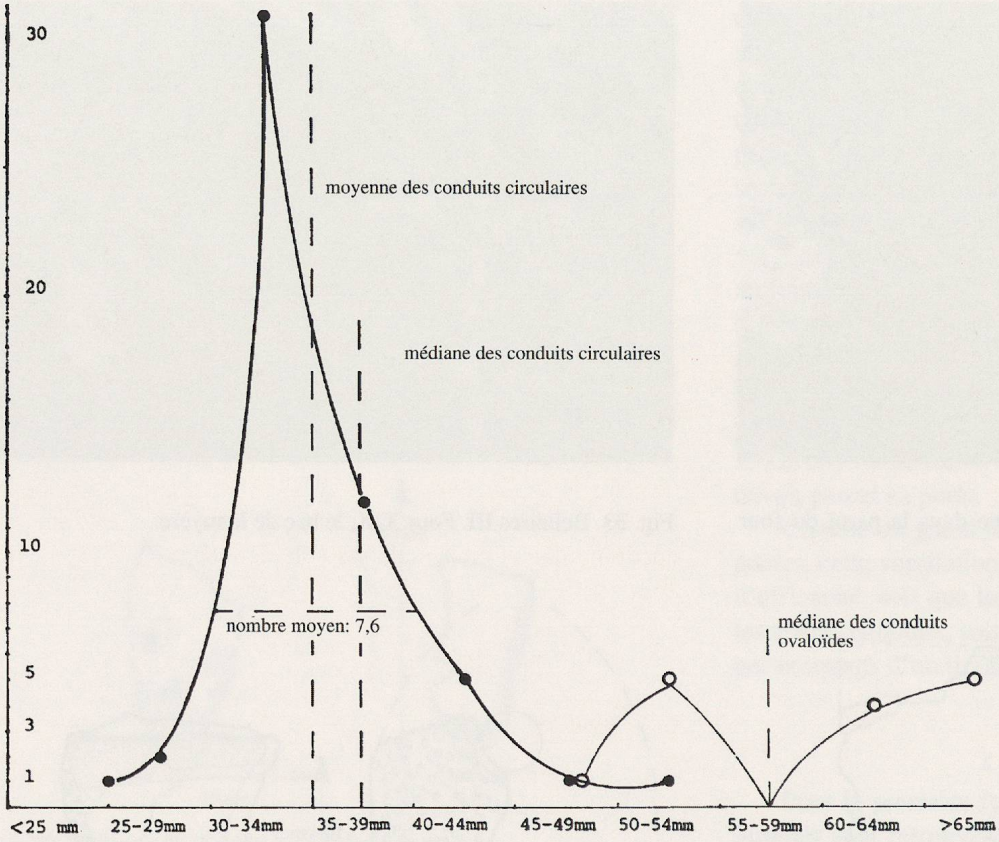

Fig. 36. Bellaires III. Diamètre des tuyères (Ø minimal des conduits circulaires, Ø maximal des conduits ovaloïdes).

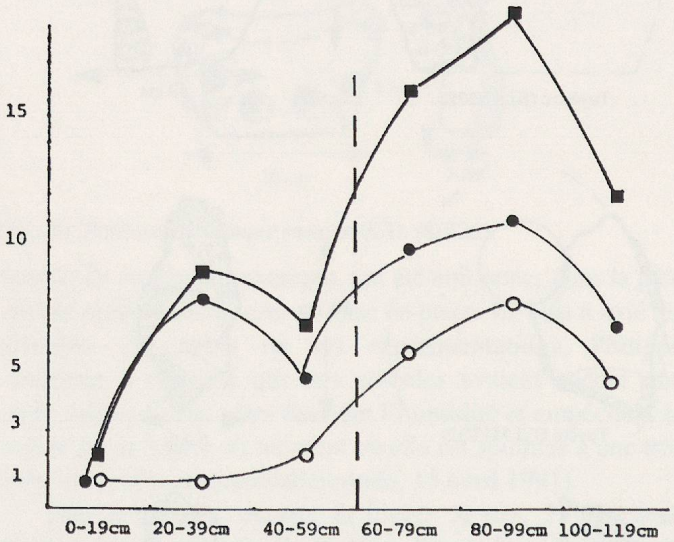

Fig. 37. Bellaires III. Profondeur des tuyères dans le terrain.
■ nombre total
● tuyères circulaires
○ tuyères ovaloïdes

L'extrémité du bec (Ø environ 4 cm) est entièrement recouverte par une couche de scories. Le four a été abandonné après cette obstruction, peut-être à cause d'elle. Le conduit, qui débouche 38 cm au-dessus du fond, est pratiquement horizontal.

Outre les tuyères en place, une cinquantaine de fragments, provenant d'au moins dix-sept tuyères ou conduits différents, relevés dans les déchets, ont un diamètre moyen de 34 mm. Plusieurs morceaux massifs, comme la tuyère C (fig. 35) sont modelés eux aussi en ogive.

Une quinzaine d'échantillons (22%) présentent au contraire un conduit difforme, «ovaloïde»; trois échantillons semblent provenir d'un modèle en entonnoir dont un bec (MN45/36) d'un diamètre de 8,2 cm (ovaloïde) qui pourrait être un conduit d'aération analogue à ceux de Bellaires II (four XVIII probablement).

D'autres exemplaires (fig. 35/D,E) conservent la découpure ogivale, mais forment des plaques de 4 à 5 cm d'épaisseur qui ne pouvaient se placer que dans une porte (fours XIX et XX). Alors que les tuyères à conduits cylindriques forment un groupe homogène (fig. 36), les fragments ovaloïdes ne représentent pas un ensemble cohérent. Il s'agit probablement de déformations dues soit à la manière de percer la glaise, soit à la chaleur du brasier. La fig. 37 confirme cette hypothèse: leur distribution est analogue à celle des modèles circulaires. Grâce à la clarté de cette stratigraphie, 33 échantillons peuvent être attribués avec certitude aux fours XIX, XX et XXI. Bien que ces fours représentent deux étapes d'exploitation différentes, ils ont utilisé les uns et les autres des tuyères ovaloïdes ou ogivales massives à conduit circulaire. Ni leur forme ni leur diamètre ne varient en fonction du niveau où elles ont été trouvées. La fig. 38 prouve qu'à Bellaires III la soufflerie n'a pas évolué.

Bossena I

Le fourneau unique de la Bossena I sur Ferreyres conservait lui aussi en 1968, lors de sa découverte une tuyère en place dans sa paroi nord, mais passablement détériorée. Une

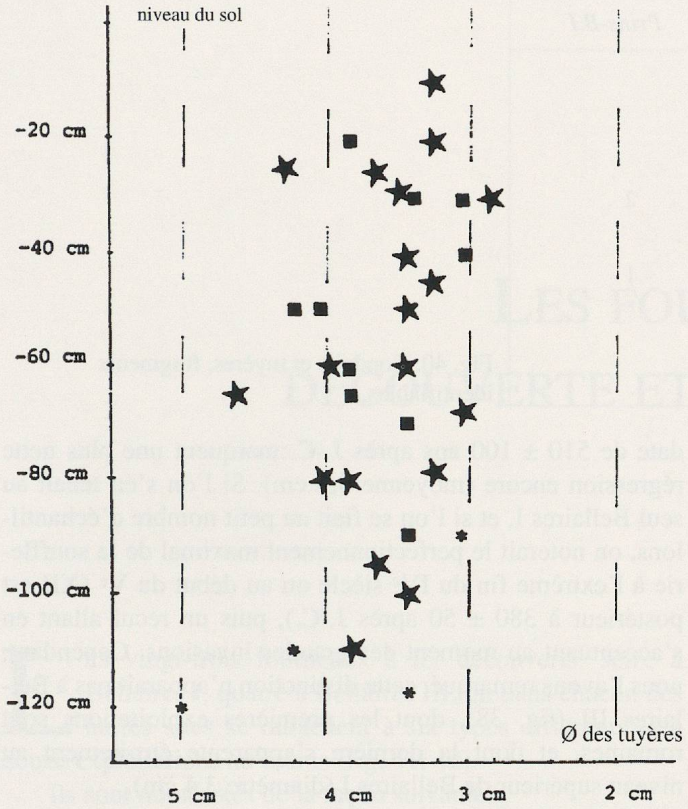

Fig. 38. Bellaires III. Diamètre et niveau des tuyères dans le terrain.
■ four XIX
★ four XX
✳ four XXI

embrasure préparée pour une seconde tuyère dans la paroi sud (fig. 105, 107, 109) est restée apparemment inemployée.

De ce fait, six fragments seulement ont été retrouvés parmi les scories. Cinq d'entre eux proviennent d'un bec, probablement de la tuyère nord. Le diamètre mesurable de quatre d'entre eux est d'environ 4,5 cm. Le sixième échantillon a un diamètre de 2,5 cm. Ce très petit fragment n'est pas autrement déterminable.

Prins-Bois II

Le fourneau de Prins-Bois II n'a livré qu'un seul débris de bec, de 5 cm de longueur, d'un type indéterminable. Ce morceau, légèrement scorié, a un diamètre irrégulier qui oscille entre 4,8 et 5cm. Il était peut-être ovale. Cependant, comme aucune embrasure n'a été retrouvée dans les parois bien conservées de ce four, la tuyère ne pouvait prendre place, à l'inverse du modèle de la Bossena I, que dans la porte.

Des tuyères diversifiées

I. Les forgerons du pied du Jura, comme tous ceux de l'Europe celtique, ont repassé de la ventilation naturelle (fours X, XIII) à la ventilation artificielle, mais sans renoncer définitivement à l'ancien procédé; ils s'en sont servi à Bellaires II (four XVII) et à Bellaires III (fours XVIII et XXI).

II. Les tuyères qu'ils ont utilisées aux Bellaires présentent une certaine originalité: partout ailleurs, elles sont ou quadrangulaires ou circulaires (Pleiner, 1958, 12, 233, 257, 263), éventuellement ovales (Tylecote, 1962, 199-201). Les modèles subjurassiens adoptent fréquemment une forme mixte, arrondie dessus, aplatie dessous, qu'il s'agisse des cylindriques et triangulaires de Bellaires I, ou des ogivales de Bellaires II et III. Les conduits, irréguliers certes, sont toujours représentés circulaires. Or à Bellaires III, 22% d'entre eux sont ovales. Les encolures à alvéoles semblent elles aussi inconnues ailleurs.

III. Des habitudes, des tours de main se sont ainsi transmis d'un atelier, d'une génération à l'autre, même lorsque les types de tuyères ont changé. Il est aisé de classer les modèles de chaque site, mais plus difficile de trouver des critères communs d'un champ de fouilles à l'autre.

Le couple entonnoirs/cylindriques de Bellaires I correspond aux ultralongues/ultracourtes des deux autres sites. Comme les ultralongues, les entonnoirs paraissent des souffleries latérales; mais on ne retrouve à Bellaires I aucun élément de buse. Les parois latérales des fours jumelés I-II, III-IV et la paroi orientale du four VI ont entièrement disparu, comme si les forgerons en avaient retiré les éléments principaux, les buses de terre cuite.

Des réemplois de ce genre semblent fréquents. A Prins-Bois I, les tuiles couvrant la cabane sont emportées (Pelet, 1960a,100). Dans la Germanie antique, les fourneaux du type de Scharmbeck ont une superstructure en céramique, que l'on enlève après chaque campagne de fonte et que l'on place sur un nouveau creuset aménagé dans le sol (Pleiner, 1965, 35-37). Faute de marques de tâcheron, un transfert ne saurait être reconnu.

Formes	*Bell. I*	*Bell. II*	*Bell. III*	*Prins-B. I*[1]
Entonnoir	33 tuyères	1 tuyère	2 tuyères	2 tuyères
	–	2 conduits	1 conduit	–
Évasement ovale	1 entonnoir	1 entonnoir		2 entonnoirs
Bec ovale	1	1	15	
Encolure à alvéoles	4 entonnoirs	1 entonnoir	2 ogivales	
		1 ogivale		
Fonds plats	8 cylindres	9 ogivales	3 ogivales	

1. Pelet, (1960a).

Fig. 39. Facture des tuyères et conduits (éléments sûrs).

Ventilation	*Bell. I*	*Bell. II*	*Bell. III*	*Boss. I*	*Prins-B.I*
Conduits:					
Obtus	2				
en entonnoir		2	1		
Tuyères à entonnoir:					
horizontal	31	1	2		2
à 45°	2				
Tuyères cylindriques:					
Ø>30 mm	10		1		1
Ø 25-30 mm	2				
Tuyères ogivales:		4(6)	8	1	
ultralongues		1			
ultracourtes		2			

Fig. 40. Conduits et tuyères, fragments identifiables.

Comme les ultracourtes, les cylindriques s'appliquent dans les portes. Elles représentent une variante d'un type fréquemment retrouvé en Europe. Elles se concentrent dans les ateliers intermédiaires de Bellaires I (ateliers III à VIII). Tylecote décrit des plaques circulaires scoriées d'un côté, retrouvées à Ballyvourney en Irlande, qui rappellent les ogivales ultracourtes, mais qui datent du VIe au Xe siècle.

Il les interprète comme un écran protecteur planté à la pointe du soufflet (Tylecote,1962, 200-01). La scorification s'explique mal dans ce cas.

IV. Ce qui est certain, c'est que les forgerons ont utilisé simultanément deux types de tuyères à Bellaires I (IX, et probablement VIII et XII), trois même à Bellaires II (XVII) et Bellaires III (XIX, XX).

V. La forme de la tuyère découle en premier chef de sa position dans le four et non de son calibre. D'un type à l'autre, les variations de diamètre sont peu significatives.

VI. Les conduits, peu nombreux, et trop irréguliers, ne révèlent pas une évolution chronologique incontestable. Cette évolution ne fait que s'esquisser à Bellaires I, où l'antépénultième atelier (fourneau XII), possède les tuyères cylindriques les plus étroites, de 2,5 cm au minimum, de 3,4 cm en moyenne. Mais son successeur XIV (à tuyères en entonnoir) retrouve les calibres antérieurs (3,9 cm). Les fours de l'exploitation la plus récente (I à IV et VI), que le carbone date de 510 ± 100 ans après J.-C. marquent une plus nette régression encore (moyenne 4,4 cm). Si l'on s'en tenait au seul Bellaires I, et si l'on se fiait au petit nombre d'échantillons, on noterait le perfectionnement maximal de la soufflerie à l'extrême fin du IVe siècle ou au début du Ve (XII est postérieur à 380 ± 50 après J.-C.), puis un recul allant en s'accentuant au moment des grandes invasions. Cependant, nous l'avons remarqué, cette distinction n'apparaît pas à Bellaires III (fig. 38), dont les premières exploitations sont romaines, et dont la dernière s'apparente étroitement au niveau supérieur de Bellaires I (diamètre 3,4 cm).

Certes, les becs des deux tuyères encore en place dans les fours XIX et XX atteignent 4 à 4,2 cm. La mesure de l'extrême pointe, seule accessible, ne nous donne pas à coup sûr le diamètre minimal.

On ne saurait déduire de cette unique constatation que le dernier remaniement des fourneaux est dû à de nouveaux venus.

VII. Enfin, comme le montrera le chapitre suivant, les fourneaux qui utilisent les mêmes tuyères ne se ressemblent pas nécessairement par leur architecture et les modèles apparentés n'ont pas nécessairement des tuyères du même type. De telles interférences suggèrent la transmission de traditions locales survivant à la découverte ou à l'apport de techniques nouvelles.