

**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:** 6: Les fourneaux, étude comparative  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-835406>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

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

## 6

# LES FOURNEAUX, ÉTUDE COMPARATIVE

**L**ES vingt-trois fourneaux dégagés entre 1963 et 1968 forment une série limitée et passablement disparate, mais mieux conservée que celle de Prins-Bois I (Pelet, 1960a). Les découvertes de ce premier site sont trop fragmentaires pour qu'il soit utile de les intégrer dans l'étude comparative. Nous les reportons en fin de chapitre. Même

dans la région des Bellaires, l'état de destruction d'un certain nombre de fours ne permet plus qu'une description lacunaire. Une analyse comparative risque donc de tourner court, si l'on ne relève pas tous les indices susceptibles d'apporter un éclaircissement. Quatre-vingt-onze caractéristiques ont été retenues.

## Caractéristiques des fourneaux

### a) Position des fourneaux dans le terrain

1. niveau inférieur,  
niveau intermédiaire,  
niveau supérieur,  
niveau unique.  
2. four seul,  
four en batterie,  
four superposé ou sous un autre,  
four jumelé.

3. four sans isolation thermique,  
four à isolation thermique,  
four encastré, en puits,  
four accoté à un talus,  
four appuyé à un rocher,  
four en tour.

### b) Matériaux

1. pierres morainiques,  
dalles de granit et gneiss,  
dalles calcaires,  
glaise,  
scories et glaise.

2. a) construit avec des matériaux de réemploi cimentés  
avec glaise:  
jaune orange,  
brun rouge tournant au gris  
b) dont le mur extérieur est colmaté d'humus.

### c) Aspects extérieurs

1. épaisseur des murs:  
parfois moins de 40 cm,  
40 à 60 cm,  
constamment supérieure à 60 cm.

2. forme extérieure générale:  
trapue,  
allongée,  
très allongée.

## 3. forme extérieure:

en fer à cheval,  
circulaire,  
«ovaloïde»,  
quadrangulaire,  
polygonale.

## 4. hauteur de la cuve:

moins de 120 cm,  
120 à 140 cm,  
140 à 180 cm,  
plus de 180 cm.

## 5. sans porte,

avec porte,  
avec porte en encorbellement,  
chambranles verticaux,  
pilier de porte en abat-vent,  
linteau formé d'une grande dalle,  
seuil oblique,  
seuil horizontal,  
existence d'une dame.

## 6. vestiges:

de gueulard,  
de gueulard en glaise.

**d) Aspect intérieur**

## 1. nature du fond:

en gravier morainique,  
formé par le roc naturel,  
en glaise,  
dallé.

## 2. surface du fond:

supérieure à 30 dm<sup>2</sup>,  
supérieure à 20 dm<sup>2</sup>,  
supérieure à 10 dm<sup>2</sup>,  
inférieure à 10 dm<sup>2</sup>.

## 3. forme du fond:

trapu,  
relativement allongé,  
très allongé,  
en fer à cheval,  
circulaire,  
pratiquement ovale,  
quadrangulaire,  
trapézoïdal.

## 4. revêtement intérieur:

glaise,  
scories enrobées de glaise,  
pierres roulées et glaise,  
gneiss (et glaise),  
tuileaux romains.

## 5. cuve avec:

une paroi verticale au moins,  
une paroi amont verticale,  
une paroi latérale verticale.

## 6. forme de la cuve

conique,  
tubulaire,  
asymétrique.

## 7. intérieur:

fortement scorié,  
moyennement scorié,  
faiblement scorié,  
reglissé.

**e) Ventilation**

## 1. ventilation:

naturelle,  
artificielle,  
mixte.

## 2. forme des tuyères:

en entonnoir,  
à alvéoles,  
cylindriques,  
cylindriques étroites,

ogivales massives,  
ultracourtes,

à implantation oblique.

## 3. position des tuyères:

dans la porte,  
latérale,  
deux tuyères latérales ou plus,  
tuyère près du fond du creuset,  
tuyère à plus de 20 cm du fond.

Ces caractéristiques, groupées ci-dessus selon la logique de la description n'ont pas toutes la même importance. Certaines sont dues à des circonstances fortuites plus qu'à une volonté concertée. Ainsi, onze fourneaux encastés dans un talus reposent sur un fond morainique, cinq autres sur le roc. Ces deux sous-ensembles naissent simplement des surprises du terrassement. Les fours à faible, ou au contraire à forte scorification, doivent cette différence autant, si ce n'est plus, aux péripéties de l'exploitation qu'à leur architecture et à leurs qualités intrinsèques.

Le choix des matériaux de construction dépend probablement moins de l'expérience technique des forgerons que des ressources mêmes du site. Certaines différences ou ressemblances frappantes au premier abord se révèlent très secondaires après analyse. Ainsi le revêtement intérieur en tuiles romaines de XIV qui le rapproche de son prédécesseur XII est simplement repris et réutilisé. C'est du matériel de réemploi pour un modèle en fait totalement différent. Au contraire, le revêtement en dalles de gneiss du four IX paraît étranger à ceux en tuileaux romains de XII ou de XI. En fait,

des manteaux de pierres plates ou de tuiles résultent du même désir de superposer des matériaux réfractaires en couches parfaitement horizontales. Les constructeurs de IX puis de XI et de XII tendent au même but.

Une hiérarchie peut être établie: les traits catalogués forment cinq groupes, non plus selon l'ordre de la description, mais selon leur importance dans la construction des fourneaux et dans la fabrication du fer (groupes I à V).

### Groupe I. Caractéristiques fondamentales

**Ia Four:**

à isolation thermique,  
sans isolation thermique.

**Ib Four:**

à ventilation naturelle,  
à ventilation artificielle,  
à ventilation mixte.

**Ic Hauteur de la cuve:**

moins de 4 pieds (moins de 118 cm),  
4 à 5 pieds (118-148 cm),  
5 à 6 pieds (148-177 cm),  
plus de 6 pieds (plus de 177 cm).

**Id Surface du fond:**

supérieure à 30 dm<sup>2</sup>,  
inférieure à 30 dm<sup>2</sup>,

inférieure à 20 dm<sup>2</sup>,

inférieure à 10 dm<sup>2</sup>.

**Ie Forme de la cuve:**

tubulaire (type 3),  
asymétrique (type 4a),  
conique (type 5a).

**If Forme du fond du creuset:**

en fer à cheval,  
circulaire,  
pratiquement ovale,  
quadrangulaire régulier,  
trapézoïdal.

**Ig Four:**

avec porte,  
sans porte.

#### Ia) L'isolation thermique

Sous les tropiques, les maîtres de forges se soucient peu de la déperdition de chaleur. Les fours du Togo, de l'Inde et des Philippines (Johannsen, 1953, 11,16,35 par ex.) ne s'embarrassent pas d'épaisses parois. En Europe centrale et septentrionale au contraire, les foyers sont isolés de la fraîcheur ambiante. On peut donc distinguer deux types de fourneaux:

- a) ceux qui ne sont pas protégés du froid,
- b) ceux qui disposent d'une isolation thermique sérieuse.

Le climat et les craintes qu'il inspire aux maîtres de forges créent cette différence, et non le choix d'une technique de fusion. Cette distinction n'a pas l'importance technique qu'on lui a attribuée souvent (Forbes, 1950, 129), mais elle correspond à une distribution climatique très générale. En Europe, les fours mal isolés sont des foyers de forge ou des fours à recuire.

Les fourneaux de réduction de type b, que l'on tient donc à protéger du froid sont les uns encastrés dans le sol, les autres entourés d'une chape isolante en glaise, en pierres, en scories ou en terre végétale.

Comme nos fouilles le montrent clairement, cette subdivision dépend le plus souvent d'un accident, la configuration du terrain. 22 des 23 fourneaux des Bellaires, de la Bossena et de Prins-Bois II, comme 20 des 24 fourneaux de Prins-Bois I sont encastrés dans des talus abrupts. Les autres (Prins-Bois I/VII, XVIII, VIII, XI, Bellaires III/XXI) ont été élevés sur des replats rompant la pente. Il est inutile d'en faire un sous-groupe. Les seuls foyers pour lesquels nous ne constatons pas une isolation systématique (voir p. 41) sont les fours, probablement à recuire XV et XVI de Bellaires I.

Dans son essai de classification des fours à métaux, Forbes, (1950, 129) qui attache une grande importance au problème de l'isolation thermique la combine avec le choix des matériaux de construction et l'apparence générale pour obtenir trois catégories de fourneaux de réduction:

- les fours creusés, «ditch furnace»,
- les fours montés en glaise, «pot furnace»,
- les fours encastrés en puits, «shaft furnace».

Cette classification ne permet pas d'englober les types bâtis en scories (Prins-Bois I, Pelet, 1960a) ou les modèles mi-creusés, mi-bâtis, de la Germania Magna (Pleiner, 1965, 22), découverts depuis. Il faut l'abandonner et s'arrêter à un critère plus significatif, la ventilation.

#### Ib) La ventilation

Forbes (1950,129) a relevé à juste titre l'importance fondamentale de la ventilation, parfois naturelle (type I), le plus souvent artificielle: soufflets à main ou à pied (type II), trompes hydrauliques (type III), soufflets à moteur hydraulique (type IV).

Site	Naturel	Artificiel	Mixte	Total
Bell. I	2	14*		16
Bell. II			1	1
Bell. III		2	2	4
Boss. I		1		1
Pr.-B. II		1		1
<b>Total</b>	2	18	3	23

\* dont 2 fours à recuire

Fig. 122. Ventilation.

Cette classification des techniques ne correspond pas à une évolution chronologique absolue. Sans parler des survivances archaïques, il est évident que les plus anciens foyers, les petits modèles creusés du premier âge du fer ne pouvaient se passer de soufflets ou de chalumeaux tout au moins (Osann, 1971, I, 9-10; Pertlwieser, 1970 /I, 51, 74). L'invention du type I remonte à l'époque de La Tène.

Si nous tentons de classer nos trouvailles du pied du Jura selon ces critères, nous faisons la constatation suivante: 18 des 23 foyers dégagés disposent d'une soufflerie artificielle, tandis que deux sont conçus pour une ventilation naturelle. Ces deux familles ont cependant créé des bâtards, qui munis de tuyères se satisfont occasionnellement du seul effet du vent. De tels modèles ne sont pas inconnus ailleurs (Schweinfurth, 1875, I, 202).

#### – La forme intérieure du fourneau

Une fois reconnu le type de ventilation, le critère distinctif le plus important, c'est le vide intérieur du fourneau et son volume, qui déterminent au premier chef les qualités réductrices de l'appareil et ses possibilités de production. Comme les destructions empêchent le plus souvent d'évaluer ce volume, trois données peuvent compenser partiellement cette lacune: la hauteur totale de la cuve, son architecture, la surface du fond.

#### Ic) La hauteur

Très significative dans les forges primitives de types I et II, la hauteur de la cuve est en fait corollaire de la ventilation adoptée. Les fourneaux à tirage naturel n'obtiennent apparemment une température suffisante qu'en portant leur gueulard à plus de deux mètres de hauteur. Avec une soufflerie, une telle élévation n'est pas nécessaire; des dimensions plus modestes économisent matériaux et frais de construction, jusqu'au jour où, après l'an 1000 en Occident, des souffleries perfectionnées conduisent à nouveau à accroître la charge utile de chaque fonte. Si l'on écarte Prins-Bois I où les données sont insuffisantes (voir pp. 78-79), les fourneaux retrouvés se divisent en quatre groupes, ceux dont la taille, en pieds romains:

- dépasse 6 pieds (177cm),
- atteint 5-6 pieds (148-177cm),
- atteint 4-5 pieds (118-148cm),
- n'atteint pas 4 pieds (118cm).

Ils se répartissent de la façon suivante:

Site	Incert.	< 4'	4-5'	5-6'	> 6'	Tot.
Bell. I	1	1	9	1	2	21
Bell. II			1			1
Bell. III			4			4
Bossena I			1			1
Prins-B. II			1			1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>21</b>

' : pieds

Fig. 123. Hauteur des fourneaux (en pieds).

#### Id) La dimension du fond

La dimension du fond suggère une échelle de production. Il est évident que les modèles les plus petits ne récolteront qu'une quantité minimale de fer. Et des fonds de forme très diverse, oblongs ou quadrangulaires, mais d'une superficie analogue pourront contenir des loupes de poids équivalent. Nos fouilles nous amènent à distinguer les fourneaux dont le fond a une superficie:

- égale ou supérieure à 30 dm<sup>2</sup>,
- entre 20 et 30 dm<sup>2</sup>
- entre 10 et 20 dm<sup>2</sup>,
- inférieure à 10 dm<sup>2</sup>.

Site	Inconn. dm <sup>2</sup>	<10 dm <sup>2</sup>	10-20 dm <sup>2</sup>	20-30 dm <sup>2</sup>	≥30 dm <sup>2</sup>	Tot.
Bell. I		1		1	12	14
Bell. II			1			1
Bell. III	1		1		2	4
Bossena I				1		1
Prins-B. II					1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>21</b>

Fig. 124. Dimension du fond.

#### Ie) La forme intérieure de la cuve

A part le précieux tableau donné par Radomir Pleiner (1958, 279) pour la Tchécoslovaquie, il n'existe au moment des fouilles aucune étude systématique détaillée de la forme des foyers. Depuis le colloque d'Eisenstadt en 1975 (Pelet, 1976; 1977d) plusieurs systèmes de classification ont été proposés. Une délimitation de séries mouvantes est toujours arbitraire. Seuls les *noyaux* des ensembles décrits se caractérisent clairement. Le progrès technique suscite fréquemment des modèles intermédiaires, à l'intersection de deux ensembles (Pelet, 1982a).

Indépendamment de la ventilation adoptée, les cuves se répartissent en sept classes reconnaissables, dont les dimensions varient d'une époque, d'un pays, d'un modèle à l'autre.

1. Foyer **en forme de marmite**, creusé dans le sol, dont le diamètre varie entre 15 et 150 cm. Connue dès l'époque de Hallstatt, survivant à l'époque romaine, il subsiste jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle chez les Tatars «Kouzeski», c'est-à-dire Forgerons (Beck, 1891, I, 285).

2. Foyer **en entonnoir**, qui facilite la concentration du minerai en voie de réduction. Cette forme, qui dérive de la précédente, subsiste dans des modèles répandus dans tout l'Ancien Monde: foyers catalans, petits fourneaux de l'Angermanland en Suède (XVIII<sup>e</sup> siècle), «hauts fourneaux» produisant de la fonte, de Chine et des Philippines (Pleiner, 1965, 22; Courtivron et Bouchu, 1762, IV, 69, & pl. III).

3a. Foyer **tubulaire** relativement élevé (plus de 2 m) prévu à l'origine pour une ventilation naturelle. Il a été mis au jour de l'Angleterre (Ashwick, Tylecote, 1962, 220) à l'Autriche (Lölling, W. Schmid, 1932, 39).

Site	Inconnu	3	4a	5a	Tot.
Bell. I	1	2	10	1	14
Bell. II				1	1
Bell. III	2		2		4
Bossena I			1		1
Prins-B. II			1		1
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>21</b>

Fig. 125. Les types de cuves.

3b. Foyer **tubulaire incliné**, qui diminue les risques d'étouffement et facilite la formation de la loupe. Décrit pour la première fois par Quiquerez (1855), il se retrouve dans des modèles plus petits en Europe de l'Est.

4a. Foyer à **panse asymétrique** (voir plus bas).

4b. Foyer à **panse élargie**, assurant tirage et réfraction, fréquent en Europe centrale (Pleiner, 1965, 17, fig. 1).

5a. Foyer **conique**, réfléchissant la chaleur. Type relevé dès l'époque de La Tène dans le Siegerland, fréquent dans toute la *Germania Magna* des Anciens.

5b. Foyer **conique à chicanes** ralentissant la descente de la charge; Schweinfurth en signale lors de son exploration du Haut-Nil (Schweinfurth, 1875, I, 202).

6. Foyer en forme de **meule** ou de **coupole**, accentuant l'effet de réfraction. Connu dès l'époque romaine dans l'Yonne (Tryon-Montalembert, 1955, 191) et en Pologne, à Mechlin sur la Warta (Pleiner, 1965, 30, fig. 7), il subsiste avec des dimensions plus réduites à Merishausen (Schaffhouse, Suisse) au VII<sup>e</sup> siècle.

7. Foyer en **double cône** ou en **double pyramide**, assurant la meilleure distribution du combustible et du minerai et la meilleure concentration du métal. Cette forme qui s'esquisse dans les fourneaux de la montagne de la Sainte-Croix en Pologne (Radwan, 1966, 63-88), au III<sup>e</sup> siècle ap. J.-C., caractérise en général les modèles de grande dimension, à soufflerie hydraulique: «Stückofen» produisant des loupes de fer doux, et haut fourneau. Dans le Siegerland, une base trapézoïdale (XVIII<sup>e</sup> siècle) est censée améliorer encore le tirage (Johannsen, 1953, 226).

Dans nos fouilles, es superstructures des fourneaux sont trop dégradées pour que l'on puisse reconnaître d'emblée l'architecture de leur cuve. Mais il en subsiste des indices significatifs: parois verticales ou obliques, esquisses d'un renflement ou d'un rétrécissement par exemple.

Les fours X et XIII de Bellaires I, à ventilation naturelle et de haute taille se rattachaient probablement, comme les

fours I à III de Prins-Bois I (Pelet, 1960a), moins élevés, au type tubulaire (type 3a ou 3b).

Les fours VII, VIII, IX, XI, XII et ceux du niveau supérieur: I à IV, VI, de Bellaires I, XIX et XX de Bellaires III, de même que XXII (la Bossena) et XXIII (Prins-Bois II), correspondent à quatre sous-ensembles de 4a, à panse asymétrique.

Le four XIV qui s'intercale stratigraphiquement entre XII et I à IV est au contraire de type conique (type 5 a). L'évolution de la technique thermique semble donc rompue et XIV apparaît comme un intrus entre des modèles apparentés.

#### If) La forme du creuset

Une caractéristique moins importante, et souvent négligée dans les descriptions, apporte une indication précise sur les intentions du constructeur: c'est la forme donnée au fond du creuset, forme qui reste visible le plus souvent.

Fixée au départ par le maître de forges, elle révèle un choix prémédité. Dans la plupart des études sur la sidérurgie antérieure à la soufflerie hydraulique, les fourneaux sont dessinés avec un creuset circulaire. Nous constatons dans nos fouilles cinq formes différentes:

1. en fer à cheval,
2. quadrangulaires,
3. trapézoïdales,
4. tendant à l'ovale,
5. circulaires,

formes qui peuvent apparaître aussi bien dans les modèles sans soufflets que dans les autres. Nous en tirerons un classement significatif.

#### Ig) La porte

La présence ou l'absence d'une porte est elle aussi une donnée d'importance première, puisqu'elle dépend du rôle que le maître de forges entend faire jouer à son fourneau. Certes, les modèles creusés (cuve 1) ou ceux en entonnoir (cuve 2) peuvent s'en passer: on en extrait la loupe avec une pioche ou avec une pince, comme on le fait encore au XIX<sup>e</sup> siècle dans les forges catalanes.

Les modèles à gueulard étroit – ceux que nous rencontrons dans nos fouilles – impliquent ou l'établissement d'une porte ou la destruction d'une partie de la cuve pour sortir la loupe.

Lorsque le four est prévu pour une chauffe unique ou pour un très petit nombre d'opérations de fusion, la construc-

Site	Fer à cheval	Quadrangulaire	Trapézoïdal	«Ovale»	Circulaire	Incertain	Total
Bell. I	3	2	2	5	1	1	14
Bell. II						1	1
Bell. III	1			2		1	4
Bossena I			1				1
Prins-B. II				1			1
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>21</b>

Fig. 126. Fond du creuset.

Site	Porte	Dame	Sans porte	Inconnu	Total
Bell. I	8	2	1	3	14
Bell. II	1				1
Bell. III	3			1	4
Boss. I	1				1
Pr.-B. II	1				1
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>21</b>

Fig. 127. Absence ou présence de porte.

tion de montants de pierres et d'un chambranle en encorbellement ou en voûte est une dépense inutile. Elle ne s'impose que lorsque le four est destiné à un usage répété.

Placée à 1 ou 2 dm **au-dessus du fond**, la porte oblige à extraire la loupe avec un outil, pince ou pioche; un seuil élevé, une «dame» comme dans le haut fourneau, retient plus sûrement la masse en voie de réduction, peut favoriser la décarburation en prolongeant le contact avec les scories. Située **au niveau du fond**, cette porte permet l'évacuation des scories pendant la mise à feu, si la température atteinte est suffisamment élevée (plus de 1200°); la production de chaque chauffe en est fortement accrue. C'est la technique adoptée par les fours des niveaux supérieurs: Bellaires (I à IV, VI, XIX, XX), Bossena (XXII) et Prins-Bois II (XXIII).

Nous avons donc affaire à des fourneaux destinés en général à une utilisation prolongée – ce que prouve le volume de leurs scories. Un seul des fourneaux n'a eu, en toute certitude, aucune porte: le XIV de Bellaires I qui, une

fois de plus, apparaît comme un cas unique. L'étude des caractéristiques fondamentales (groupe Ia à Ig) aboutit déjà à des constatations intéressantes.

Les tableaux des pages précédentes mettent en relief l'importance de Bellaires I dans nos investigations.

Ce site fournit les séries les plus complètes; il permet d'autre part de les contrôler, grâce à une stratigraphie complexe, certes, mais déterminable. Pour commencer, nous ne prenons que le cas de Bellaires I.

### Classification des fourneaux de Bellaires I

Limitée à un seul site, la figure 128 laisse de côté certaines caractéristiques, comme la ventilation mixte. La simplification qui en résulte facilite une première vue d'ensemble. Dans ce tableau, deux cas extrêmes se détachent nettement: à gauche, les fours à ventilation naturelle caractérisés par leur absence de soufflerie, par leur hauteur et probablement par la forme de leur cuve. A droite, le four XIV, différent de tous les autres modèles à tirage artificiel dans chacune des caractéristiques relevées. Au centre, les onze fours de taille moyenne et à soufflerie qui se différencient progressivement et font entrevoir des influences ou des parentés inattendues. Ainsi, les fours VII et VIII ont un fond en fer à cheval comme X (et comme XXI de Bellaires III, à ventilation mixte). Au dernier échelon, les modèles pourvus d'une dame et par conséquent d'une embrasure de porte surélevée se situent au milieu de la série à porte normale. Ces fluctuations dont nous ignorons la logique aboutissent en fait

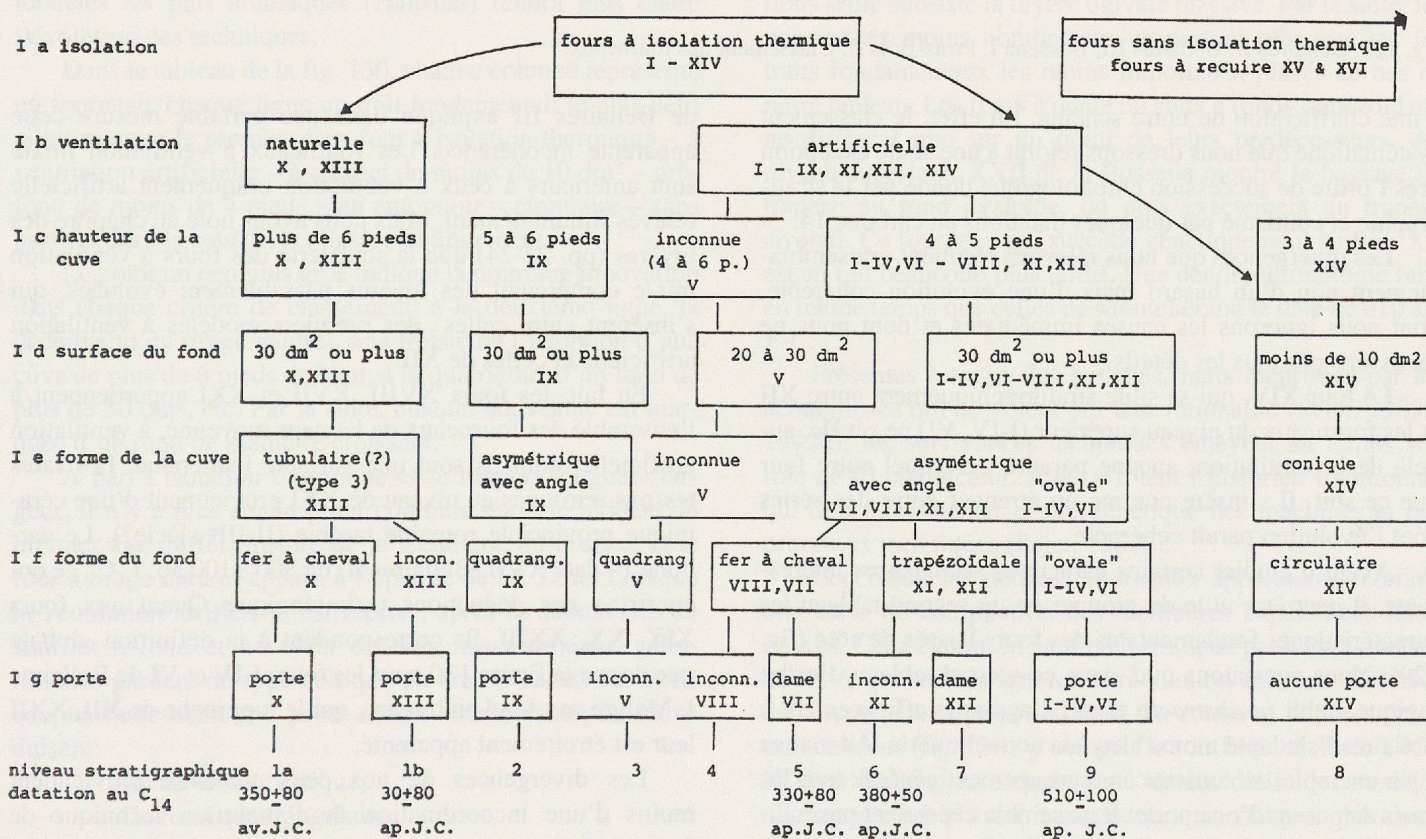


Fig. 128. Bellaires I. Classement des fourneaux.

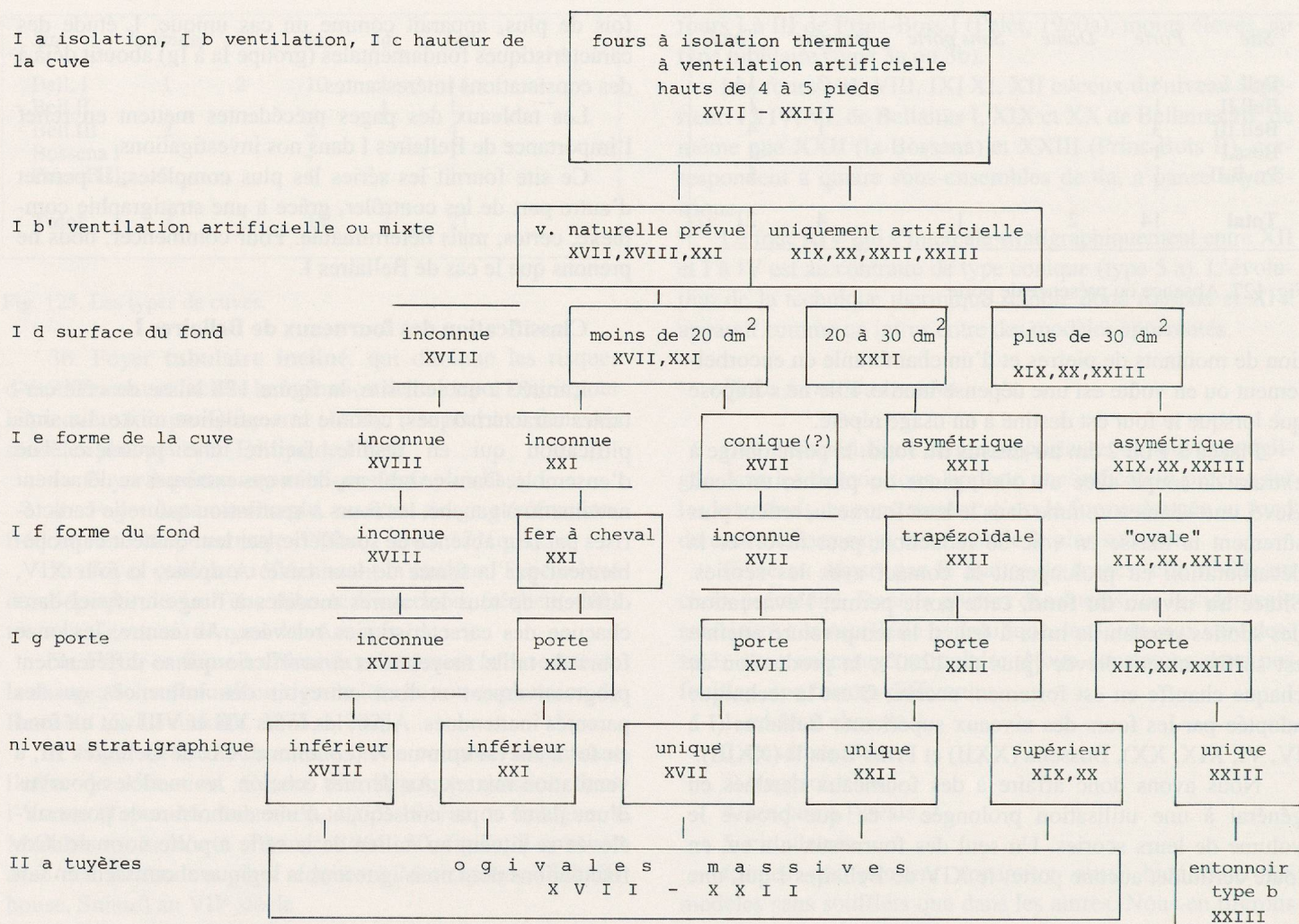


Fig. 129. Bellaires II, Bellaires III, Bossena I, Prins-Bois II. Classement des fourneaux.

à une clarification de notre schéma. En effet, le classement systématique que nous dressons rejoint à une seule exception près l'ordre de succession chronologique donné par la stratigraphie et confirmé par quelques datations au carbone 14.

Les divergences que nous relevons résultent vraisemblablement non d'un hasard mais d'une évolution cohérente, dont nous ignorons les causes immédiates et dont nous ne saisissons pas tous les détails.

Le four XIV, qui se situe stratigraphiquement entre XII et les fourneaux du niveau supérieur (I-IV, VI) ne révèle, au-delà de la ventilation, aucune parenté avec quel autre four que ce soit. Il s'insère comme un étranger entre des séries dont l'évolution paraît cohérente.

Avant d'étudier certains caractères secondaires intéressants, il peut être utile de grouper en un second tableau les caractéristiques fondamentales des fours laissés de côté (fig. 129). Nous constatons que, dans ce second tableau, l'ordre logique établi *in abstracto* et qui s'applique efficacement à Bellaires I s'adapte moins bien à la nouvelle série. Au niveau 7 par exemple, on constate un regroupement général: tous les fours disposent d'une porte. Il ne semble cependant pas judicieux d'intervenir l'ordre adopté. Renier la hiérarchie des critères choisis fausserait la vue d'ensemble. La stratigraphie

de Bellaires III explique dans une certaine mesure cette apparente incohérence. Les fourneaux à ventilation mixte sont antérieurs à ceux à ventilation uniquement artificielle relevés simultanément. Mais nous avons noté au chapitre des tuyères (pp. 22-24) que la soufflerie des fours à ventilation mixte comprenait des tuyères passablement évoluées, qui s'insèrent entre celles des premiers modèles à ventilation artificielle et celles de XII.

En fait, les fours XVIII, XVII et XXI appartiennent à l'ensemble des fourneaux de hauteur moyenne, à ventilation artificielle, dont ils sont une variante inattendue. Les rares tessons retrouvés au niveau de XXI proviennent d'une céramique provinciale romaine tardive (II-III<sup>e</sup> siècle?). Le carbone 14 date XVII (Bellaires II) de 300 ± 100 ap. J.-C., ce qui confirme nos déductions technologiques. Quant aux fours XIX, XX, XXIII, ils correspondent à la définition globale que donne la figure 130 pour les fours I-IV et VI de Bellaires I. Malgré son fond en trapèze, qui le rapproche de XII, XXII leur est étroitement apparenté.

Les divergences de nos deux tableaux proviennent moins d'une incoordination de l'évolution technique de forges voisines que de la pauvreté de notre échantillonnage. Nous pouvons cependant corriger cette faiblesse de notre



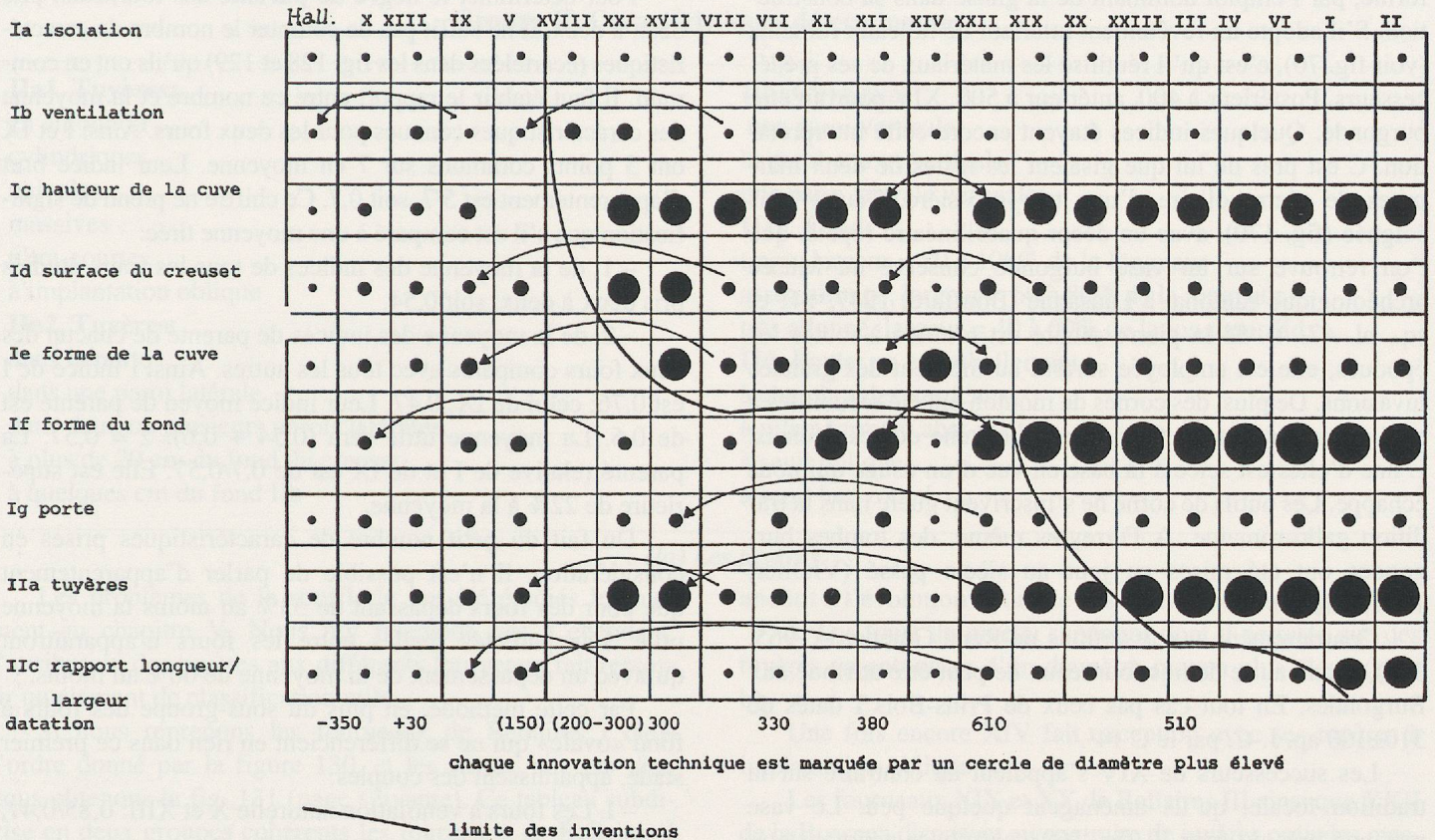


Fig. 130. Evolution technique des fourneaux.

construction génétique en y introduisant dans une seconde étape les données chronologiques. De plus, un rappel des modèles les plus archaïques (Hallstatt) rendra plus claire l'évolution des techniques.

Dans le tableau de la fig. 130, chaque colonne représente un fourneau, chaque ligne un trait fondamental; le plus petit point marque le premier état: four à isolation thermique – à ventilation artificielle – à creuset de moins de 10 dm<sup>2</sup> – profond de moins de 4 pieds – en entonnoir – circulaire – sans porte et dont la soufflerie s'insère obliquement.

Le point un peu plus gros indique la première innovation dans chaque critère de classement: à la deuxième ligne, la découverte du tirage naturel, à la troisième l'adoption d'une cuve de plus de 6 pieds de haut, à la quatrième, d'un fond de plus de 30 dm<sup>2</sup>, etc. Par la suite, chaque nouveauté est marquée d'un rond de diamètre croissant.

A part l'isolation thermique et le rapport longueur/largeur, il n'y a plus aucun point commun entre le modèle du premier âge du fer, inspiré de la technique du bronze, et le four à tirage naturel apparu à l'époque de La Tène. Lorsque la ventilation artificielle est reprise, après la découverte du soufflet à fond et à volant de bois, les fourneaux gallo-romains gardent du type celtique un creuset assez vaste; ils adoptent une hauteur à peine moins considérable; ils introduisent:

- la cuve asymétrique,
- le fond quadrangulaire,
- des tuyères cylindriques

qui s'insèrent quasi horizontalement.

Les fours à ventilation mixte qui leur succèdent atteignent la taille optimale qui restera; de leurs autres innovations seule subsiste la tuyère ogivale massive. Par la suite, les nouveautés moins nombreuses ne portent plus que sur les traits fondamentaux les moins importants, placés au bas de notre tableau. Les fours à dame ou ceux à fonds trapézoïdaux ne diffèrent que sur un point de leurs prédécesseurs. Au niveau supérieur, XXII de la Bossena montre le passage du trapèze au fond ovoïde, ou plus exactement au trapèze arrondi. Ce fourneau qui succède génétiquement au four XII est en fait beaucoup plus tardif. Une dendrochronologie faite en même temps que celles de Montcherand le date de 610 ap. J.-C.

Présentes à toutes les époques, mais méprisées par les économistes qui ne voient pas leur rationalité (Pelet, 1989a; 1992d), les survivances techniques enlèvent au temps son rôle de fil conducteur. Elles affolent l'historien traditionnel qui doit se contenter d'une génétique des machines et des processus techniques (Pelet, 1982b).

Cependant les derniers fourneaux apparaissent comme une sorte de compilation des meilleures expériences antérieures. Cette évolution paraît interrompue par l'implantation de XIV, qui semble ignorer la révolution celtique. Il dérive des fours creusés primitifs, dont il a conservé huit des neuf traits retenus (fig. 130), y compris la soufflerie inclinée à 45°. XIV en descend sans doute par l'intermédiaire des modèles mi-creusés, mi-bâtis et à superstructure conique, abondamment connus dans l'ancienne «Germania Magna» (Pleiner, 1965). Il se rapproche d'eux par ses dimensions, par sa

forme, par l'emploi dominant de la glaise dans sa construction. S'il adopte un revêtement intérieur de tuileaux romains (voir fig. 70), c'est qu'il réutilise les matériaux de ses prédécesseurs. Postérieur à 400, antérieur à 500, XIV pourrait être burgonde. Quelques indices étayent encore cette interprétation. C'est près de lui que gisaient les restes de deux marmites de pierre ollaire, l'une très grossière, l'autre plus soignée (fig. 170), avec un décor quadrilinéaire répété, que l'on retrouve sur un vase burgonde conservé au Musée archéologique cantonal à Lausanne (Bouffard, 1947, 141 et sq., pl. 47, 4). Si la pierre ollaire est tournée à toutes les époques, elle est employée surtout au moment des grandes invasions. De plus, des cornes de mouton ont été recueillies à côté et en dessous du four, dans la couche de ses déchets. L'une d'elles est sciée à la base en vue d'un usage qui nous échappe. Les outils de corne ne s'inscrivent guère dans la tradition gallo-romaine. A Ferreyres même, des tombes burgondes ont été mises au jour au siècle passé (Viollier, 1927, 171).

Contrairement aux assertions de René Guichard (1965, 370), aucun autre de nos fourneaux ne peut être attribué aux Burgondes. En tout cas pas ceux de Prins-Bois I datés de 310±100 ap. J.-C. par le C 14<sup>1</sup>.

Les successeurs de XIV s'appuient au contraire sur la tradition locale, qu'ils aménagent quelque peu. Le vase retrouvé près du four II (fig. 168), corrobore nos constatations: il reprend une forme carénée typiquement celtique.

Les innovations les plus importantes sont les plus anciennes. Les plus récentes, jusqu'à la révolution du haut fourneau, sont secondaires. L'affirmation généralement admise de la pérennité des techniques primitives (Gilles 1957) ne se vérifie que, dans les grandes lignes; il convient de la nuancer: les variations de forme relevées ne sont pas dues au simple hasard, à la maladresse ou à la fantaisie des maîtres de forges, mais à la recherche consciente d'un progrès technique, qui reste certes limité. Ce progrès demeure hésitant et l'on reprend fréquemment un système abandonné précédemment. Les dernières variations techniques de IIIa et IIIc ne semblent plus liées à la chronologie générale, mais marquent des essais presque simultanés (formes des fours I-IV, par exemple).

Les fourneaux à isolation thermique de nos fouilles se divisent donc en trois groupes:

- à ventilation naturelle (2 fours),
- à ventilation mixte (3 fours),
- à ventilation artificielle (16 fours).

Le troisième groupe se subdivise en plusieurs sous-groupes. L'un d'eux est indiscutable: celui des fours du niveau supérieur de Bellaires I et III et Prins-Bois II auquel se joint celui de Bossena I; les autres n'apparaissent pas aussi clairement.

Pour déterminer le **degré de parenté** des fourneaux pris deux à deux, il ne suffit pas de compter le nombre de caractéristiques (écartelées dans les fig. 128 et 129) qu'ils ont en commun. Il faut établir le rapport entre ce nombre et la moyenne des caractéristiques connues pour les deux fours. Ainsi I et IX ont 5 points communs sur 7 en moyenne. Leur indice brut d'apparement est 5/7, soit 0,7. Ce chiffre ne prend de signification que s'il est comparé à une moyenne tirée:

- 1, de la moyenne des indices de tous les fours étudiés pris deux à deux, soit 0,54,

- 2, de la moyenne des indices de parenté de chacun des deux fours comparés avec tous les autres. Ainsi l'indice de I est 0,76; celui de IX, 0,47. Leur indice moyen de parenté est de 0,6. La moyenne utile sera (0,54 + 0,6): 2 = 0,57. La parenté relative de I et de IX est de 0,7/0,57. Elle est supérieure de 22% à la moyenne.

Du fait du petit nombre de caractéristiques prises en considération, il n'est possible de parler d'apparement que pour des fours dépassant de 33% au moins la moyenne utile. Les parentés réelles entre les fours n'apparaîtront qu'avec un dépassement de la moyenne de 66% au moins.

Par cette méthode, en plus du sous-groupe des fours à fond «ovale» qui ne se différencient en rien dans ce premier stade, apparaissent des couples:

- I. Les fours à ventilation naturelle X et XIII: 0,85/0,47, soit 80% en dessus de la moyenne.

- II. Les fours à ventilation mixte XVII et XXI: 0,7/0,47, soit + 66%.

- III. Les fours à ventilation artificielle VII et VIII: 0,9/0,5, soit + 80%; XI et XII: 0,9/0,5, soit + 80%; VII et XII: 0,85/0,5, soit + 70 %; VIII, XI et XII ont une plus faible parenté: 0,7/0,5, soit + 40%; V et IX ne sont pas sans points communs: 0,66/0,49, soit + 34%.

L'analyse des caractéristiques fondamentales aboutit ainsi à des résultats marquants. Mais elle donne une définition sommaire des fours du niveau supérieur et elle n'explique ni les emprunts ni les filiations.

Les caractéristiques du deuxième groupe (cf. page suivante) apporteront des précisions complémentaires. Ces caractéristiques révèlent des variantes importantes dans la technique de la fusion du fer.

1. L'île de Bornholm, berceau des Burgondes permettait une métallurgie variée avec ses gisements de cuivre pyriteux, de galène et de fer (Nielsen, 1925). - La Loi Gombette montre que les artisans sont souvent des serfs. Qui tue un serf laboureur versera 30 sous, le meurtre d'un forgeron coûte 50 sous, celui d'un orfèvre 200 sous (*Monumenta Germaniae Historica*, Legum sectio I, T.II/I, 51).

**Groupe II. Caractéristiques déterminantes**

**IIa1. Tuyères:**

en entonnoir  
cylindriques  
ogivales  
massives  
ultra-courtes  
à implantation oblique

**IIa2. Tuyères:**

dans la porte  
dans une paroi latérale  
dans deux ou plusieurs parois latérales  
à plus de 20 cm du fond du creuset  
à quelques cm du fond IIb

**IIb. Cuve ayant:**

une paroi verticale  
la paroi amont verticale  
une paroi latérale verticale

**IIc. Fond:**

trapu, largeur = 80 à 100% de la longueur  
assez allongé, largeur = 60 à 80% de la longueur  
très allongé, largeur = 40 à 60% de la longueur II d.

**IId. Porte: en encorbellement**

à chambranles verticaux  
à pilier formant abat-vent  
à seuil oblique  
à seuil horizontal

*IIa) Les tuyères*

Les problèmes de la soufflerie ont été étudiés longuement au chapitre V. Nous n’y revenons pas. Cependant, l’attribution des tuyères aux différents fourneaux fait ressortir un élément de classification utile.

Si nous reprenons les fourneaux de Bellaires I dans l’ordre donné par la figure 130, et les autres, site par site, nous obtenons la fig. 131 (page suivante). Ce tableau subdivise en deux groupes cohérents les fourneaux de Bellaires I qui disposent d’une ventilation artificielle:

1. ceux du niveau intermédiaire munis simultanément de tuyères en entonnoir (type a) relativement étroites et de tuyères cylindriques. Le plus récent du groupe, XII (\*\*)

aboutit à l’évolution optimale des modèles cylindriques.

2. Les fours du niveau supérieur dont il ne reste que des tuyères en entonnoir d’un diamètre moyen plus élevé (type b).

Une fois encore XIV fait exception avec ses tuyères à implantation oblique.

Les fourneaux XIX et XX de Bellaires III ainsi que XXII de la Bossena disposent au contraire de tuyères ogivales massives qui les apparentent à des modèles très différents: XVII de Bellaires II et XXI (Bellaires III) et les distinguent de I-IV et VI de Bellaires I, et de XXIII de Prins-B. II.

Site:	Bellaires. I											Pr.B. II	Bell. II	Bell. III			Boss. I	
Four:	IX	V	VIII	VII	XI	XII	I	II	III	IV	VI	XIV	XXIII	XVII	XXI	XIX	XX	XXII
en entonn.	a		a		a	(a)	b	b	b	b	b	b	b?	a	b	b		
cylind.	*	*	*	*		**												
ogivales														*	*	*	*	*
ultra-c.														*		*	*	
obliques												*						

Fig. 131. Distribution des tuyères.

*IIb) Les cuves (cf. pp. 68-70)*

*IIc) Les fonds*

La forme plus ou moins allongée du fond apporte au contraire un complément intéressant pour les fours du niveau supérieur. XXII de la Bossena I, au creuset trapézoïdal moyennement allongé et dont la cuve prend une forme approximativement ovale dès 20 cm au-dessus du fond (proportion largeur-longueur 60/100) s’apparente à XIX et XX de Bellaires III et aux six autres fourneaux du même niveau, classés comme XIX et XX sous la rubrique: fond «ovale». L’allongement varie dans les proportions ci-dessous (fig. 132).

La diversité des proportions du creuset ne résulte pas de l’incompétence des maîtres ferriers, ou d’un laisser-aller, qu’ils ne sauraient se permettre: une chauffe manquée anéan-

tit des semaines de travail. Cette variété résulte au contraire de perfectionnements prudents, mais parfois divergents, qui tendent à améliorer le rendement ou à diversifier la production. Les cuves asymétriques favorisent la réfraction de la

Fourneau	N°	dimensions du creuset	largeur/ longueur
Bell. III	XX	50/70	1/1,4
	XIX	50/86	1/1,7
Bossena I	XXII	40/68	1/1,7
Bell. I	VI	50/95	1/1,9
	IV	55/105	1/1,9
Pr.-Bois II	XXIII	50/105	1/2,1
Bell. I	III	50/110	1/2,2
	I	45/126	1/2,8
	II	45/140	1/3,1

Fig. 132. Les fonds, largeur/longueur.

chaleur; leurs tuyères latérales, la ventilation. Versés dans le gueulard, le charbon et le minerai forment normalement un cône, avec une pente de 45°. Dans les fours allongés, la tuyère latérale reste dégagée (Pelet, 1992a). Mais le volume à chauffer augmente, et la consommation de charbon aussi. Pour être rentables, ces fourneaux doivent produire plus, ou mieux. Les plus allongés ne s'expliquent pas uniquement par le dégagement de la tuyère. Ils ne sont rationnels que s'ils s'emploient simultanément pour deux opérations. J. G. Blumhof signale en 1801 dans Evenstad, p. VI, les *Twäkäl-lingar*, doubles fourneaux norvégiens munis de deux tuyères, qui produisent deux loupes à la fois. Bien qu'ils soient accolés, les fours I et II ont été construits séparément. Chacun d'eux formait une unité de travail. La destruction de leurs parois latérales ne permet pas de déterminer la position de la tuyère. Mais on peut admettre le processus suivant: pendant qu'une nouvelle loupe se concentre dans la cuve, entre le gueulard et la porte, la loupe du jour précédent est placée dans l'allongement. Sous le vent d'une tuyère placée 20-25cm au-dessus du fond, elle se recuit, se purifie. Relevée d'à peine 10 cm, la tuyère, provoque un fort courant ascendant dans la partie supérieure de la cuve, mais laisse sous elle un espace peu ventilé, favorable à un processus de cémentation. C'est de cette façon que les métallurgistes slaves produisent au VIII<sup>e</sup> siècle leur acier<sup>2</sup>.

Les fours III et IV, aux creusets un peu moins oblongs et fortement inclinés vers les portes, ont été construits d'un seul tenant. Une lourde couche de scories tapisse la paroi amont du four III sur toute sa longueur; son jumeau n'est presque pas scorié. Le four III, souffre-t-il d'une ventilation déficiente, tandis que son collègue atteint la chaleur optimale qui dégrasse ses parois? Le contraste est si marqué qu'il semble plutôt provenir de deux phases différentes de la production: contrairement à I ou II, le four III emploie toute sa cuve à réduire le minerai, le four IV se borne à recuire ou à aciérer.

Le four XXIII de Prins-Bois II se différencie des précédents par son abat-vent et par l'absence de tuyères latérales. Sa porte s'ouvre sur la droite de l'ellipse. A gauche, une cavité de 40 cm s'abrite derrière l'abat-vent. Peu ventilée, elle convient à la cémentation d'une loupe pendant qu'il s'en forme une nouvelle sous le gueulard.

Les vestiges d'un autre fourneau encore suggèrent une activité diversifiée. Le four trapu de la Bossena (XXII) opère la réduction avec le vent d'une tuyère frontale et celui d'une tuyère latérale qui souffle à 32 cm en dessus du centre du creuset. Une troisième tuyère est prévue sur l'autre flanc. Elle ne sera pas employée. Placée 7 cm. plus haut, elle ferait remonter dans la cuve les points de plus forte chaleur. Dans les Flossofen de Smalkalde, au XVIII<sup>e</sup> siècle encore, relever

la tuyère de 5 cm change du tout au tout la production, qui passe de la fonte blanche (procédé indirect) au fer doux (procédé direct). Dans un bas fourneau, la moindre ventilation du fond favoriserait un processus de cémentation.

La nécessité de rationaliser ou d'accroître la production et de ménager le combustible conduit les maîtres ferriers à mener de front deux opérations: a) la réduction du minerai et b) l'affinage ou l'aciérage de la loupe.

Ils le font:

- dans un four au creuset très allongé,
- dans deux fourneaux jumelés utilisés simultanément.

Pour produire de l'acier, ils ménagent une cavité moins ventilée (production simultanée) ou rehaussent la soufflerie (production alternée) (Pelet, 1992a).

#### *Ild) Les portes*

La présence d'une porte aux parois obliques ou au contraire verticales implique ou des conceptions architecturales différentes ou un opportunisme lié aux matériaux à disposition. Les cas clairs sont trop rares pour qu'on puisse en tirer dès maintenant un élément de classification ou dénier toute valeur à ce critère. Les fours I et XIX seulement ont une porte à chambranles verticaux, tandis que leurs jumeaux l'ont en encorbellement.

De même, un seuil incliné facilite l'écoulement des scories ou l'extraction de la loupe. Deux fours ont cependant un seuil pratiquement horizontal: VI de Bellaires I et XXIII de Prins-Bois II. Cette exception est trop peu fréquente aussi pour qu'on puisse affirmer qu'elle n'est pas due à la configuration du terrain. Il est certain que le rocher sur lequel est bâti XXIII ne favorise pas l'établissement d'un plan incliné.

L'analyse de la seconde série de caractéristiques précises et clarifie notre classement; d'une part le clan II à fond «ovale» se subdivise en deux familles:

famille A: Bellaires I et Prins-Bois II;

famille B: Bellaires III (XIX-XX) et Bossena I.

De plus, tous les fours des niveaux intermédiaires de Bellaires I se regroupent en un clan I (fours à tuyères cylindriques et en entonnoir). Enfin, l'influence des fourneaux à ventilation mixte sur la famille B apparaît clairement.

Un bref calcul des parentés brutes entre les fours ainsi regroupés fait constater que XXIII de Prins-Bois II se distance des autres modèles de sa famille: il est un cousin éloigné de I-IV et VI! Le four de la Bossena avec une parenté brute de 0,6, s'éloigne du couple XIX-XX (0,8).

Le clan I (non compris V, trop médiocrement connu), qui groupe deux couples interassociés et deux autres fours, peut-être apparentés, donne un indice moyen de 0,6. Cette parenté qui s'espace sur près de quatre siècles reste assez floue.

La plupart des observations groupées sous le chiffre III ci-dessous ne fourniront plus, malgré leur importance, que des constatations ou banales, ou particulières à tel ou tel four.

2. Pleiner (1958,210-214; (1969,458-487). – Sur les structures de l'acier, voir Honeycombe (1981). Sur les phases de réduction du fer, Moesta (1986,165-171).

### Groupe III. Caractéristiques importantes

#### IIIa. Four:

encastré  
accoté à un talus  
en tour

#### IIIb. Tuyères:

en entonnoir munies d'alvéoles  
cylindriques étroites

#### IIIc. Linteau de la porte formé d'une seule dalle

III d. Murs: épais parfois de moins de 40 cm  
de 40 à 60 cm d'épaisseur

dont l'épaisseur est toujours supérieure à 60 cm

#### IIIe. Aspect extérieur du four:

trapu (largeur = 80 à 100% de la longueur)

assez allongé (largeur = 60 à 80% de la longueur)  
très allongé (largeur = 40 à 60% de la longueur)

#### III f. Forme extérieure:

en fer à cheval  
circulaire  
ovaloïde  
quadrangulaire  
polygonale

#### III g. Four:

seul  
en batterie  
superposé à un autre four ou sous un autre  
four jumelé

#### IIIa) Les fours

L'implantation des fourneaux, nous l'avons expliqué plus haut, dépend surtout de la configuration du site, et ses variantes n'ont qu'une importance très secondaire dans un échantillonnage aussi limité que le nôtre.

#### IIIb) Les tuyères

La tuyère cylindrique étroite signale un perfectionnement technique remarquable, mais limité à un seul four. La présence d'alvéoles dans certaines tuyères en entonnoir montre la persistance de modes de montage dans des modèles de type et d'époque très différents, tels que IX et XIV de Bellaires I, XVII de Bellaires II et XIX de Bellaires III.

#### IIIc) Les linteaux

Les rares précisions sur les linteaux montrent tout au

plus un trait commun supplémentaire entre les fours jumelés de Bellaires I (en particulier I et III) et Prins-Bois II (XXIII).

#### III d) Les murs

Une seule constatation certaine peut être tirée de l'épaisseur des murs: les fourneaux jumelés de Bellaires III, et ceux de la Bossena et de Prins-Bois II ont en commun des parois de plus de 60 cm d'épaisseur, ce qui les distingue de Bellaires I.

#### III e, f, g) Les formes et la disposition des fours

La forme extérieure du four, très importante au moment du dégagement et dans la description générale apparaît comme peu significative pour un classement: elle n'est pas en corrélation avec celle du creuset et semble dépendre avant tout de la quantité de matériau de construction disponible et de la configuration du terrain. La distribution des fours, jumelés ou non, en batteries, résulte des besoins quantitatifs

### Groupe IV. Caractéristiques secondaires et détails accessoires

#### IVa. Four appuyé à un rocher

#### IVb. Fond du four:

en gravier morainique  
rocheux  
dallé  
en glaise

#### IVc. Revêtement intérieur:

en glaise  
en scories glaisées  
en pierres roulées et en glaise  
en dalles de gneiss et glaise  
en tuileaux romains

#### IVd. Matériaux de base:

pierres morainiques  
dalles de granit et de gneiss  
dalles calcaires  
glaise

#### IVe. Paroi extérieure:

colmatée par de l'humus  
matériaux de réemploi

#### Va. Four cimenté d'une glaise:

jaune puis orange à la cuisson  
brun rouge puis gris rosé à la cuisson

#### Vb. Vestiges d'un gueulard

#### Vc. Intérieur de la cuve:

très scoriacé  
moyennement scoriacé  
peu scoriacé  
reglissé

#### Vd. Niveau stratigraphique:

inférieur  
intermédiaire  
supérieur  
unique

de la production. Les fourneaux jumelés peuvent profiter du rayonnement calorifique de leur voisin; mais cet avantage n'est pas recherché inconditionnellement, puisque certains fours du niveau supérieur, tels VI de Bellaires I restent isolés, et que d'autres, I et II par exemple, sont nettement construits comme s'ils étaient uniques.

Cette troisième série confirme avant tout la position ambiguë de XXIII dans la famille A. Elle montre enfin la transmission ou la persistance de certains tours de main.

Quant aux caractéristiques secondaires (IV), et accessoires (V), elles ne révèlent plus guère que des rencontres fortuites: utilisation de matériaux trouvés sur place ou réemployés, ou des influences superficielles (revêtements intérieurs en tuileaux romains). Il vaut cependant la peine de les mentionner et de les utiliser globalement.

La comparaison de ces caractéristiques secondaires et accessoires précise ou confirme le degré de consanguinité à l'intérieur des familles. Les membres de Bellaires I de la famille A disposent dans une proportion de 90% des mêmes traits secondaires et accessoires; Prins-Bois II, de 50%. Son éloignement se confirme. Il a, à ce niveau, les mêmes relations avec la Bossena et avec XIX et XX de Bellaires III.

Dans la famille B, du fait même du terrain où il est implanté, le four de la Bossena accentue ses divergences avec XIX et XX (40% de points communs seulement). Il n'a plus aucun point commun avec les fours I à IV et VI.

Les caractères secondaires et accessoires confirment quelque peu le rapprochement de VII et de XII; mais ils en suggèrent un entre XII et XIV (60%), dû au réemploi des matériaux de XII par les constructeurs de XIV!

L'analyse comparative aboutit ainsi à une classification qui peut se traduire par la figure 133 et qui montre à la fois la complexité et la rationalité des évolutions étudiées.

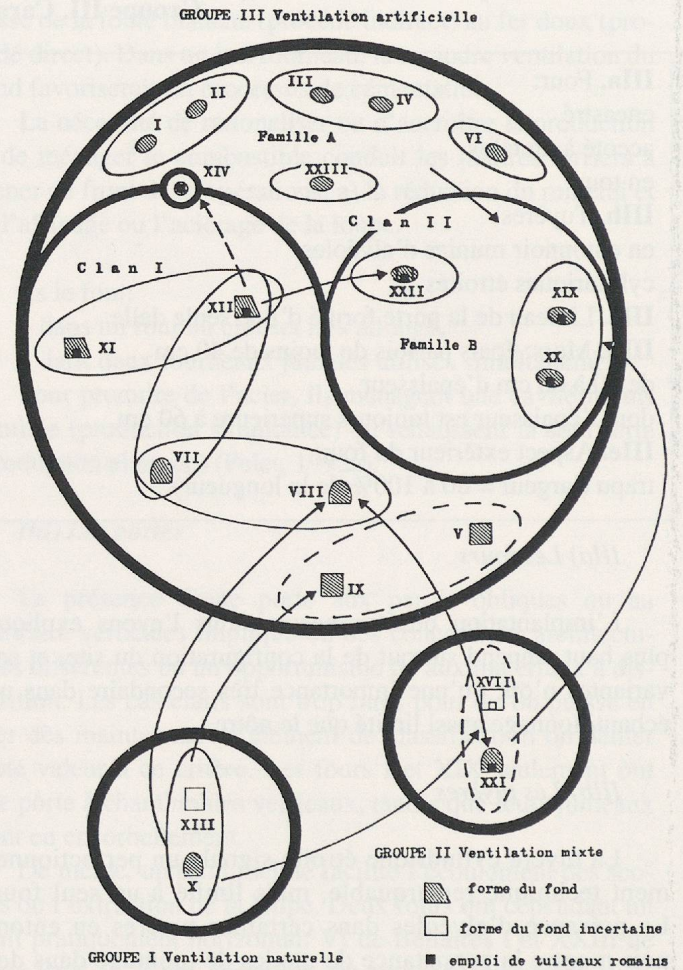


Fig. 133. Classement et filiation des fourneaux.

## L'apport de Prins-Bois I (Pelet, 1960a)

En 1959-60, les fouilles de Prins-Bois I prouvent l'existence d'une industrie sidérurgique gallo-romaine au pied du Jura vaudois. Les fouilles, partielles ont mis au jour les vestiges ou les traces de 24 fourneaux à fer. Le carbone 14 date le four XVIII (ni le premier ni le dernier construit) de 310±100 ap. J.-C. Les plus récents montent leurs parois avec les scories et les moellons trouvés sur place. Ils bouleversent les ateliers antérieurs et disloquent leurs couches. Construits en matériaux friables et perméables, ils ont eux-mêmes beaucoup souffert. L'emploi dominant de scories dans la construction des cuves n'a été retrouvé à ce jour qu'à la Comme Philippe, à Thoste (Côte d'Or) par le professeur Michel Mangin (1990; 1992, 52-55).

Si l'on tente d'appliquer à leurs vestiges le schéma analytique ci-dessus, on aboutit aux constatations suivantes:

### Ia) Isolation

Les fourneaux, disposent évidemment d'une isolation thermique; vingt d'entre eux sont encastrés dans le talus;

quatre seulement (PBI/ XVIII, VII, VIII, XI) sont bâtis au pied du talus, dans une situation dégagée, comme XXI de Bellaires III.

### Ib) Ventilation

Les fourneaux encastrés dans le talus ont disposé d'une ventilation artificielle, en particulier PBI/IV, V, X, XIII, XIX, XX, XXIII.

Aucune tuyère n'a été relevée auprès des fours construits sur le plat. Ce fait résulte peut-être d'une fouille limitée.

### Ic) Hauteur de la cuve

Seule la hauteur des fourneaux I à III est perceptible: leurs vestiges atteignent 140 cm de hauteur; ils auraient pu s'élever jusqu'à 160-165 cm, comme IX de Bellaires I. Ces trois fourneaux ont été passablement détériorés, et leur description n'est pas sûre.

*Id) La surface du fond*

La superficie du creuset semble en général supérieure à 30 dm<sup>2</sup>. Ne font exception que le four XXIII dont le fond dépasse 20 dm<sup>2</sup>, et les fours jumelés XVIII et VII d'une surface de moins de 20 dm<sup>2</sup>, comme XXI de Bellaires III, bâti dans une situation analogue.

*Ie) La forme de la cuve*

Notre reconstitution de 1960 attribue aux fourneaux une cuve tubulaire, à étranglement médian. Elle s'inspire principalement des fours PBI/I à III et V. Il est probable que la cheminée se rétrécissait au niveau du gueulard. Ce type de cuve rappelle les modèles les plus anciens de Bellaires I, ou plus exactement, les modèles celtiques en général.

*If) La forme du fond*

Vu l'état de destruction du site, les fonds eux-mêmes sont souvent détériorés; il est difficile de préciser s'ils sont circulaires ou s'ils forment un fer à cheval plus ou moins ouvert. Un seul fond est ovale, avec une largeur égale à 62% de la longueur (PBI/XXI); aucun n'est quadrangulaire.

*Ig) La porte*

Aucune porte n'a été clairement retrouvée, aucune dame n'est visible.

*IIa) Les tuyères*

Les échantillons recueillis se rattachent aux modèles en entonnoir (type a) de Bellaires I. Aux fours V et XIII, elles sont placées symétriquement, à flanc de coteau, à quelques centimètres du fond. Au four XIX, un conduit de glaise recouvert de dalles de gneiss aboutissait à un bec conique. Cette tuyère, située en amont du creuset était posée directement sur le rocher servant de fond. Au-dessus du conduit, la paroi du four avait complètement disparu.

Prins-Bois I se distingue visiblement des autres sites par l'emploi systématique des scories dans la construction des fours PBI/I à VI et XXIV. Ce matériau n'a été utilisé en moindre quantité que par VII de Bellaires I. Mais nous avons noté que le choix du matériel de construction dépend de circonstances fortuites, géographiques ou géologiques par exemple. La prédominance des formes circulaires ou semi-circulaires frappe aussi. PBI/XIX présente enfin une soufflerie dont l'architecture est unique. Les fours PBI/I à III se situeraient technologiquement dans la figure 130 plutôt entre les fours XIII et IX de Bellaires I, qu'à proximité de VII de Bellaires I. Il s'agit pourtant d'une des dernières exploitations de Prins-Bois I.

PBI/XVIII et VII qui appartiennent à un niveau antérieur, sont datés de 310 après J.-C. ± 100 ans ce qui correspond à la chronologie des fours de petit calibre tels XXI de Bellaires III ou XVII de Bellaires II.

Ces données sont trop ténues pour qu'on puisse en tirer des déductions précises. On peut en inférer cependant que la fouille exhaustive d'un site du même genre mais mieux conservé amènerait à nuancer encore notre analyse.