

LES FOURS DANS LES ARTISANATS DU FEU AUTRES QUE CÉRAMIQUES DU V^e AU XII^e SIÈCLE DANS L'ESPACE EUROPÉEN



Paul BENOIT*, Nicolas THOMAS**

SI LES FOURS NE S'AVÈRENT PAS indispensables pour produire de la céramique – on connaît encore de nos jours de la cuisson en tas ou en fosse –, l'essentiel de la poterie de terre entre le V^e et le XII^e siècle provient très certainement de fours. Mais les fours ont servi à de nombreux autres usages, produit des matériaux et des objets très variés et donc fonctionné selon des modes très différents. Selon le *Trésor de la langue française*, un four est « un ouvrage (en maçonnerie) ou appareil doté d'un minimum d'ouvertures et conçu pour le traitement ou la transformation, sous une très forte chaleur, des produits et des objets qui y sont introduits »¹. En fait, le terme recouvre des appareils très divers, d'autant plus divers que son acception varie selon les métiers et ce déjà durant les périodes anciennes. Le moine Théophile emploie *furnus clibanus* et *fornax*, parfois indifféremment². De nos jours, nous employons *four* et *fourneau* pour caractériser des appareils que nous aurions tendance à appeler génériquement fours.

Le choix effectué ici sera donc assez large, nous prendrons en compte des appareils plus ou moins fermés destinés à transformer la matière sous l'action de la chaleur, à l'exclusion des foyers largement ouverts comme les foyers de forge. Nous serons conduits à exclure ainsi bon nombre de structures parfois qualifiées de fours comme les stalles de grillage des minerais, appareils qui ont dû être utilisés dès le haut Moyen Âge.

Au-delà de cette diversité, ces structures de combustion partagent des traits communs et des problématiques parfois très proches, liés aux matériaux pour leur construction, à la ventilation ou encore au combustible. Aussi, une présen-

tation des fours autres que céramiques a semblé nécessaire au début du colloque de Douai. Compte tenu de l'ampleur du sujet, il serait illusoire de prétendre ici à l'exhaustivité, ni même d'épuiser toutes les questions autour des fours de cette période; tout au plus proposons-nous de dégager quelques grandes lignes quant à leur utilisation. La restitution des fours pour la céramique, comme la compréhension de leur mode de fonctionnement, peut s'enrichir de la connaissance des autres structures de combustion.

Les sources

Les textes concernant les aspects techniques des fours demeurent exceptionnels. Si des documents écrits, de plus en plus nombreux à mesure qu'on s'approche de la fin de la période étudiée, signalent leur existence, ils ne contiennent en général aucune précision sur leur structure et leur fonctionnement. Il est souvent impossible de savoir si le four cité dans une charte servait à produire du fer, de la chaux ou tout autre produit.

Un seul ouvrage fournit des renseignements techniques, le *De diversis artibus* du moine Théophile, ouvrage non daté mais qu'il faut attribuer à un Allemand écrivant durant la première moitié du XII^e siècle³. Mais le texte de Théophile ne s'intéresse qu'aux fours de verriers et de transformation des métaux non ferreux et son interprétation pose bien des problèmes, particulièrement en ce qui concerne le verre⁴. À cette pauvreté des textes s'ajoute, plus grave encore, celle de l'iconographie: une seule illustration connue permet

* LAMOP (UMR 8589).

** INRAP / LAMOP (UMR 8589).

1. *Trésor de la langue française* [en ligne], entrée « Four ».

2. DODWELL 1961, 37-40, 66, 75, 121 et 122.

3. KURMANN-SCHWARZ 2008.

4. DODWELL 1961.

d'alimenter notre connaissance des fours. Il s'agit d'une miniature ornant un manuscrit du *De Universo* de Raban Maur, texte rédigé entre 842 et 847; l'image provient d'un manuscrit daté de 1023⁵. Comme dans le cas du *De diversis artibus*, il s'agit du verre, mais la valeur de la représentation pour caractériser un four du haut Moyen Âge est discutée; pour certains, elle pourrait dériver d'un modèle iconographique byzantin. Une telle médiocrité des sources historiques s'explique: en règle générale, les clercs qui écrivaient ou commandaient des œuvres d'art ne s'intéressaient qu'exceptionnellement aux productions matérielles.

En revanche, les fours les plus communs, ceux qui n'intéressaient guère les clercs, ont laissé la documentation matérielle la plus abondante. Très souvent, la partie en élévation a disparu, ne reste en place qu'un fond de four plus ou moins fortement rubéfié; seuls les vestiges de l'opération, chaux ou plâtre, scories pour la métallurgie, permettent de distinguer entre ces vestiges. Depuis des décennies déjà, l'archéologie a fourni des données essentielles sur les fours de réduction du fer au haut Moyen Âge, en particulier en Europe de l'Est et en Suisse. Le développement de l'archéologie préventive a multiplié les découvertes non seulement de fours métallurgiques, mais surtout de fours domestiques et de fours à chaux, à un moindre degré de fours à plâtre. En revanche, les rares découvertes de vestiges de fours de traitement des métaux non ferreux proviennent d'opérations programmées ou préventives. Quant aux fours de verriers, si l'archéologie fournit quelques sites, ils demeurent très peu nombreux. Plus rare à l'ouest de l'Europe, mais bien documentée à l'est, la distillation du bois a laissé des vestiges qui s'apparentent à de véritables fours⁶.

Tout en se gardant des anachronismes, à ces sources s'ajoutent les données d'une documentation plus récente. Les traités techniques du bas Moyen Âge, mais aussi de l'époque moderne, d'Agricola à l'*Encyclopédie*, peuvent être d'un grand secours pour comprendre les sources écrites ou archéologiques laissées par le haut Moyen Âge.

Enfin, s'appuyant sur des analyses physico-chimiques, l'expérimentation de plus en plus répandue dans le domaine de la métallurgie comme dans celui de la céramique, plus récente dans d'autres, éclaire les données issues des fouilles et des textes⁷. L'ethnologie peut aussi contribuer à l'interprétation des structures archéologiques⁸.

Diversité des fours et des utilisations

Les fours culinaires, creusés ou bâtis, fonctionnent à des températures qui semblent basses à côté de celles de la plupart des autres fours, soit 200 à 300 °C pour la cuisson du pain. Le principe du four à pain, qui a fonctionné depuis la haute Antiquité jusqu'au xx^e siècle, est simple. L'utilisateur allume un feu à l'entrée de son fournil, qui en général ne possède pas de cheminée ni d'évent pour le tirage. Quand la température convenable est atteinte, il écarte les braises, les aliments cuisent grâce à la chaleur accumulée dans les matériaux du four, rayonnée par la voûte et par conductivité de la sole. Si les fouilles ont fourni de nombreux exemples de fours creusés dans du limon, les fours construits à la surface du sol n'ont laissé que de rares traces⁹. Malgré l'idée commune qui fait des arts du feu des « dévoreurs » de forêts, il faut rappeler une évidence: les fours alimentaires fonctionnant tous les jours ont été les plus importants consommateurs d'énergie thermique et le sont restés pendant des siècles. Proches dans leur conception comme dans leur réalisation, des fours à sécher le grain, bien connus dans le monde romain, ont été mis au jour en Angleterre¹⁰.

Longtemps délaissés par les médiévistes, d'autres fours ont fourni des matériaux pour la construction, comme les mortiers entrant dans les maçonneries, ou le plâtre utilisé pour les décors ou la confection de sarcophages. Encore faut-il distinguer entre les fours à chaux dont les vestiges abondent et les fours à plâtre beaucoup moins nombreux. Dans les deux cas, l'appareil sert à cuire une roche, le calcaire pour la chaux, le gypse pour le plâtre. La chaux, indispensable à la fabrication des mortiers et de nombreux enduits, s'obtient en calcinant du calcaire à une température d'environ 900 °C, opération que les hommes pratiquent depuis de nombreux siècles au moment où commence le Moyen Âge. Malgré une abondance qu'on peut déduire de l'emploi des mortiers et des revêtements intérieurs, la structure et le volume des fours du haut Moyen Âge restent mal connus. Seule certitude, il s'agissait d'appareils à flamme longue fonctionnant au bois avec une charge principalement au-dessus du sol¹¹. Les exemples alsaciens se distinguent nettement des fours à chaux antiques qui, eux, sont enterrés¹². Les fours à plâtre ont laissé encore moins

5. FOY 1988, 144.

6. BIALEKOVÁ 1997; PLEINER 1970.

7. CREW 1991; LEROY *et al.* 2000; BENOIT *et al.* 2007; THOMAS 2009; LAFARGE 2009; BRULEY-CHABOT & WARMÉ 2009.

8. MARTINELLI 2000.

9. BRULEY-CHABOT 2007; COLARDELLE & VERDEL 1993, 174.

10. WILSON 1976, 90.

11. ADAM & VARÈNE 1985, 87-100; MANGIN, BRUAND & HEDLEY 1988; VALAIS 1995; CHÂTELET 2000; CHÂTELET 2005; VASCHALDE 2007.

12. SUMÉRA & VEYRAT 1997.

de traces. La médiocrité de la température nécessaire à la déshydratation partielle du gypse explique que certains fours aient été bâtis de manière très sommaire. De même, comme pour la chaux, la plus grande part du four était en élévation, le gypse servant à la fois de matière première et de matériau de construction de la structure de chauffe¹³.

Les types de fours métallurgiques sont nombreux en fonction des matières travaillées et de la chaîne opératoire. Après un temps de préparation du minerai (tri, concassage, grillage), les opérations comportent une phase de réduction des composés métalliques, sulfures, oxydes ou carbonates, exigeant toujours un four. Cette réduction, en phase solide pour le fer, en phase liquide pour les métaux non ferreux, s'effectue dans des fours verticaux, plus ou moins cylindriques ou tronconiques¹⁴. Le haut Moyen Âge a connu différents types de fours de réduction du minerai de fer, mais tous mêlaient le charbon de bois, à la fois combustible et agent réducteur, au minerai, l'un et l'autre enfournés alternativement¹⁵. Le transfert de chaleur se faisait à la fois par contact et par conduction grâce à la circulation des gaz chauds traversant le cylindre du bas vers le haut. Pour que la réduction se produise, il faut que la température dépasse 1 000 °C. L'archéologie expérimentale montre qu'une température aux alentours de 1 300 °C en sortie de tuyère donne des résultats satisfaisants, température nettement inférieure à celle de la fusion du fer, 1 550 °C. L'apport en oxygène provenait soit d'un tirage naturel exigeant une certaine hauteur du four, soit d'une soufflerie mécanique. Le produit obtenu, une loupe, mélange de métal et de scories, devait être martelé à la forge après plusieurs chauffés dans un foyer ouvert pour expurger la scorie. Les premiers siècles du Moyen Âge ont connu une très grande variété de fours de réduction du minerai de fer, qui se différençaient par leurs dimensions, leurs modes de ventilation et la gestion des scories qui, en certains cas, restaient piégées au fond d'un appareil qui ne pouvait servir qu'une seule fois ou bien couler à l'extérieur d'un four réutilisable.

Dans la grande majorité des cas, les minerais de métaux non ferreux, essentiellement le plomb, le cuivre et l'étain, étaient des sulfures; ils devaient alors subir un grillage en atmosphère oxydante, dans des bûchers ou foyers ouverts, appelés plus tard stalles, en plein air. Pour le haut Moyen Âge, les fours de réduction demeurent beaucoup plus mal

documentés que ceux traitant le minerai de fer, principalement en raison de la bien plus grande rareté des minerais non ferreux face à un minerai de fer omniprésent. Les rares vestiges de fours de réduction des minerais, tels ceux découverts dans le Harz ou à Melle en Poitou, essentiellement des fonds de fours, permettent, comme hypothèse la plus solide, de considérer qu'il s'agissait de structures comparables à celles des fours sidérurgiques du XI^e siècle¹⁶.

Les métaux non ferreux ont besoin d'autres fours. Il faut d'abord en séparer les composants obtenus lors de la fusion du minerai, essentiellement pour retirer l'argent du plomb ou du cuivre. Selon le moine Théophile, les fours d'affinage du cuivre procédaient par fusion oxydante d'un bain métallique en utilisant le vent d'un ou de plusieurs soufflets d'une manière sans doute très proche des fours de coupellation, eux-mêmes utilisés pour séparer l'argent du plomb argentifère¹⁷. Mais il ne reste aucune trace archéologique de ces fours pour le haut Moyen Âge, même si leur utilisation est incontestable du fait de la présence des sous-produits et des produits. Il fallait aussi des fours pour élaborer les alliages ou tout simplement pour les rendre liquides afin de les couler. À Namur, des données archéologiques exceptionnelles révèlent des structures circulaires et piriformes de dimensions modestes qui rappellent le texte de Théophile¹⁸. En effet, le moine a laissé une description très précise d'un four dans lequel le cuivre et la calamine, c'est-à-dire un minerai de zinc, se transforment en laiton¹⁹. L'appareil se présente comme un tronc de cône avec une sole perchée et perforée de nombreuses ouvertures. Les creusets sont placés sur la sole au milieu du foyer. La ventilation est naturellement provoquée par la convection et le vent pénètre dans le foyer par le cendrier, l'espace sous la sole. Le même auteur décrit également un four pour la fusion de grandes quantités de métal, comme la fonte d'une cloche²⁰. Il s'agit d'une structure ventilée mécaniquement dont l'architecture ne devait pas être très éloignée des fours à fusion oxydante.

Tout comme la métallurgie des métaux non ferreux, la verrerie exige l'emploi de plusieurs fours, mais qui dans ce cas se concentrent au sein du même atelier. Il faut chauffer dans des creusets un mélange de silice et de fondant pendant plusieurs heures à une température d'environ 800 °C, pour obtenir un produit de première fusion, la *fritte*, avant de

13. LAFARGE 2009.

14. FLUZIN 1983.

15. PELET 1993; PLEINER 2000; CABBOI *et al.* 2007; SERNEELS 1993; LEROY 1997; ESCHENLOHR & SERNEELS 1991; DAVEAU & GOUSTARD 2000; ORZCHOWSKI 2002.

16. KLAPPAUF *et al.* 2008; TÉREYGEOL & HAPP 2000.

17. DODWELL 1961, 121.

18. PLUMIER *et al.* 2005.

19. DODWELL 1961, 122.

20. *Ibid.*, 153-156.

monter pendant un temps beaucoup plus bref aux alentours de 1400 °C, puis redescendre à 1100 °C afin d'obtenir une pâte susceptible d'être soufflée. Le four de refroidissement, ou arche, souvent accolé au four principal pour bénéficier de sa chaleur, a pour fonction d'assurer un refroidissement lent de l'objet pour éviter sa destruction sous l'effet du choc thermique. L'illustration du *De Universo* de Raban Maur dans un manuscrit de 1023 évoque le travail au four de fusion. L'appareil possède quatre ouvertures d'où sortent des flammes. Trois sont au niveau du verrier, les ouvreaux, par lesquelles l'ouvrier cueille le verre en fusion dans les creusets. Une arche surmonte l'appareil. L'image, sans doute héritée de l'Antiquité, cherche surtout à montrer le travail du souffleur. Sans être en contradiction avec l'archéologie et les textes, cette représentation peut difficilement servir de modèle à la reconstitution d'un four du haut Moyen Âge.

Si les fouilles ont mis en évidence l'existence d'ateliers de production du verre par des rejets, creusets et chutes de verre fondu, dans plusieurs pays d'Europe, les vestiges de fours demeurent rares, mal conservés et donc d'interprétation hypothétique²¹. Les fours de fusion retrouvés sont circulaires ou ovales et souvent de taille importante : la fouille menée à Torcello (Venise) a permis d'identifier un grand four de 3,50 mètres de diamètre²². L'atelier comprend également un four rectangulaire de 6 mètres de long, sans doute pour le recuit ou le refroidissement, et les deux structures qui auraient pu servir à la préparation de la *fritte*. Le nombre de fours trouvés dans les fouilles est en accord avec Théophile qui décrit un atelier possédant plusieurs appareils, un pour la fusion (*iste furnus dicitur clibanus operis*), un four dit *dilatandi et aequandi*, utilisé en cours de travail, un four de recuit (*clibanus refrigerii*), mais également un four à cuire les vitraux peints, fours qui ont fait l'objet de diverses reconstitutions²³. Plus modestes ailleurs, les fours atteignent tout de même des dimensions respectables : 2,50 mètres à l'abbaye de Barking près de Londres, 2 mètres sur 1,20 mètre à celle de Glastonbury (Somerset)²⁴. Pour ces fours anglais, comme pour ceux trouvés à Huy (Belgique) et beaucoup d'autres encore, la question d'une production primaire est toujours en suspens et l'interprétation se limite prudemment à la pratique de la fusion secondaire²⁵. Dans la villa d'Aiano-Torraccia di Chiusi (Toscane), des artisans ont implanté un four au VI^e siècle dans lequel ils ont refondu en particulier des tesselles antiques²⁶.

Caractères généraux des fours du haut Moyen Âge

À travers des usages variés, des températures de fonctionnement très différentes s'échelonnant de 200 à 1400 °C, tous ces fours présentent à la fois des traits communs et différents. La température, mais aussi la durée de fonctionnement, ou temps de cuisson, dépendent de nombreux facteurs dont la ventilation, les paramètres architecturaux, mais aussi le combustible.

Hormis les structures creusées dans le limon, certains fours culinaires ou sidérurgiques, les matériaux de construction sont similaires et doivent plus aux conditions locales qu'à la destination de l'appareil. Le plus souvent, les fours sont constitués de pierre et de terre, parfois de matériaux de récupération, tapissés intérieurement d'une couche d'argile réfractaire ou rendue telle. Ces matériaux proviennent des abords du site²⁷. L'image du manuscrit de Raban Maur, évoquant l'usage de pierres parfaitement équarries ou plus vraisemblablement de briques, ne correspond pas à ce que les fouilles mettent en évidence, ni au texte de Théophile (*compono furnum ex lapidibus et argilla*) ; jamais le moine ne cite la brique²⁸. Il convient cependant de rester très prudent à ce sujet : aux portes de l'Europe chrétienne, à Murcie, les artisans d'al-Andalus utilisaient des briques pour élever des fours de verriers²⁹.

Au-delà de leur diversité, la plupart des fours du haut Moyen Âge peuvent être rangés dans la catégorie des fours verticaux alors qu'en céramique apparaissent, à la fin de la période étudiée, les premiers fours à sole oblique, étape initiale conduisant aux fours couchés³⁰.

Tous ces fours utilisent des combustibles ligneux, bois ou charbon de bois. Il faut attendre le XIV^e siècle pour qu'apparaissent les premières certitudes de l'emploi de charbon de terre dans les fours à chaux, et même dans les ateliers de laiton de la vallée de la Meuse³¹. Les fours domestiques brûlaient le plus souvent du bois, mais aussi en cas de besoin tous les végétaux susceptibles de brûler. Le bois alimentait aussi les fours à chaux ou à plâtre. Le charbon de bois s'imposait en général dans les fours métallurgiques, encore que ce lieu commun ne soit valable que pour les fours de réduction ou les fours de fusion utilisant des creusets. Pour les fusions oxydantes, affinage du cuivre ou coupellation,

21. DUNGWORTH & PAYNTER 2011 ; FOY & NENNA 2001, 47-60 ; FOY 1988, 141-147.

22. LECIEJEWICZ, TABACZYNSKA & TABACZYNSKY 1977.

23. HAWTHORNE & SMITH 1979, 49-51 et 65-66 ; DODWELL 1961, 37-40 et 51-52.

24. BAYLEY 2000 ; MEEK 2011.

25. BERNARDY DE SIGOYER *et al.* 2005 ; FOY, PICON & VICHY 2000.

26. CAVALIERI, GIUMLIA-MAIR & HAMACHER 2011.

27. PELET 1993, 67 ; LEROY 1997, 120.

28. DODWELL 1961, 37-40, 66, 122 et 153-155.

29. JIMÉNEZ, MUÑOZ LOPEZ & THIRIOT 2000.

30. GUADAGNIN 2000, 125-130.

31. BENOIT & VERNA 1999 ; THOMAS & PLUMIER 2010.

comme pour le four de fusion utilisé pour les cloches, le bois semble s'imposer, même s'il est parfois associé à du charbon de bois. De la même manière, les fours de verriers fonctionnaient avec des bûches, même s'il est probable que des températures très élevées nécessaires pendant un temps bref pouvaient être obtenues grâce à un feu très vif de fagots. L'expérimentation montre aujourd'hui que le calibre du combustible est tout aussi important que les autres paramètres, comme l'architecture du four ou son mode de fonctionnement³².

La ventilation naturelle domine dans l'ensemble, que ce soit pour les fours domestiques, les fours à chaux et à plâtre, les fours de verriers et enfin pour la plupart des fours de fusion des métaux non ferreux utilisant des creusets. En revanche, les fours de réduction du minerai recevaient le plus souvent une ventilation pulsée par des soufflets en raison de l'importance de l'apport en oxygène nécessaire pour élever la température localement et activer le processus d'oxydoréduction. De même, dans les fours métallurgiques à fusion oxydante, les soufflets permettaient à la fois d'élever la température tout en apportant suffisamment d'oxygène à la surface du bain pour purifier le métal par oxydation. La température peut être très importante à la sortie de la tuyère, pour chuter rapidement quand on s'en éloigne. En réalité, quel que soit le type de fours, les températures sont rarement homogènes. La présence de points chauds et de points froids au même moment invite à une certaine prudence quant à l'utilisation des données de températures, d'autant que ces points ne sont pas fixes, surtout pour les fours à ventilation naturelle. Que la ventilation soit naturelle ou forcée, la durée de fonctionnement est un paramètre aussi important que la température.

La transmission de la chaleur au matériau à traiter fait apparaître également des différences essentielles. Dans les fours de réduction, le combustible est mêlé au minerai, le transfert d'énergie thermique s'effectuant par conduction et par convection. Ce contact entre matière à traiter et combustible se retrouve également dans les fours à chaux et à plâtre, comme l'indique la présence d'inclusions charbonneuses dans les mortiers et les enduits³³. Combustibles et matériaux s'entremêlent dans la fusion oxydante. En revanche, les fours de fusion demandent de séparer les métaux du combustible : l'opération se produit dans des creusets implantés dans le charbon incandescent, le transfert thermique se faisant par conduction, même si le rayonnement des parois n'est pas sans effet. Dans les

fours de verriers, le creuset est placé sur une sole et reçoit la chaleur par la flamme et par rayonnement des parois et de la voûte. Il y a séparation totale du combustible et du produit, comme dans les fours de potiers.

Peut-on saisir une évolution de ces fours ? La réponse est délicate en raison de la médiocrité de la documentation. L'étude ne peut être tentée que sur les appareils retrouvés en nombre suffisant. La recherche menée par Gaëlle Bruley-Chabot, sur les fours domestiques des régions couvertes de limon du centre du Bassin parisien, est exemplaire³⁴. S'appuyant sur les dimensions des structures retrouvées en fouilles, elle montre qu'au cours des siècles les soles des fours domestiques ont acquis une surface de plus en plus importante alors que le rapport entre la hauteur et la surface diminuait, permettant d'économiser l'énergie thermique. L'augmentation des dimensions de la sole est le signe du passage d'un usage individuel du four à un usage plus collectif qui conduit aussi à une économie d'énergie : le four, une fois porté à température, peut servir à plusieurs ménages.

L'évolution des fours de réduction du minerai de fer apparaît plus difficile à saisir, ne serait-ce qu'en raison de la coexistence d'appareils de types différents à la même époque³⁵. Cependant, les fours de grande dimension, probablement à tirage naturel, qu'ils soient ou non à scories piégées, disparaissent. Fait mis en évidence depuis un demi-siècle en Europe centrale et confirmé par des travaux récents en France, ils font place à des appareils plus modestes, ventilés grâce à des soufflets et réutilisables, plusieurs réductions pouvant avoir lieu sans que le four subisse un trop fort refroidissement. Faut-il voir dans ce retour à des formes simples un souci d'économie d'énergie, donc de bois, en une période de très forte croissance démographique et économique, ou plus simplement le besoin de fours faciles à construire et à maîtriser ? Les expériences effectuées à ce jour montrent la grande efficacité de ces fours capables de produire une loupe de fer en quelques heures seulement³⁶.

Peut-on saisir, à travers les vestiges d'appareils retrouvés ou les rares textes dont nous disposons, des transferts techniques ayant marqué l'évolution des fours ? L'idée que des savoirs aient pu circuler entre certains concepteurs ou utilisateurs de fours est séduisante. Cette hypothèse demande à être confirmée par d'autres faits que la seule proximité, souvent constatée, des verriers et des bronziers dans des regroupements d'ateliers autour de palais princiers, de grands établissements ecclésiastiques, voire, plus exceptionnel, d'habitats ruraux³⁷. Si cette thèse s'avérait

32. THOMAS 2009, 769-804.

33. LAFARGE 2009.

34. BRULEY-CHABOT 2007.

35. PLEINER 1969.

36. BENOIT *et al.* 2007.

37. PLUMIER *et al.* 2005; PÉTERS & FONTAINE-HODIAMONT 2005; HINCKER, SAINT-JORES & SAVARY 2005.

exacte, elle ne concernerait qu'une partie, de loin la moins nombreuse, des artisans et des fours utilisés au haut Moyen Âge. Les métallurgistes réducteurs de minerai de fer développaient leurs activités dans des zones rurales, en forêt ou à proximité de petits villages.

Conclusion

L'état de la recherche ne permet pas d'aboutir à autre chose qu'à des résultats rarement assurés, au-delà de considérations générales déjà évoquées, sur les combustibles, la ventilation ou les matériaux de construction. Pour aller plus loin, il faudrait non seulement multiplier les découvertes, et les résultats obtenus au cours des dernières années laissent bien augurer de l'avenir, mais aussi multiplier les études comparatives et les synthèses partielles, quelle que soit l'ampleur du champ pris en compte. Les études de Radomír Pleiner sur les fours de réduction du minerai de fer en Europe centrale ou celle de Gaëlle Bruley-Chabot sur les fours culinaires, déjà citée, montrent l'intérêt de telles approches. Il conviendrait aussi de multiplier l'expérimentation et les analyses de laboratoire pour comprendre le fonctionnement de ces fours, leurs capacités de production, leur consommation en énergie.

Cependant, un fait s'impose. Les fours sont omniprésents en Europe occidentale du VII^e au XII^e siècle. En laissant à part les fours domestiques, les productions éparpillées dans l'espace de fer et de chaux ont multiplié ces fours

industriels à proximité de nombreux villages dans une période de croissance démographique et agricole³⁸. Il en va de même pour les fours à plâtre dans les régions où le gypse est facilement accessible. Le nombre de ces appareils, faciles à construire et parfois d'une durée d'utilisation éphémère, n'a pu que s'accroître tout au long de la période sous l'effet d'une demande grandissante liée au dynamisme de la population et de l'économie. L'agriculture nécessitait de plus en plus d'outils en fer alors que la construction d'églises et de châteaux exigeait de la chaux. À la fin de la période étudiée, l'expansion de la circulation monétaire a entraîné une demande croissante en argent nécessitant des fours de plus en plus nombreux afin de traiter le plomb et le cuivre, d'où le métal précieux était extrait³⁹.

Si la croissance a conduit à multiplier les fours, peut-on établir des rapports entre ces besoins accrus et l'évolution des appareils ? Au-delà des modifications qui tiennent à la taille et à la forme des appareils, il faut en rester au fait qu'en ce qui concerne les fours autres que céramiques, aucune mutation ne s'est véritablement produite durant la période étudiée. Les fours de réduction du minerai de fer, que nous considérons comme typiques des XI^e et XII^e siècles et adaptés aux besoins de la société, existaient déjà à la Tène⁴⁰. Il faudra attendre les siècles suivants pour qu'apparaissent les premiers signes de transformation radicale des fours, de leurs dimensions et de leur manière de fonctionner, avec l'arrivée de l'usage des soufflets hydrauliques, au plus tard au XIII^e siècle⁴¹, l'emploi de la houille et une utilisation beaucoup plus importante des briques.

38. CHAPELOT & FOSSIER 1980.

39. CONTAMINE *et al.* 1993, 413-424.

40. PLEINER 2000; MANGIN, BRUAND & HEDLEY 1992.

41. MAGNUSSON 1985; KNAU, HORTSMANN & SÖNNECKEN 1998.

Bibliographie

ADAM J.-P. et VARÈNE P. (1985), « Fours à chaux artisanaux dans le bassin méditerranéen », in *Histoire des techniques et sources documentaires : méthodes d'approche et expérimentation en région méditerranéenne*, Actes du colloque du GIS – Maison de la Méditerranée (Aix-en-Provence, 21-23 octobre 1982), Aix-en-Provence, Institut de recherches méditerranéennes (Cahiers du GIS ; 7), p. 87-100.

BAYLEY J. (2000), « Saxon Glassworking at Glastonbury Abbey », in *Glass in Britain and Ireland, AD 350-1100*, J. PRICE (dir.), Londres, British Museum (Occasional Paper ; 127), p. 161-188.

BENOIT P. et VERNA C. (1999), « Le charbon de terre en Europe occidentale, nouvelles approches, nouvelles données », in *Le charbon de terre en Europe occidentale avant l'usage industriel du coke. Proceedings of the XXth International Congress of History of Science, Liège (20-26 July 1997)*, P. BENOIT et C. VERNA (dir.), Turnhout, Brepols (De diversis artibus ; 44), p. 217-222.

- BENOIT P. *et al.* (2007), « Cistercian Mining and Ironmaking at Fontenay, Côte-d'Or, France », in *Norberg-Nora, 700 Years of Iron Production. Papers Presented at an International Conference in Norberg and Nora, August 18-2, 2003*, I.-M. PETERS-SON JENSEN et U. ÖHMAN (dir.), Stockholm, Jernkontorets (Jernkontorets Berghistoriska Utskott; 78), p. 76-82.
- BERNARDY DE SIGOYER S. (de) *et al.* (2005), « Vestiges de fours de verriers d'époque mérovingienne à Huy aux Ruelles (Belgique) », *Bulletin de l'Association française pour l'archéologie du verre*, p. 29-33.
- BIALEKOVÁ D. (1997), « Funde von Teersiedereien aus gross- und nachgrossmährischer Zeit aus dem Gebiet der Norddonauslawen », in *Proceedings of the First International Symposium on Wood Tar and Pitch: Held by the Biskupin Museum (Department of the State Archaeological Museum in Warsaw) and the Museumsdorf Düppel (Berlin) at Biskupin Museum, Poland, July 1st-4th 1993*, W. BRZEZIŃSKI et W. PIOTROWSKI (dir.), Varsovie, Domu Wydawniczym Pawła Dąbrowskiego, p. 63-72.
- BRULEY-CHABOT G. (2007), « L'évolution des fours à pains entre le IV^e et le XII^e siècle », in *Villes et campagnes en Neustrie: sociétés, économies, territoires, christianisation*, Actes des XXV^e Journées internationales d'archéologie mérovingienne de l'Association française d'archéologie mérovingienne (Tournai, 17-20 juin 2004), L. VERSLYPE (dir.), Montagnac, M. Mergoil (Europe médiévale; 8), p. 157-165.
- BRULEY-CHABOT G. et WARMÉ N. (2009), « Approche expérimentale pour la compréhension des fours culinaires du haut Moyen Âge: bilan critique et perspectives », *Revue archéologique de Picardie*, n° 1/2, p. 121-128.
- CABBOI S. *et al.* (2007), « Réflexions sur les formes d'organisation du travail du fer dans le nord de la France au haut Moyen Âge (l'apport des découvertes archéologiques récentes) », in *Medieval Europe Paris 2007. IV^e Congrès international d'archéologie médiévale et moderne* [en ligne], URL: <http://medieval-europe-paris-2007.univ-paris1.fr/S.%20Cabboi%20et%20al..pdf>.
- CAVALIERI M., GIUMLIA-MAIR A. et HAMACHER J. (2011), « Torracchia di Chiusi. Eine römische Villa im Wandel der Zeit », *Antike Welt*, n° 3, p. 39-45.
- CHAPELOT J. et FOSSIER R. (1980), *Le village et la maison au Moyen Âge*, Paris, Hachette (Bibliothèque d'archéologie).
- CHÂTELET M. (2000), « L'habitat du haut Moyen Âge de Roeschwoog "Schwartzacker" (Bas-Rhin): découverte d'un four à chaux et d'un nouveau site de référence pour la céramique », *Revue archéologique de l'Est*, t. XLIX, p. 249-293.
- (2005), « Un deuxième four à chaux mérovingien découvert en Alsace: le four de Sessenheim "Hecklen" (Bas-Rhin) », *Revue archéologique de l'Est*, t. LIV, p. 349-364.
- COLARDELLE M. et VERDEL É. (dir.) (1993), *Les habitats du lac de Paladru (Isère) dans leur environnement. La formation d'un terroir au XI^e siècle*, Paris, Éd. de la Maison des sciences de l'homme (Documents d'archéologie française; 40).
- CONTAMINE P. *et al.* (1993), *L'économie médiévale*, Paris, Armand Colin (Collection U. Histoire médiévale).
- CREW P. (1991), « The Experimental Production of Prehistoric Bar Iron », *Historical Metallurgy*, t. XXV, n° 1, p. 21-36.
- DAVEAU I. et GOUSTARD V. (2000), « L'extraction et la réduction du minerai de fer à Vert-Saint-Denis (Seine-et-Marne) durant le haut Moyen Âge: l'émergence d'une "industrie lourde" au sein d'un habitat à vocation agricole », in *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (21-23 octobre 1999), P. PÉTREQUIN *et al.* (dir.), Antibes, APDCA, p. 15-36.
- DODWELL C. R. (éd.) (1961), *Theophilus: the Various Arts. De diversis artibus*, Oxford, Clarendon Press.
- DUNGWORTH D. et PAYNTER S. (2011), *Archaeological Evidence for Glassworking: Guidelines for Best Practice*, Swindon, English Heritage.
- ESCHENLOHR L. et SERNEELS V. (1991), *Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, les Boulies (Jura, Suisse)*, Porrentruy, Société jurassienne d'émulation (Cahiers d'archéologie jurassienne; 3).
- FLUZIN P. (1983), « Notions élémentaires de sidérurgie », in *Métallurgies africaines: nouvelles contributions*, N. ÉCHARD (dir.), Paris, Société des africanistes (Mémoires de la Société des africanistes; 9), p. 13-44.
- FOY D. (1988), *Le verre médiéval et son artisanat en France méditerranéenne*, Paris, Éd. du CNRS.

- FOY D. et NENNA D. (2001), *Tout feu, tout sable: mille ans de verre antique dans le Midi de la France*, Marseille / Aix-en-Provence, Édisud / Musées de Marseille.
- FOY D., PICON M. et VICHY M. (2000), « Les matières premières du verre et la question des produits semi-finis: Antiquité et Moyen Âge », in *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (21-23 octobre 1999), P. PÉTREQUIN *et al.* (dir.), Antibes, APDCA, p. 419-432.
- GUADAGNIN R. (2000), *Fosses, vallée de l'Ysieux: mille ans de production céramique en Île-de-France*, vol. I: *Les données archéologiques et historiques*, Caen, Publications du CRAM.
- HAWTHORNE J. G. et SMITH C. S. (trad.) (1979), *Theophilus: on Divers Arts. The Foremost Medieval Treatise on Painting, Glassmaking, and Metalwork*, New York, Dover Publications.
- HINCKER V., SAINT-JORES J.-X. (de) et SAVARY X. (2005), « Artisanat et échanges en Basse-Normandie à la période mérovingienne: l'apport de la fouille de l'habitat de Giberville (Calvados) », in *Voies d'eau, commerce et artisanat en Gaule mérovingienne*, J. PLUMIER et M. REGNARD (dir.), Namur, Ministère de la Région wallonne (Études et documents. Archéologie; 10), p. 51-68.
- JIMÉNEZ P., MUÑOZ LOPEZ F. et THIRIOT J. (2000), « Les ateliers de verriers urbains de Murcia au XII^e siècle (c. Puxmarina et pl. Belluga) », in *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (21-23 octobre 1999), P. PÉTREQUIN *et al.* (dir.), Antibes, APDCA, p. 433-452.
- KLAPPAUF L. *et al.* (2008), « Das Montanwesen am Rammelsberg und im Westharz », in M. BRANDT, *Bild und Bestie: Hildesheimer Bronzen der Stauferzeit. Eine Ausstellung des Dom-Museums Hildesheim vom 31. Mai bis 5. Oktober 2008*, Ratisbonne, Schnell & Steiner, p. 65-76.
- KNAU H. L., HORTSMANN D. et SÖNNECKEN M. (1998), « La production de fonte dans la haute vallée de la Volme: contribution à l'histoire de la sidérurgie en Westphalie occidentale », in *L'innovation technique au Moyen Âge*, Actes du VI^e Congrès international d'archéologie médiévale (Dijon, Mont Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard, 1-5 octobre 1996), P. BECK (dir.), Paris, Errance (Archéologie aujourd'hui), p. 152-159.
- KURMANN-SCHWARZ B. (2008), « [...] *quicquid discere, intelligere vel excogitare possis artium* [...] ». Le traité *De diversis artibus* de Théophile, état de la recherche et questions », in *Le vitrail et les traités du Moyen Âge à nos jours*, Actes du XXIII^e colloque international du Corpus Vitrearum (Tours, 3-7 juillet 2006), K. BOULANGER et M. HÉROLD (dir.), Berne / Berlin / Bruxelles, Lang, p. 29-44.
- LAFARGE I. (2009), « Expérimentations de cuisson du plâtre et réflexion sur les fours à plâtre du haut Moyen Âge », *Revue archéologique de Picardie*, n° 1/2, p. 101-114.
- LECIEJEWICZ L., TABACZYNSKA E. et TABACZYNSKY S. (1977), *Torcello. Scavi, 1961-1962*, Rome, Istituto nazionale di archeologia e storia dell'arte.
- LEROY M. (1997), *La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau: l'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe*, Paris, CNRS Éditions (Monographies du CRA; 18).
- LEROY M. *et al.* (2000), « La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique: l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer », in *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (21-23 octobre 1999), P. PÉTREQUIN *et al.* (dir.), Antibes, APDCA, p. 37-51.
- MAGNUSSON G. (1985), « Lapphytan, an Example of Medieval Iron Production », in *Medieval Iron in Society: Papers Presented at the Symposium in Norberg, May 6-10, 1985*, G. MAGNUSSON (dir.), Stockholm, Jernkontoret and Riksantikvarieämbetet (Jernkontorets Forskning; 34), p. 22-57.
- MANGIN M., BRUAND A. et HEDLEY I. (1988), « Un four à chaux du haut Moyen Âge à Goux-lès-Dole (Jura) », *Archéologie médiévale*, t. XVIII, p. 273-284.
- MANGIN M. *et al.* (1992), *Mines et métallurgie chez les Éduens: le district sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Besançon / Paris, Université de Besançon / Les Belles Lettres (Annales littéraires de l'université de Besançon; 456 / Série archéologie; 38).

- MARTINELLI B. (2000), « Le choix de la combustion lente. Mutation technique et mutation sociale au Yatenga, Burkina Faso », in *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (21-23 octobre 1999), P. PÉTREQUIN *et al.* (dir.), Antibes, APDCA, p. 123-142.
- MEEK A. S. (2011), *The Chemical and Isotopic Analysis of English Forest Glass*, thèse, université de Nottingham [en ligne], URL : http://etheses.nottingham.ac.uk/1965/1/MEEK_AS_PhD_Thesis_2011.pdf.
- ORZCHOWSKI S. (2002), *Hutnictwo świętokrzyskie oraz inne centra i ośrodki starożytnej metalurgii żelaza na ziemiach polskich*, Kielce, ŚSDP [en polonais, résumés et légendes en anglais].
- PELET P.-L. (1993), *Une industrie reconnue : fer, charbon, acier dans le pays de Vaud*, 2^e éd., Lausanne, Cahiers d'archéologie romande (Cahiers d'archéologie romande ; 60).
- PÉTERS C. et FONTAINE-HODIAMONT C. (2005), « Huy et le travail du verre à l'époque mérovingienne : étude préliminaire du matériel trouvé rue Sous-le-Château et place Saint-Séverin », in *Voies d'eau, commerce et artisanat en Gaule mérovingienne*, J. PLUMIER et M. REGNARD (dir.), Namur, Ministère de la Région wallonne (Études et documents. Archéologie ; 10), p. 233-268.
- PLEINER R. (1969), « Experimental Smelting of Steel in Early Medieval Furnaces », *Pamatky archaeologické*, t. LX, p. 458-487.
- (1970), « Stredoveka výroba smoly v Krasné Doline u Rakovníka », *Pamatky archaeologické*, t. LXI, n° 2, p. 472-518.
- (2000), *Iron in Archaeology: the European Bloomery Smelters*, Prague, Archeologický ústav AV ČR.
- PLUMIER J. *et al.* (2005), « Namuco fit : Namur du v^e au vii^e siècle », in *Voies d'eau, commerce et artisanat en Gaule mérovingienne*, J. PLUMIER et M. REGNARD (dir.), Namur, Ministère de la Région wallonne (Études et documents. Archéologie ; 10), p. 219-231.
- SERNEELS V. (1993), *Archéométrie des scories de fer : recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande (Cahiers d'archéologie romande ; 61).
- SUMÉRA F. et VEYRAT É. (1997), « Les fours à chaux gallo-romains de "Brétinoust", commune de Sivry-Courtry (Seine-et-Marne) », *Revue archéologique du centre de la France*, vol. XXXVI, p. 99-130.
- TÉREYGEOL F. et HAPP J. (2000), « La production d'argent à Melle. Du minerai au métal : approche expérimentale », in *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (21-23 octobre 1999), P. PÉTREQUIN *et al.* (dir.), Antibes, APDCA, p. 189-204.
- THOMAS N. (2009), *Les ateliers urbains de travail du cuivre et de ses alliages au bas Moyen Âge : archéologie et histoire d'un site parisien du xiv^e siècle dans la Villeneuve du Temple (1325-1350)*, thèse d'archéologie, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 4 vol., 1 259 p. (dactyl.).
- THOMAS N. et PLUMIER J. (2010), « Cuivre, laiton, dinanderie mosane : ateliers et productions métallurgiques à Dinant et Bouvignes au Moyen Âge (xiii^e-xvi^e siècles) », in *Archéologie sans frontières*, Paris, AFAN (Archéopages. Hors-série ; 2), p. 142-151.
- VALAIS A. (1995), « Bauné (49) – Pays de Loire – Moyen Âge », *L'archéologue – Archéologie nouvelle*, n° 13, p. 64.
- VASCHALDE C. (2007), « La fabrication de la chaux en France méditerranéenne au Moyen Âge : introduction à l'étude d'un artisanat », in *Cultures, économies, sociétés et environnement du début de la Préhistoire au Moyen Âge : travaux en cours*, Actes de la seconde table ronde des jeunes chercheurs en archéologie de la MMSH (Aix-en-Provence, 11 mai 2007), A. COUDENNEAU et T. LACHENAL (dir.) [en ligne], URL : <http://www.mmsh.univ-aix.fr/ecoledoctorale/trjca/avaschalde.htm>.
- WILSON D. M. (éd.) (1976), *The Archaeology of Anglo-Saxon England*, Londres, Methuen.