

La métallurgie du fer sur le Massif armoricain aux époques médiévale et moderne : entre ruptures, innovations et traditions métallurgiques

Cécile Le Carlier de Veslud

► To cite this version:

Cécile Le Carlier de Veslud. La métallurgie du fer sur le Massif armoricain aux époques médiévale et moderne : entre ruptures, innovations et traditions métallurgiques. *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, Presses Universitaires de Rennes, 2019, 216 (4), pp.25-72. 10.4000/abpo.4758 . hal-02461089v1

HAL Id: hal-02461089

<https://hal-univ-rennes1.archives-ouvertes.fr/hal-02461089v1>

Submitted on 20 Feb 2020 (v1), last revised 10 Dec 2020 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La métallurgie du fer sur le Massif armoricain aux époques médiévale et moderne : entre ruptures, innovations et traditions métallurgiques

Cécile LE CARLIER DE VESLUD, Ingénieure de recherches CNRS,
Archéosciences, UMR CReAAH, Université de Rennes1

Malgré l'oubli de ce phénomène dans la mémoire collective, le Massif armoricain constitue une zone géographique très riche en minerais divers dont une très forte proportion de minerais de fer. Cette richesse naturelle a attiré très tôt l'attention des hommes, les premières traces de métallurgie datant de la période campaniforme (troisième millénaire avant notre ère). La métallurgie du fer fait son apparition dans la région dès les premiers temps de l'âge du Fer. Elle a perduré jusqu'en 1966, date à laquelle les installations d'Inzinzac-Lochrist (Morbihan) ont fermé leurs portes.

Cette production sidérurgique ancienne est encore assez peu connue pour l'ensemble du territoire du nord-ouest de la France, malgré des travaux de prospection et de fouilles qui se sont succédé depuis plus de vingt ans maintenant. Pour le Massif armoricain, c'est essentiellement la haute Bretagne qui bénéficie des études les plus avancées, avec les travaux de J.-B. Vivet, G. Larcher, J.-C. Oillic et N. Girault pour l'âge du Fer, l'Antiquité et la période médiévale, travaux centrés sur la forêt de Paimpont et le nord du département de l'Ille-et-Vilaine¹. Plus à l'ouest, des prospections faites dans le Finistère et dans le Morbihan mettent en lumière une production sidérurgique importante à l'âge du Fer². À l'est, sur la bordure du Massif armoricain et dans les terrains du Bassin parisien, les marques d'une métallurgie florissante à l'âge du Fer ont été mises au jour, particulièrement dans le département de la Sarthe à l'occasion des fouilles préventives de

¹ VIVET, Jean-Bernard, « La production du fer protohistorique en Haute-Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques », dans MILCENT, Pierre-Yves (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal. Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF, Toulouse 20-23 mai 2004*, Pessac, Aquitania, 2007, p. 63-84 ; VIVET, Jean-Bernard, « Pilleverte II, en Plesder (35) : un atelier armoricain de production massive de fer au haut-empire », *les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet*, 2008, vol. 36, p. 73-102 ; LARCHER, Guy et VIVET, Jean-Bernard, « Chronique de prospection et de recherche archéologique sur la métallurgie du massif de Paimpont », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, 2010, n°AF-2009, p. 7-16 ; OILLIC, Jean-Charles, *Bilan d'activité du PCR « Brécélien » Étude interdisciplinaire d'une forêt mythique*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2010 ; OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire*, Thèse de doctorat, Université Rennes 1, Rennes, 2011 ; GIRAULT, Nicolas, « Premier sondages sur le ferrier médiéval de Péronnette (Paimpont, 35) », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, 2010, n°AF-2009, p. 105-121.

² LE QUELLEC, Vincent, *La paléométallurgie du fer dans le Porzay et ses environs*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2007 ; LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et JOUANET-ALDOUS, Nadège, « Métallurgies à l'âge du Fer dans le nord-ouest de la France », dans MOUGNE, Caroline et DAIRE, Marie-Yvane (dir.), *L'Homme, ses ressources et son environnement, dans l'ouest de la France à l'âge du Fer*, Rennes, Mémoire Géosciences, 2015, p. 119-138 ; DARÉ, Sébastien, DUFAY-GAREL, Yann et RÉGENT, Bruno, *Autour du golfe du Morbihan, à l'est de Vannes jusqu'à la Vilaine*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2012.

l'autoroute A 28 réalisées dans les années 2010 et dont les résultats ne sont malheureusement pas publiés³. L'ampleur de ce secteur de production est confirmée par les fouilles préventives récentes sur le tracé de la LGV, à proximité des fouilles précédentes. Ces travaux ont montré une continuité de la production durant la période antique, tout particulièrement en Sarthe et en Mayenne où des fouilles programmées ont été réalisées depuis plusieurs années⁴. Enfin, cette aire géographique n'est pas dépourvue de production sidérurgique à l'époque médiévale, comme l'ont montré les travaux des précédents auteurs pour la Sarthe, mais également des prospections dans l'intérieur et autour du massif forestier de Bercé⁵. C'est surtout grâce à l'apport des sources écrites que cette activité est actuellement la mieux documentée pour la période médiévale. Elles permettent notamment de localiser certaines zones de production retrouvées en prospection grâce à la présence des amas de scories et de les dater⁶. On constate ainsi que le sud-est de l'Ille-et-Vilaine correspond à une vaste zone de production⁷. La basse Bretagne pourrait avoir participé à la production du fer à l'époque médiévale. Les textes permettent aussi d'approcher l'organisation du travail et de suivre les liens existant entre artisans, seigneurs laïcs ou religieux⁸.

Ces sources concernent essentiellement le second Moyen Âge. Elles montrent clairement le lien très étroit qui existait entre les activités sidérurgiques et les forêts. Un certain nombre de celles-ci sont citées dans ces textes. Les quelques prospections réalisées dans certains massifs montrent effectivement des amas de scories de grande dimension. C'est ainsi que les forêts existant depuis ces époques sont des conservatoires archéologiques, ayant fossilisé les traces des activités métallurgiques passées.

³ GALLIEN, Véronique et LANGLOIS, Jean-Yves, « Les mines de fer du nord de la Sarthe, bilan des fouilles sur l'A28 », *Archéopages*, 2001, n° 5, p. 12-19.

⁴ SARRESTE, Florian, *Sidérurgie ancienne dans le Bas Maine (VIII^e siècle av. J.-C.-XV^e siècle ap. J.-C.)*, Thèse de doctorat, Université François Rabelais, Tours, 2008.

⁵ LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et CHOPLIN, Morgan, *La métallurgie du fer en forêt de Bercé*, Nantes, Service Régional d'Archéologie Pays-de-la-Loire, 2014.

⁶ MEURET, Jean-Claude, « Le paysage métallurgique minier ancien au sud-est de l'Ille-et-Vilaine », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1989, vol. 96, n° 2, p. 145-159 ; MEURET, Jean-Claude, « Archéologie, paysage et histoire d'une forêt du Néolithique à nos jours, le massif de Domnaiche-en-Lusanger (Loire-Atlantique) », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 2010, vol. 117, n° 4, p. 7-81 ; HERBAUT, Claudie, « La métallurgie de la Châtellenie de La Poitevinière à travers les comptes de ses revenus », dans BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant*, Paris, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, col. « Cahiers de l'Inventaire », 1984, vol. 3, p. 41-54 ; HERBAUT, Claudie, « Exploitation minière en forêt de Quintin », *Mémoires de la Société d'Histoire et d'Archéologie de Bretagne*, 1988, t. LXV, p. 93-104 ; HERBAUT, Claudie, « Le renouvellement de la sidérurgie bretonne à la Renaissance : l'exemple de la forge d'Avaugour en 1560, dans son environnement », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1989, vol. 96, n° 2, p. 161-170 ; HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères, aux XII^e et XIII^e siècles, par les seigneurs de la région de Châteaubriant (Loire-Atlantique) », dans BENOIT, Paul et CAILLEAUX, Denis (dir.), *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 59-71 ; HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de " Brécélien " », VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, col. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 17-22.

⁷ MEURET, Jean-Claude, « Le paysage métallurgique minier ancien... », *loc. cit.*

⁸ HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*

Mais qu'en est-il du premier Moyen Âge ? Sans l'apport de sources écrites, ne demeurent que les traces matérielles. Comme nous le verrons, il est actuellement difficile de dater les sites métallurgiques lors d'une prospection, du fait, la plupart du temps, de la pauvreté du matériel datant, particulièrement en surface. C'est lors de fouilles préventives que des traces d'activité métallurgique sont détectées, mais il s'agit dans la plupart des cas de vestiges du travail de la forge. Sans sous-estimer l'importance de ces données, nous ne les avons que très peu intégrées à notre propos, préférant focaliser la discussion sur les zones de production primaire, c'est-à-dire la production du métal à partir du minerai, car ce sont ces activités qui ont eu un impact important sur l'environnement.

C'est donc par une prospection systématique réalisée au niveau régional qu'il serait possible de visualiser les zones de production des différentes périodes. Le Massif armoricain est une aire géographique très vaste et de nombreuses zones n'ont pas encore été prospectées pour la métallurgie bien que l'on dispose, pour certains secteurs, de mentions d'activités médiévales dans des textes. En conséquence, la synthèse présentée ici ne donne qu'une vue très partielle de l'activité sidérurgique au cours de ces centaines d'années. Elle regroupe des données de prospection, de fouille ainsi que des renseignements provenant de sources historiques et montre des tendances évolutives que l'on retrouve sur l'ensemble du territoire national pour une large période médiévale.

Dans les pages qui vont suivre, nous allons aborder tout d'abord le contexte géologique de la région et la variété des gisements de minerai de fer, ainsi que la forme des exploitations associées. Puis, après avoir présenté brièvement les débuts de la métallurgie dans la péninsule, et tout aussi brièvement, le développement de la métallurgie du fer depuis l'âge du Fer jusqu'à la fin du Bas-Empire, nous nous intéresserons à la métallurgie du fer aux époques médiévales, depuis le haut Moyen Âge jusqu'à l'apparition des premiers hauts fourneaux au XVI^e siècle, en tentant de réaliser pour chaque époque une synthèse des données connues, issues des prospections archéologiques, de la fouille de quelques ateliers, d'études archéométriques sur le matériel issu de ces fouilles et de documents historiques. Le propos se focalisera sur l'évolution des techniques de production du fer durant ces différentes périodes. Les questionnements porteront également sur l'organisation et l'importance de cette activité de production à l'échelle régionale, quand les données sont suffisantes pour le faire, et du lien possible avec les élites. Des comparaisons extra-régionales seront tentées afin de voir si l'organisation de la production a pu être la même que dans d'autres secteurs du territoire national actuel. Cependant, toutes les régions n'étant pas documentées avec un même niveau de précision, nous nous référerons souvent aux travaux réalisés dans l'est de la France (Lorraine et Franche-Comté) et plus ponctuellement dans le Bassin parisien. Enfin, dans une dernière partie, nous verrons comment cette activité qui a perduré pendant plus de deux millénaires a profondément modifié l'environnement, aussi bien sur le plan topographique par le creusement des mines, l'accumulation des monceaux de déblais et de déchets, la modifications des réseaux hydrographiques quand les hauts fourneaux font leur apparition, que sur celui de la végétation, avec des défrichements parfois intenses au moment où se fait l'exploitation, et des abandons de parcelles si bouleversées topographiquement qu'elles restent boisées à l'heure actuelle.

Le massif armoricain, une région très riche en minerais de fer

Une structuration résultant d'une longue histoire géologique

Le Massif armoricain, long d'environ 400 km, formant une péninsule à l'extrémité ouest du continent européen, est le résultat d'une succession de plissements, d'érosion et

de sédimentation, échelonnés depuis le précambrien jusqu'à la fin du paléozoïque. Sa structure est la conséquence de trois orogénèses majeures associées à trois grandes chaînes de montagne successives : l'orogène icartien (environ 2 milliards d'années) puis l'orogène cadomien (environ 650-615 milliards d'années ?)⁹ ; ce dernier a été suivi d'une pénéplanation totale, puis d'un retour progressif des transgressions marines au paléozoïque. La phase hercynienne (ou varisque), qui est la troisième orogénèse, a eu lieu à la fin du paléozoïque (360 à 280 millions d'années). Elle correspond à des mouvements tectoniques ininterrompus et à la mise en place de granites échelonnés sur plusieurs dizaines de millions d'années, en particulier au niveau des cisaillements sud et nord armoricains. À l'extrême fin des temps paléozoïques, la chaîne hercynienne a été pénéplanée et partiellement recouverte par les transgressions mésozoïques et cénozoïques¹⁰. Des formations secondaires et tertiaires la recouvrent alors (les formations du Bassin parisien datent de cette époque). Suite à ces mouvements, il est possible de diviser le massif en deux domaines : au nord-est, le domaine normando-breton est caractérisé par un métamorphisme hercynien faible ou nul et des intrusions granitiques varisques limitées (**Figure 1**), les plutons granitiques sont ici d'âge cadomien ; au sud-ouest, dans le domaine vendéo-breton, l'intensité des métamorphismes et des granitisations hercyniennes a effacé presque toutes les reliques de l'orogène précédent. En résumé, la structure actuelle est représentée par deux grands ensembles constitués de massifs cristallins (majoritairement granitiques) au nord et au sud, limités par deux grands linéaments orientés globalement ouest-est. Ils correspondent à de grands systèmes de failles qui ont joué et rejoué au cours de cette longue histoire géologique. Au centre, s'est formée une fosse d'origine sédimentaire issue de l'évolution des terrains cadomiens.

Figure 1 - Carte géologique simplifiée du Massif armoricain incluant des districts miniers d'exploitation des minerais de fer reconnus en prospection actuellement
(DAO : C. Le Carlier)

Des gisements de natures variées et de diverses importances

Les principaux gisements de fer se situent dans la zone centrale, dite grand synclinorium médian, allant du bassin de Châteaulin dans le Finistère jusqu'au bassin de Laval à l'est. Les minéralisations ferrifères sédimentaires s'y sont mises en place entre l'orogène cadomien et l'orogène varisque. À l'ouest, dans le Finistère, sur la bordure occidentale du bassin de Châteaulin (entre Landevennec et Eder), sur sa bordure orientale (secteur de Gouarec/Sainte-Brigitte) ainsi que sur sa bordure nord (secteur de Pleyber-Christ/Morlaix), ce sont des sédiments dévoniens (autour de 420 Ma) qui sont abondamment pourvus en minerai de fer. Ces formations ferrifères dévoniennes se rencontrent jusque dans le secteur de Pontivy/Mur-de-Bretagne. De nombreux gisements se sont mis en place en liaison avec le volcanisme ordovicien, autour de 460 Ma, d'autres sont d'origine sédimentaire (même âge), inclus dans le grand domaine Bretagne/Anjou depuis le secteur de Paimpont, en passant par le sud-est de l'Ille-et-Vilaine, jusqu'à Segré. Les gisements du sud-est de l'Ille-et-Vilaine correspondent à une vaste zone qui va d'ouest en est, de la Vilaine à la Mayenne, sur une bande longue de 110 km et large de plus ou moins 20 km. Elle fait partie intégrante du Massif armoricain. Les terrains qui la constituent comprennent des grès armoricains et des schistes dans lesquels sont intercalées des lentilles stratiformes constituées essentiellement d'hématite et de

⁹ CHAURIS, Louis, « Une province stannifère : le Massif Armoricain (France) », *Chronique de la recherche minière*, 1981, n° 462, p. 5-42.

¹⁰ *Ibid.*

magnétite. Le secteur de Paimpont présente globalement les mêmes caractéristiques, à la différence que les couches ferrifères (**Figure 2a**) sont plus métamorphisées et les gîtes plus faillés.

Une autre part importante des gisements est composée de minerais liés à l'altération de ces premiers gisements, en climat tropical à l'époque tertiaire, ce qui a entraîné la formation d'argiles surmontées de fer latéritique. Ces formations, que l'on rencontre sur l'ensemble du massif, sont très représentées dans l'est, notamment dans le massif de Paimpont et au sud-est de Rennes. Ces formations ont elles-mêmes subi les effets de l'érosion, si bien que dans ces districts riches en fer, de très nombreux petits gisements de surface composés essentiellement de minéraux hydroxylés tels que la limonite se sont formés. Enfin, d'autres gisements de surface résultent de l'altération plus ou moins récente de roches et de filons basiques tels que des dolérites, des gabbros ou même des schistes. Ces derniers correspondent à des minerais en forme de rognons arrondis et informes (**Figure 2b**) dont les gisements peuvent ne pas être mentionnés sur la carte géologique tant leur tonnage est faible face à l'appréhension contemporaine de la richesse d'un minerai. Bien sûr, ces gisements sont particulièrement riches dans les secteurs déjà pourvus en minerais de fer.

Ainsi, sur l'ensemble du Massif armoricain, de très nombreux petits gîtes existent, aux côtés de gisements plus importants. Ils ont pu être exploités à des périodes anciennes où la recherche des matières premières devait se faire dans un environnement assez proche des lieux de vie. Il serait fastidieux d'en dresser une liste exhaustive, mais nous pouvons dire que très peu de secteurs du Massif armoricain sont totalement dépourvus de minerais de fer. Si seuls quelques-uns sont suffisamment riches pour avoir permis une exploitation souterraine à des périodes plus récentes, la très grande majorité de ceux-ci présentent des couches de surface suffisamment riches pour autoriser une exploitation par excavation à ciel ouvert en creusant des minières de dimensions plus ou moins importantes.

Figure 2a - Exemple de minerai de couche ferrifère provenant du secteur de Paimpont. Figure 2b - Exemple de minerai rognogneau que l'on peut trouver dans des couches superficielles.

Des exploitations minières difficilement datables

La présence de ces gisements de dimensions limitées et de morphologie complexe a conduit, dès l'âge du Fer, à une exploitation sous forme de minières à ciel ouvert plus ou moins vastes (**Figure 3a**), ou sous forme de petites minières se développant à quelques mètres sous terre, en général aux environs de 4 à 5 m de profondeur. Ces minières souterraines se rencontrent surtout dans les couches sédimentaires du Bassin parisien, en Sarthe notamment autour du Mans, ou dans la forêt de Bercé par exemple¹¹. Cependant, la prospection sur le Massif armoricain étant loin d'être complète, quelques secteurs miniers de ce type pourraient exister également plus à l'ouest. Certains minerais d'altération se retrouvant en abondance dans les couches superficielles, le ramassage de surface peut aussi avoir constitué une méthode efficace pour récupérer la matière première (**Figure 3b**). Ces types d'exploitation ont pu être développés durant de très longs siècles. Nous pouvons citer, par exemple, la présence de minières, ouvertes sur plusieurs centaines de mètres, dans la forêt de Paimpont. Leur exploitation est certainement liée au fonctionnement des forges de Paimpont à partir du XVII^e siècle. Il est donc très difficile

¹¹ GALLIEN, Véronique et LANGLOIS, Jean-Yves, « Les mines de fer du nord de la Sarthe... », *loc. cit.*, p. 13-14 ; LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et CHOPLIN, Morgane, *La métallurgie du fer en forêt de Bercé...*, *op. cit.*, p. 32.

d'attribuer un âge à ces sites miniers sans réaliser des sondages à cause de l'absence de matériel datant en surface,

Une difficulté supplémentaire s'ajoute à cela car le Massif armoricain renferme de nombreuses autres minéralisations, tels que des filons contenant de l'étain, du plomb ou de l'or. L'exploitation de ces ressources a été également réalisée sous forme de minières durant de nombreux siècles. Dès lors, la confusion peut rapidement s'installer et seule la lecture de la carte géologique permet de proposer des hypothèses quant à la nature de ces gisements. La visite des sites et la reconnaissance des roches sur les haldes minières permettent également cette expertise.

Figure 3a - Exemple de mine à ciel ouvert (forêt de Liffré, nord-ouest de Rennes)

Figure 3b - Illustration provenant de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert (1765, planche II, tome IV) montrant l'exploitation en surface des minerais

Évolution de la production métallurgique

Une tradition métallurgique ancrée dans la Protohistoire et l'Antiquité

Dès l'apparition du métal dans l'ouest de l'Europe, on le rencontre dans la péninsule armoricaine. La typologie des objets à base de cuivre indique une production locale, même si la matière première principale qu'est le minerai de cuivre est absente du sous-sol. La présence très importante de minerai d'étain a dû y conduire à une apparition très rapide des objets en bronze par rapport au reste de l'Europe occidentale¹². De même, l'ajout du plomb dans les objets en bronze se fait très précocement, certainement en lien avec la présence nombreuse des minéralisations en galène¹³. On note également le nombre imposant d'objets métalliques à base de cuivre immobilisés dans des dépôts terrestres à chaque époque de l'âge du Bronze, montrant ainsi une production d'une ampleur inégalée de plusieurs dizaines de milliers d'objets.

La métallurgie du fer semble également avoir été très précoce : des indices d'exploitation et de traitement du minerai de fer remontent au premier âge du Fer¹⁴. Les objets métalliques de ces périodes anciennes semblent provenir de productions locales plutôt que d'importations. La péninsule ne présente donc pas de retard technologique par rapport au reste de l'Europe de l'Ouest. Le second âge du Fer voit se développer l'exploitation de divers métaux¹⁵. Si l'étain semble toujours intensément exploité, on note une augmentation de la mise en valeur des gisements de plomb (peut-être pour l'argent qu'ils contiennent, cela reste encore à confirmer) et d'or, mais surtout une multiplication du

¹² GANDOIS, Henri, *L'adoption du bronze à l'étain en France*, mémoire de master 2, Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris, 2009.

¹³ BRIARD, Jacques, BOURHIS, Jean-Roger et VIVET, Jean-Bernard, « Une nouvelle série d'analyses spectrographiques sur les bronzes armoricains : Tréboul et haches à douille », dans MORDANT, Claude, PERNOT, Michel et RYCHNER, Valentin (dir.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère. Production, circulation et consommation du bronze*, Paris, CTHS, 1999, p. 91-100.

¹⁴ VIVET, Jean-Bernard, « La production du fer protohistorique en Haute-Bretagne... », *loc. cit.*, p. 66.

¹⁵ LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et JOUANET-ALDOUS, Nadège, « Métallurgies à l'âge du Fer... », *loc. cit.*, p. 122-135.

nombre des sites d'exploitation de minerai de fer¹⁶. Ce sont essentiellement ceux qui sont présents en sub-surface qui sont exploités dans des zones qui, parfois, ne présentent plus actuellement d'intérêt métallogénique, tels le nord de l'Ille-et-Vilaine, le sud du Finistère ou le centre du Morbihan¹⁷. Dans chacun des districts miniers, ce sont plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines (sur l'exemple du secteur de Dinéault/Briec), de fours à usage unique (four à fosse autrement appelé four à scories piégées) qui ont produit des tonnes de métal. Même en tenant compte de l'étalement dans le temps, il est difficile d'imaginer que cette production n'ait été destinée qu'au seul usage local. À la fin de l'âge du Fer, le procédé du four à scories écoulées (scories à succession de cordons) fait son apparition. La rapidité de la transition entre ces deux procédés ainsi que l'ampleur de cette production sont actuellement difficiles à évaluer.

Après la conquête romaine, cette tradition de production se perpétue. Parfois, cette continuité affecte les mêmes districts miniers, notamment dans le Finistère, mais avec une production de faible ampleur, à scories à succession de cordons, qui laisserait penser à une utilisation locale. Ailleurs, sur l'ensemble du Massif armoricain, il semble bien qu'il n'y ait pas eu de très gros centres de production sidérurgique romains si ce n'est dans le nord de l'Ille-et-Vilaine et à l'est du Morbihan¹⁸. Dans d'autres cas, la production s'atténue très fortement à la fin de l'âge du Fer, par exemple dans le secteur de la forêt de Paimpont¹⁹. Enfin, il faut noter également une augmentation importante de la production sur certains secteurs choisis, et peut-être contrôlés, par un pouvoir en relation avec la nouvelle organisation sociale, par exemple dans certains sites localisés en Sarthe²⁰. Sur ces sites de très grande ampleur, la production se fait alors quasi-exclusivement avec des fours à scories écoulées en forme de plaquettes, organisés en batteries. Si la production sur ces sites sarthois est très importante, elle n'atteint cependant pas les volumes prodigieux des sites de la Montagne noire dans le Tarn ou de la forêt de Puisaye dans l'Yonne²¹.

Avec la chute de l'Empire romain, les pressions angles, saxonnes et pictes s'intensifient sur l'île de Bretagne imprimant un nouvel élan au mouvement migratoire des Bretons insulaires vers la Bretagne armoricaine. L'installation de ces nouveaux migrants et le départ des Romains conduit à un effondrement de l'économie locale et à une restructuration du territoire avec la formation de petits royaumes²². Les grands centres sidérurgiques du bas Maine sont abandonnés à l'instar d'autres grands centres connus tels que les Clérimois dans l'Yonne ou Les Martyrs dans le Tarn²³. La production continue néanmoins, comme par exemple sur le site du Chapeau-de-Roche à Molac (Morbihan),

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ VIVET, Jean-Bernard, « Pilleverte II, en Plesder (35)... », *loc. cit.*, p. 100 ; DARÉ, Sébastien et DUFAY-GAREL, Yann, *Autour du golfe du Morbihan, à l'est de Vannes jusqu'à la Vilaine*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2013.

¹⁹ OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, *op. cit.*, p. 274.

²⁰ SARRESTE, Florian, *Sidérurgie ancienne dans le Bas Maine...*, p. 525.

²¹ DOMERGUE, Claude et LEROY, Marc, « L'état de la recherche sur les mines et les métallurgies en Gaule, de l'époque gauloise au haut Moyen Âge », *Gallia*, 2000, vol. 57, p. 5 ; PIETAK, Jean-Pierre, LEROY, Marc, LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et MERLUZZO, Paul, « Nouvelles données sur l'importance des vestiges de sidérurgie ancienne en Puisaye », *Revue Archéologique de l'Est*, vol. 61, p. 122.

²² MONNIER, Jean-Jacques, « L'immigration bretonne en Armorique », dans MONNIER, Jean-Jacques et CASSARD, Jean-Christophe (dir.) *Toute l'histoire de Bretagne. Des origines à la fin du XX^e siècle*, Morlaix, Édition Skol Vreizh, 2012, p. 113.

daté entre 256 et 389 après J.-C., où quelques tonnes de fer ont encore été produites²⁴. Cependant, les sites de réduction semblent être nettement moins nombreux et paraissent isolés. Comme dans le reste de la France septentrionale²⁵, ces changements qui sont amorcés dès le Bas-Empire vont caractériser la métallurgie du fer au haut Moyen Âge.

Le haut Moyen Âge : une métallurgie actuellement mal cernée mais probablement bien développée

Les indices de métallurgie du fer sont actuellement très ténus pour les périodes mérovingienne et carolingienne. Nous ne pouvons citer que quelques sites connus sur l'ensemble de la péninsule, tant pour la production du métal à travers les sites de réduction que pour les rares ateliers de forge. Cependant, les découvertes récentes de l'archéologie préventive, non prises en compte dans ce travail, semblent montrer une production métallurgique omniprésente généralisable sur l'ensemble du territoire, et pour toute la période.

La période mérovingienne

Durant cette période, de petits royaumes se créent. Des hostilités avec les Francs ont lieu sur la frontière qui se situe alors approximativement entre Dol-de-Bretagne et Redon²⁶. Malgré des troubles dans la partie orientale, la région présente cependant une stabilité propice au développement des activités.

Très peu de sites sont datés de cette époque (entre 430 et 600 après J.-C. par ¹⁴C). L'un a été fouillé dernièrement en Ille-et-Vilaine (**Figure 4**). Il s'agit du site de réduction du minerai de fer dit « Les Robiniaux » à Martigné-Ferchaud (Ille-et-Vilaine) au sud-est de l'Ille-et-Vilaine qui est implanté sur une légère pente à proximité d'un petit cours d'eau²⁷. Il n'y a pas d'indice d'exploitation de minerai de fer dans son environnement immédiat. Néanmoins, les blocs minéralisés retrouvés sur le site montrent qu'il s'agit de minerai de couche qui est attesté dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres. L'atelier se situe dans un petit enclos sans autre trace d'occupation. L'arasement du site n'a pas permis de retrouver la base du four mais les concentrations de déchets (pierres, tuiles, charbon, minerais grillés) donnent quelques indications sur l'organisation de celui-ci. L'étalement des scories, peu nombreuses, provoqué par la mise en culture du champ, ne permet pas de proposer une estimation quantitative de la production. Néanmoins, celle-ci ne peut pas

²³ SARRESTE, Florian, *Sidérurgie ancienne dans le Bas Maine...*, op. cit. ; DUNIKOWSKI, Christophe et CABBOÏ, Sandra, *La sidérurgie chez les Sénon. Les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, Paris, Éditions de la Maison des Sciences de l'homme, 1995 ; DOMERGUE, Claude (dir.), *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude)*, Paris, CNRS éd./Revue Archéologique de Narbonnaise, suppl. 27, 1993.

²⁴ OILLIC, Jean-Charles, *Un atelier sidérurgique antique en Lanvaux : Le site du Chapeau de Roche (Molac, Morbihan, Bretagne)*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2010.

²⁵ CABBOÏ, Sandra, DUNIKOWSKI, Christophe, LEROY, Marc et MERLUZZO, Paul, « 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 », dans *Medieval Europe. Actes du 4^e congrès d'archéologie médiévale et moderne*, Paris, 2007, p. 3.

²⁶ CASSARD, Jean-Christophe « Les bretons et l'Empire carolingien », dans MONNIER Jean-Jacques et CASSARD, Jean-Christophe (dir.) *Toute l'histoire de Bretagne...*, op. cit., p. 125.

²⁷ BARBEAUX, Sandrine, *Martigné-Ferchaud (Ille-et-Vilaine) RD 41–RD 94, axe Bretagne–Anjou (section Retiers–Martigné-Ferchaud), Tranche 2*, Rennes, INRAP Grand Ouest, 2013, p. 58–71.

être considérée comme étant de très grande ampleur. La forme et la dimension des scories, parfois constituées d'un unique cordon d'écoulement, laissent supposer une structure de petit diamètre. Cependant, des aménagements tels un four monté en pierres et tuiles et la présence probable d'appentis indiquent la volonté d'une présence pérenne²⁸. À l'instar des sites de production de l'est de la France, plus imposants cependant par leur production²⁹, ce petit atelier, dont les travaux ne concernent que le traitement et la réduction du minerai, semble isolé des habitats où pourraient avoir eu lieu la mise en forme du métal et l'élaboration d'objets. Les travaux archéologiques de fouille et de prospection extensifs en Lorraine ont permis de montrer d'autres exemples d'organisation de la production du fer : l'existence de très gros centres de production probablement contrôlés par un pouvoir bien établi, ainsi que l'existence d'un village à vocation métallurgique³⁰. Ce type d'organisation n'a pas été repéré dans l'Ouest jusqu'à maintenant.

Néanmoins, des découvertes très récentes remettent peut-être en cause ces types d'organisation. En effet, des prospections réalisées dans la région de Locminé (Morbihan) ont montré la présence de nombreux ferriers de faible ampleur ne comportant que des fragments de petite taille de scories écoulées, sans autre matériel datant³¹. Des fouilles de sauvetage réalisées en 2018 sur deux sites ont permis de dater ces productions du haut Moyen Âge. Pour l'un, il s'agit d'un atelier métallurgique associant réduction et forge en relation avec un enclos. Pour l'autre, il ne s'agit que d'un atelier de forge associé également à un enclos (rapports en cours d'écriture). Les petits ferriers de ce type sont extrêmement nombreux sur l'ensemble de la péninsule armoricaine. Sont-ils pour autant tous associés à des habitats ?

Le fer a dû être produit à cette époque de manière continue en fonction de la demande, probablement pour des activités agricoles mais également peut-être pour armer les troupes engagées dans les conflits avec les Francs. Comme pour l'est de la France, l'organisation de la production semble totalement modifiée par rapport à l'époque romaine à partir du IV^e siècle et certainement aux VI^e et VII^e siècles³². L'industrie pourrait être nettement plus disséminée et susceptible de s'être développée à une échelle plus locale dans de nombreuses petites régions, et notamment dans des secteurs qui semblent n'avoir été que peu ou pas exploités durant la période romaine. Nous n'avons pas suffisamment de sites datés de cette époque pour nous permettre de comprendre l'organisation de la production, et en particulier de savoir s'il a pu exister des villages à caractère agricole dont une partie de l'activité aurait été liée à la production métallurgique, comme c'est le cas sur le site des Noires Terres en Lorraine³³. Cette organisation qui semble apparaître au haut Moyen Âge dans le Bassin parisien et dans l'est de la France va perdurer dans ces régions jusqu'au Moyen Âge central.

²⁸ *Ibid.*

²⁹ LEROY, Marc, MERLUZZO, Paul et LE CARLIER DE VESLUD, Cécile, *Archéologie du fer en Lorraine. Minette et production du fer en bas fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen Âge*, Knutange, Fensch vallée éd., 2015, p. 303.

³⁰ *Ibid.*, p. 130-136.

³¹ DARÉ, Sébastien et DUFAY-GAREL, Yann, *Autour du golfe du Morbihan, à l'est de Vannes jusqu'à la Vilaine...*, *op. cit.*, p. 15.

³² CABBOÏ, Sandra, DUNIKOWSKI, Christophe, LEROY, Marc et MERLUZZO, Paul, « Réflexions sur les formes d'organisation du travail du fer... », *loc. cit.*, p. 2.

³³ *Ibid.*, p. 107-108.

La période carolingienne

La pression franque augmentant, de nombreux conflits s'ensuivent³⁴. La conjoncture ne permet pas l'existence d'échanges nombreux et à longue distance. L'organisation de la production a probablement suivi un modèle identique à celui que l'on retrouve plus à l'est, à savoir de petites unités isolées ou des ateliers intégrés ou non à des habitats ruraux³⁵.

Figure 4 - Localisation des sites sidérurgiques connus pour la période carolingienne

La limite est correspond à l'extension du duché sous Erispoë. La limite ouest de la zone de contact n'est pas réellement définie, certains auteurs la voient limitrophe du comté de Vannes, plus à l'ouest.

Un site de cette époque a été fouillé dans le Finistère à Kerbizien, commune de Huelgoat (Figure 4). Il se situe dans un abri sous-roche en bordure de talweg qui avait été occupé précédemment à la période mésolithique³⁶. Il n'y a pas de présence de minerai dans l'environnement immédiat de l'atelier ; cependant des occurrences sont répertoriées aux alentours à une distance maximale de 5-6 km (1 km pour la zone la plus proche). Le propriétaire du terrain ayant réalisé un aménagement paysager sur le secteur a détruit presque totalement le site. La concentration des scories se situe néanmoins juste devant l'abri sous roche. Une de ces scories englobait un charbon de bois qui a permis une datation radiocarbone (688 à 863 après J.C.)³⁷. La présence de tessons de céramique des IX^e et X^e siècles orienterait peut-être l'activité métallurgique vers cette période plus tardive. La quantité assez réduite de scories récoltées tend à montrer un atelier de faible production. Toutes les scories correspondent à des scories écoulées en succession de cordons (Figure 5). Celles-ci sont en moyenne de petite taille. Elles correspondent soit à des cordons individuels, soit à l'association de quelques cordons, tous de faible diamètre (maximum de 1 cm). Des billes de scories de réduction de petite taille (1 cm de diamètre au maximum) sont aussi observées. Les quelques fragments de scorie interne sont également bien petits avec une épaisseur ne dépassant pas 3 cm. Tout indique ici le fonctionnement ponctuel (probablement pour un usage local) d'un petit appareil de réduction avec trou de coulée étroit. Deux autres sites de même configuration (sites de Penmenez 1 et 2) et comportant les mêmes types de déchets se situent au sud de celui-ci à une distance de 2 km environ et pourraient alors être datés de la même époque³⁸.

Figure 5 - Exemples de scories de réduction du site de Kerbizien

Toujours dans le Finistère, d'autres sites de production datant de cette période ont été fouillés ; ils se situent à Quimper. Ainsi, le site de Creac'h Gwen a livré un four

³⁴ CASSARD, Jean-Christophe, « Les bretons et l'Empire carolingien... », *loc. cit.*, p. 121.

³⁵ *Ibid.*, p. 3-5 ; LEROY, Marc, MANGIN, Michel, LAURENT, Hervé, BOUKEZZOULA, Mostefa et RAÏSSOUNI, Baraka, « La sidérurgie dans l'Est de la Gaule. L'organisation spatiale de la production de l'âge du Fer au haut Moyen Âge », *Gallia*, 2000, vol. 57, p. 20-21.

³⁶ MARCHAND, Gregor, *L'abri sous-roche de Kerbizien (Huelgoat, Finistère) Bilan archéologique du site et fouille d'un niveau azilien résiduel*, Rennes, CReAAH / Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2012, p. 8.

³⁷ *Ibid.*, p. 91.

³⁸ JOUANET, Nadège, *Prospection paléométallurgique autour des lingots bipyramidaux de Saint-Connan (Côtes-d'Armor)*, mémoire de master 2, Université Rennes 1, Rennes, 2009, p. 16.

quadrangulaire en pierre, chemisé d'argile, d'environ 80 cm de largeur interne et creusé sur environ 40 cm³⁹. Les scories, qui n'ont malheureusement pas été décrites à l'époque, ont été retrouvées dans trois fosses. La datation du bas fourneau donne une fourchette comprise entre 895 et 1195 après J.-C. Dans la rue de Bourg-les-Bourgs, un autre atelier a été récemment découvert qui daterait du x^e siècle⁴⁰. Comme le site de Creac'h Gwen, il correspond à un établissement rural à vocation agricole mais présentant également d'autres activités, dont certaines en relation avec la métallurgie. La description des scories de ce dernier site n'est pas très explicite ; néanmoins ces déchets semblent correspondre à la phase de réduction. Il n'a pas été détecté de déchets de forge ; cependant, l'emprise de la fouille n'a pas englobé la totalité de l'enclos et il est possible qu'un atelier de forge ait pu être attenant. Ainsi, il semble qu'aux environs de Quimper se soient installées à cette période des communautés rurales qui devaient subvenir à la grande majorité de leurs besoins, production de métal comprise.

À l'est de la péninsule, deux autres sites seraient datés de la même époque : l'un se situe dans la forêt de La Guerche, l'autre en forêt de Paimpont sur le site de Bois-Jacob⁴¹. Si nous n'avons pas beaucoup de détails sur l'environnement du premier site, il semble que le second soit à l'écart des zones d'habitat. Le peu de scories retrouvées sur ces sites indique ici aussi un fonctionnement de faible importance. Contrairement à ce que l'on peut observer dans l'est de la France, tous ces sites ne se situent pas immédiatement sur les lieux d'extraction (sauf pour le cas de Bois-Jacob où la minière jouxte l'atelier), bien que le minerai soit présent à une distance acceptable (quelques kilomètres au maximum). Ils correspondent uniquement à la phase de réduction. La situation générale instable de cette époque conduit-elle à une baisse de la production de métal ? Probablement. Mais ces sites de très petite ampleur sont difficilement détectables, notamment en forêt. De plus, très peu de matériaux tels que les céramiques permettent leur datation au cours des prospections. Ainsi, actuellement, peut-être sous-estimons-nous la production. En forêt de Paimpont, quelques autres sites, présentant une petite quantité de scories de même typologie, ont été repérés sans qu'aucune datation ne soit actuellement proposée. Peut-être s'agit-il ici de sites similaires à celui du Bois-Jacob.

Au sud-est de la péninsule, la production du métal dans l'actuel département des Deux-Sèvres, à partir de l'exemple du site de Chagnasse à Viennay⁴², semble présenter la même organisation que les ateliers situés dans le royaume franc, c'est-à-dire une chaîne opératoire complète, de la réduction du minerai en métal jusqu'à la fabrication des objets, en contexte d'habitat rural, comme cela a pu être observé également sur le site de Saint-Dizier en Haute-Marne⁴³. En revanche, il est étonnant que dans le bas Maine, région

³⁹ MENEZ, Yves et BATT, Michaël, « L'habitat du haut Moyen Âge à Quimper », *Revue Archéologique de l'Ouest*, 1988, vol. 5, p. 129.

⁴⁰ VILLARD, J.-F., « Un établissement agricole et artisanal de la fin du haut Moyen Âge au 22 de la rue Bourg-les-Bourgs à Quimper (Finistère) », *Revue Archéologique de l'Ouest*, 2011, vol. 28, p. 199.

⁴¹ MEURET, Jean-Claude, « Chroniques des fouilles médiévales. Ille-et-Vilaine–Rannée, Forêt de La Guerche », *Archéologie médiévale*, 1994, vol. 24, p. 515 ; LARCHER, Guy et VIVET, Jean-Bernard, « Chronique de prospection et de recherche archéologique... », *loc. cit.*, p. 16.

⁴² SAINT-DIDIER, Guillaume, « La métallurgie du fer dans les Deux-Sèvres autour de l'an Mil », dans BAUDRY, Marie-Pierre (dir.), *Les Deux-Sèvres autour de l'an Mil. Actes des Rencontres Historiques de Parthenay (13-14 octobre 2012)*, Parthenay, Fédération des Sociétés savantes et culturelles des Deux-Sèvres, 2014.

⁴³ LEROY, Marc et MERLUZZO, Paul, « Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute Marne) », *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*, 1998, vol. 91, n° 4.

jouxtant la Bretagne, la production du fer au haut Moyen Âge soit insignifiante, voire quasi-inexistante, alors qu'elle était très importante à l'époque romaine⁴⁴.

C'est peut-être à travers les vestiges des ateliers de forge qu'une image plus juste de la production pourrait être donnée pour cette époque. Ceux-ci ne se situant pas sur les ateliers de production primaire, c'est vers les zones d'habitat qu'ils devraient être repérés. Or leur découverte demeure encore très rare. Une forge des IX^e-X^e siècles a été fouillée à Gennes-sur-Seiche (Ille-et-Vilaine) sur le site de La Liberderie⁴⁵. Il s'agit d'un réseau fossoyé délimitant des parcelles dont l'usage est assez difficile à déterminer. Il se peut que l'une d'entre elles corresponde à l'implantation d'un atelier de forge. Bien que les structures de ce dernier n'aient pas été formellement retrouvées, la grande quantité de scories en culot découvertes dans une partie du fossé ainsi que dans une fosse à l'intérieur de l'enclos atteste la présence de ce travail sur le site (**Figure 6a et b**) ; 112 kg ont été prélevés et analysés en laboratoire mais une grande part est restée sur place⁴⁶. L'estimation du volume total n'a donc malheureusement pas pu être faite. D'après les responsables d'opération, il faut bien en compter 4 à 5 fois plus, soit aux alentours de 600 kg. Ce sont des échantillons essentiellement en forme de culots, dont la masse varie de 50 à 1360 g (432 g en moyenne). La taille des culots, se rapprochant de formes discoïdes plano-convexes, varie de 61 à 154 mm. D'autres scories plus petites sont totalement informes. L'observation au microscope tend à montrer que chaque culot correspond au travail d'un seul objet depuis les travaux de mise en forme à très haute température (entraînant une forte perte de fer dans la base du déchet) jusqu'aux étapes de finition représentées par de la scorie argilo-sableuse ne contenant quasiment pas de fer en partie supérieure. Le site de Gennes-sur-Seiche semble donc être un atelier où le travail du métal a été assez important (plusieurs centaines d'opérations ont dû y avoir été effectuées). Le travail était soigné afin de ne pas perdre inutilement du métal au cours de ces réalisations. Ceci pourrait peut-être indiquer que le fer métallique était un produit plutôt rare dont il fallait éviter le gaspillage. La taille des culots laisse penser à la fabrication d'objets de taille moyenne à grande, pouvant correspondre à des outils, voire à des armes.

Figure 6a - Exemple de scorie de forge en forme de culot du site de Gennes-sur-Seiche

Figure 6b - Exemple de scorie informe de forge du site de Gennes-sur-Seiche

Il est difficile, voire impossible, de discuter de l'organisation de la production dans la péninsule durant ces périodes du fait du caractère extrêmement lacunaire et laconique des données. Néanmoins, l'image que nous renvoient ces dernières semble montrer qu'à l'instar du reste de la France, la production du fer dans l'Ouest se fait dans des ateliers de taille bien plus réduite qu'à la période romaine, dans des zones isolées ou en relation avec de modestes habitats ruraux. Les données nous laissent penser qu'au cours de ces siècles, il n'y a pas de véritable changement dans l'organisation de la production, avec des

⁴⁴ SARRESTE, Florian, *Sidérurgie ancienne dans le Bas-Maine...*, *op. cit.*

⁴⁵ BETHUS, Teddy et OEIL DE SALEYS, Sébastien, *Gennes-sur-Seiche, Ille-et-Vilaine, La Liberderie, vestiges d'occupations antiques et médiévales*, Rennes, INRAP Grand Ouest, 2014, p. 90.

⁴⁶ LAVOUÉ, Maëva, *Étude des déchets métallurgiques des sites de Brielles « La Fosse Poulain » et Gennes-sur-Seiche « La Liberderie »*, mémoire de master 2, Université de Nantes, Nantes, 2012, p. 50.

ateliers de production de métal parfois isolés, mais également en contexte d'habitat, de petites dimensions et plus ou moins proches des lieux d'extraction. Le métal semble avoir été apporté ensuite vers des ateliers de forge probablement situés à proximité d'habitats. Ceci semble vrai pour l'est de la péninsule. Aux alentours de Quimper, les ateliers de production semblent être insérés dans l'habitat et probablement proches des ateliers de forge. Une question demeure cependant : peut-il exister de grands sites de production contrôlés par un pouvoir, princier peut-être, pour la production d'armes à destination des troupes engagées dans les nombreux conflits ? Il serait logique de les trouver à l'est, près des Marches, région limitrophe avec le royaume franc, où le minerai se rencontre à profusion.

Actuellement, nous n'avons pas la preuve de l'existence de très grandes exploitations alliant zone d'extraction, de réduction et d'habitat comme pour le site des Fourneaux à Vert-Saint-Denis, ou des zones d'habitat incluant des ateliers de réduction et de forge tel le site de Villeroy « La Plaine des Herbiers »⁴⁷. Nous n'avons pas non plus mis en évidence des ateliers de réduction de très grande ampleur comme pour le site de Ludres-Village en Lorraine où ce sont probablement plusieurs centaines de tonnes de fer qui ont été produites⁴⁸.

Sur la difficulté d'attribution chronologique des sites de production du haut Moyen Âge

Plusieurs époques viennent d'être évoquées, et force est de constater le peu de matériel datant rencontré au cours des prospections. Ces sites sont reconnus en prospection uniquement par la présence de leurs scories, bien souvent dispersées dans les champs. Même les quelques charbons susceptibles d'être présents ne peuvent être pris comme source de datation. Un autre problème majeur concerne la typologie des scories. Les scories écoulées existent depuis la fin de l'âge du Fer jusqu'au bas Moyen Âge. Dans la grande majorité des cas, elles correspondent à des successions de cordons. Ce type de scories se rencontre à toutes ces époques. Si durant la période gallo-romaine, il existe de très gros ferriers à scories en plaquettes, d'autres, de plus petite ampleur, existent également à la même époque, telles les scories à successions de cordons. Leur morphologie dépend en partie de la technique employée et notamment de la forme du four. Cependant, la nature du minerai joue aussi un très grand rôle dans leur aspect (par exemple sur le fait qu'elles soient plus ou moins bulleuses). La très grande variété de minerais présents sur le Massif armoricain contribue à rendre plus difficile encore leur typo-chronologie. Il faut alors pouvoir circonscrire le district minier dans lequel le même type de minerai aura été employé à la même époque.

Enfin, le dernier point qu'il importe d'évoquer est celui de la présence très régulière de *tegulae* sur les petits sites de production. Jusqu'à maintenant, leur présence constituait un élément de datation et nombre de sites ont été ainsi attribués à la période gallo-romaine. Or, nous venons de voir avec ceux qui ont été récemment fouillés et datés par le radiocarbone (Molac pour le Bas-Empire et Martigné-Ferchaud pour le haut Moyen Âge) que les *tegulae* sont utilisées en réemploi dans le parement interne des fours. La datation des sites sur la seule présence des *tegulae* doit donc être abandonnée. Il est seulement possible de dire qu'il ne s'agit pas de sites de l'âge du Fer. Seule la présence de

⁴⁷ DAVEAU, Isabelle et GOUSTARD, Vincent, « Un complexe métallurgique et minier du haut Moyen Âge. Le site des Fourneaux à Vert-Saint-Denis (Seine-et-Marne) », *Gallia*, 2000, vol. 57, p. 83 ; CABBOÏ, Sandra et DUNIKOWSKI, Christophe, *Autoroute A 160, section Saint-Denis-les-Sens-Piffonds. Résultats complets du diagnostic sur le tracé, sous la direction de Laurent Pelletier. Coordination archéologique A 160, vol. 15*, AFAN, 1995.

⁴⁸ LEROY, Marc, *La sidérurgie avant le haut fourneau. L'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe*, Paris, CNRS éd., col. « CRA Monographies », n° 18, 1997.

céramique bien reconnue peut permettre de proposer une datation, à la condition que le site n'ait pas été réoccupé à une période plus récente. En fin de compte, la métallurgie du Bas-Empire et du haut Moyen Âge pourrait avoir été bien plus développée que ce que l'on peut imaginer actuellement.

Le Moyen Âge central : une production bien établie, entre tradition et rupture technologiques

Le duché s'apparente alors à une mosaïque de grandes et petites seigneuries⁴⁹ et la Bretagne connaît une phase de lente expansion. Des seigneurs reçoivent du duc des terres, à charge de les administrer. Ainsi, les forges vont être récupérées par les seigneurs locaux. Cette période de calme relatif, jusqu'au milieu du XIV^e siècle, permet le développement de nombreuses forges. À partir de la seconde moitié du XI^e siècle, on assiste par ailleurs à une forte réimplantation monastique qui se traduit par la multiplication des fondations des petits prieurés dans les seigneuries du duché, placés sous la direction d'une abbaye mère.

À l'ouest de la péninsule, aucune donnée publiée ne montre actuellement une production sidérurgique qui soit de grande ampleur. Cependant, l'implantation quelques siècles plus tard des premiers hauts fourneaux dans certains secteurs semble montrer que la ressource en fer était bien connue et que probablement ces minerais ont été exploités antérieurement. De même, quelques rares textes en lien avec la seigneurie de Rohan semblent indiquer que de nombreux petits établissements sidérurgiques étaient en activité dans les forêts de Quénécan, Poulancre et Loudéac⁵⁰ avant la mise en œuvre des hauts fourneaux. Seules des prospections sur ces secteurs permettraient de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Une connaissance de l'activité grâce aux textes anciens

Aux XII^e et XIII^e siècles, la rencontre de deux phénomènes, à savoir la poussée de l'activité métallurgique encouragée par les seigneurs (notamment dans la région de Châteaubriant) et la multiplication des fondations de prieurés, aboutit à des donations particulières⁵¹. En effet, les fondations de ces prieurés furent étroitement liées à l'activité métallurgique puisqu'elles étaient financées en partie par des dons de rentes prélevées sur une forge seigneuriale ou encore par le don d'une forge, en tant qu'unité artisanale⁵². Par exemple, l'abbaye de Saint-Sulpice-la-Forêt possédait le prieuré de Saint-Samson de Telhouët en forêt de Brécélien (actuellement forêt de Paimpont), dont la création remonte du début du XII^e siècle⁵³. Ce prieuré se situant à proximité des ferriers médiévaux du Vert-Pignon et de Péronnette (**Figure 9**), on peut légitimement se poser la question du lien qui pouvait exister entre eux. D'autant que les dernières datations obtenues sur le ferrier de Trécélien proposent un démarrage de l'activité entre 1154 et 1287⁵⁴. L'abbaye possédait également le prieuré de Saint-Malo-de-Teillay en forêt de Teillay dont la fondation, au XII^e siècle, avait été permise par le seigneur de Châteaubriant et qui avait la jouissance de

⁴⁹ HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*, p. 59.

⁵⁰ ANDRIEUX, Jean-Yves, *Forges et hauts fourneaux en Bretagne du XVII^e au XIX^e siècle. Côtes-du-Nord*, Nantes, éd. CID, 1987.

⁵¹ HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*, p. 60.

⁵² *Ibid.*, p. 62-64.

⁵³ HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de Brécélien... », *loc. cit.*, p. 18.

⁵⁴ OILLIC, Jean-Charles, *Bilan d'activité du PCR « Brécélien »...*, *loc. cit.*, p. 17.

la forge à perpétuité⁵⁵. Cette forge, affermée, fonctionna pendant près de quatre siècles (avec quelques interruptions) jusqu'en 1534. Les religieuses permettaient à des forgerons de bénéficier, moyennant une rente, du droit qu'elles avaient de prendre du bois de feu sur des affouages que leur concédait le seigneur. Un forgeron, appelé fermier de forge, prenait en main celle-ci le temps d'un bail qui couvrait moins d'un an (de septembre à juillet) ; en échange de quoi, il versait au prieuré une somme d'argent convenue. Ces fermiers de forge étaient de véritables techniciens qui appartenaient à des familles de forgerons installées dans la baronnie depuis plus d'un siècle et qui employaient des ouvriers aux différentes tâches. Une fois que le forgeron avait payé le montant de la ferme à la prieure et les salaires aux ouvriers, c'est à lui que revenaient les bénéfices de la vente du métal. Le prieuré n'avait aucun droit de regard sur l'écoulement de la production de la forge⁵⁶. Autre exemple : en 1226, Aufroy, seigneur de Sion, fonda une chapellenie dans sa forêt de Domnaiche (Loire-Atlantique), desservie par deux religieux, dépendante de l'abbaye augustinienne de La Roë (forêt de Craon en Anjou) et appelée prieuré de Brillangault. Aufroy pouvait bénéficier chaque année des revenus de la forge. Enfin, le cartulaire de Saint-Florent de Saumur (1146), mentionne déjà les forges de La Poitevinière et de La Hunaudière, cette dernière située au nord de la forêt de Domnaiche⁵⁷, forges qui sont bien connues pour les époques postérieures.

Les seigneurs laïcs pouvaient également contrôler les forges et garder le bénéfice de leur production. Ainsi, la présence dans le conseil du seigneur Guillaume I^{er} de La Guerche, d'un chevalier nommé *Robertus de Forgiis*, vivant à Forges-la-Forêt en bordure de la forêt de La Guerche, est attestée au début du XII^e siècle⁵⁸. À un kilomètre au nord de l'actuelle église de Forges-la-Forêt, existe un village médiéval déserté, nommé « Le Masse », fossilisé dans la forêt. C'est un ensemble complexe entouré d'une enceinte de terre, comportant des plates-formes d'habitat, des restes de sépultures en coffre et une motte aménagée au milieu d'un marais. C'est très probablement là que résidait *Robertus de Forgiis*. Le site du « Masse » correspond probablement au premier village de Forges, où vécurent sans doute des forestiers, des charbonniers et des forgerons, et ce, certainement depuis bien avant le XII^e siècle, comme en témoigne la présence de nombreux fragments de tuiles gallo-romaines⁵⁹. En parallèle, afin de préserver les bois, la régie forestière était déjà très stricte au XIII^e siècle. Les seigneurs laïcs voulaient assurer une rente fixe à perpétuité aux prieurés tout en gardant la liberté de supprimer ces forges au cas où les forêts auraient été menacées de surexploitation (auquel cas la rente pouvait être reportée sur une autre activité). Il est clair qu'en aucun cas, ces forges ne sont devenues des forges monastiques, les moines n'intervenant jamais dans leur fonctionnement.

Les vestiges des activités métallurgiques découverts en prospection et lors de fouille

Nous constatons donc que l'activité métallurgique à l'est de la péninsule a été bien réelle et même probablement de grande ampleur. Afin de compléter ces données textuelles, des prospections avec relevés de terrain ont été réalisées dans les forêts de

⁵⁵ HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*, p. 62.

⁵⁶ *Ibid.*, p. 66.

⁵⁷ ANDRIEUX, Jean-Yves, « La métallurgie en Bretagne. Forges et hauts fourneaux du Moyen-Âge à nos jours », *Ar Men*, 1988, n° 18, p. 5.

⁵⁸ MEURET, Jean-Claude, « Le paysage métallurgique minier ancien... », *loc. cit.*, p. 152.

⁵⁹ *Ibid.*

Juigné, Teillay et Domnaiche, qui ont révélé l'existence d'amas de scories⁶⁰. Cependant, il est difficile au cours de prospections de faire la différence entre des amas qui ont pu être formés à cette période et ceux qui auraient pu être produits plus précocement ou plus tardivement. En forêt de Domnaiche, une datation radiocarbone réalisée sur un charbon pris au sommet de l'un de ces amas a donné une période plus tardive, mais cela ne date pas pour autant le début de l'activité sur ces sites. Jusqu'à maintenant, aucune étude paléo-métallurgique n'a été réalisée sur ces ferriers, si bien que seules les scories issues du sommet de ces amas ont pu être observées. Il s'agit de scories écoulées à succession de cordons qui ont la particularité d'être assez vacuolaires. Des sondages seraient nécessaires afin de voir si celles situées à la base des amas et pouvant correspondre à une date précoce d'activité présentent les mêmes caractéristiques.

Toujours dans la partie est de la péninsule, sur la commune de Saint-Ganton (sud de l'Ille-et-Vilaine), de nombreux ferriers ont été repérés en prospection. Pour ces zones, il n'y a pas de mentions textuelles anciennes liées à l'activité métallurgique mais les données de terrain comblent cette lacune. Il s'agit majoritairement de sites de volume assez modeste avec un étalement du ferrier sur quelques mètres. Les scories présentent plusieurs morphologies allant de la succession de petits cordons bien individualisés à des plaques aplaties dans lesquelles les cordons se sont fondus les uns dans les autres (**Figure 7**). De nombreuses scories à l'aspect vacuolaire prononcé se différencient assez nettement des scories écoulées à cordon dense plutôt caractéristiques de la période romaine. Un ferrier de cette commune, situé dans le bois de la Boissière et présentant une taille exceptionnelle (80 x 100 m), a été attribué dans un premier temps à la période gallo-romaine, du fait de son ampleur et de la proximité immédiate d'un *vicus*. Une datation par radiocarbone confirme une production médiévale (entre 1220 et 1268 après J.C) qui avait été déjà pressentie par L. Davy lorsqu'il avait découvert un fond de vase comportant des traces de vernissage et une monnaie de Jean I^{er} dit Le Roux, duc de Bretagne (1237-1286)⁶¹. Cette typologie particulière de scories peut être rapprochée de celle décrite par Marc Leroy et *al.* pour les ferriers du bas Moyen Âge de Lorraine⁶². La fouille de l'un d'eux (Fond de Monvaux à Maron) a permis de reconnaître le four : un bas fourneau à paroi très épaisse mais dont l'intérieur de la cuve est assez réduit (60 × 60 cm). Seule la fouille de ces sites du sud-est de Rennes permettrait de voir s'il existe effectivement une proximité technique entre ces deux provinces de production.

Figure 7 - Exemple de scories des ateliers de réduction de Saint-Ganton

En forêt de Paimpont, les travaux de N. Girault, J.-B. Vivet et J.-Ch. Oillac sur les ferriers médiévaux ont permis de montrer un étalement dans le temps de l'activité métallurgique. Ainsi, un des amas du site de Trécélien propose un début d'activité au XIII^e siècle⁶³. Il semblerait, d'après leurs travaux, que l'ensemble des scories qui le constituent, des couches inférieures jusqu'au sommet, soit typologiquement identique, à

⁶⁰ TINEVEZ, Jean-Yves, « Prospection des vestiges de l'activité métallurgique en forêt de Juigné », dans BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant*, Paris, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, coll. « Cahiers de l'Inventaire », 1984, vol. 3, p. 21-40 ; MEURET, Jean-Claude, « Archéologie, paysage et histoire d'une forêt du Néolithique à nos jours... », *loc. cit.*

⁶¹ DAVY, L., « Étude des scories des forges anciennes éparses sur le sol de l'Anjou, de la Bretagne et de la Mayenne, pour servir à l'histoire de la métallurgie », *Bulletin et Comptes rendus Mensuels de la Société de l'Industrie Minérale*, 1913, n° 3, p. 558.

⁶² LEROY, Marc, MERLUZZO, Paul et LE CARLIER DE VESLUD, Cécile, *Archéologie du fer en Lorraine...*, *op. cit.*, p. 323.

savoir des scories qualifiées de spongieuses, que l'on rencontre également dans les amas plus tardifs. Ce sont des scories écoulées dont les cordons d'écoulement se sont fondus les uns dans les autres, avec présence d'une très grande quantité de vacuoles provoquant souvent l'éclatement de la surface supérieure (**Figure 8**). Leur autre particularité est de posséder une moindre quantité de fer. En effet, tandis que les scories écoulées vacuolaires de réduction en bas fourneau de la région sud-est de Rennes montrent une teneur moyenne en fer de 70 % (comme c'est le cas pour les scories de Saint-Ganton dont la typologie est très proche de celles des forêts de Teillay et de Domnaiche), les scories spongieuses de Paimpont ont une teneur en fer qui n'excède pas 55 %. Ces chiffres indiquent un fonctionnement des fours différent de ceux des autres régions, au sud-est de Rennes notamment, avec un rendement plus important. Ceci est peut-être lié à la forme des fours, qui est très particulière dans cette zone. Il s'agit d'aménagements de taille très modeste comportant deux compartiments bien distincts : le premier est un foyer ovale (environ 30 cm de diamètre) excavé dans le sol de manière dissymétrique avec une paroi rectiligne verticale d'un côté (celle qui correspond à l'emplacement du soufflet) et une paroi en arc de cercle s'évasant vers l'extérieur⁶⁴. Il ne semble pas que l'on excède 70-80 cm de hauteur pour ces fours. Le second compartiment est une partie basse formée par un encadrement rectangulaire de pierres allongées sur deux ou trois côtés, délimitant une chambre dont le fond est presque plat et où l'on fait couler la scorie. Le minerai est employé ici sous forme de poudre. L'opération de réduction devait se faire très rapidement et la masse de fer devait être de taille réduite. Ces structures de chauffe sont de facture rudimentaire, construites avec des matériaux que l'on va chercher dans l'environnement proche. La petite dimension des fours est étonnante face aux volumes de scories produits (**Figure 8**), qui laissent penser à plusieurs milliers ou dizaines de milliers d'opérations menées. Ceci suggère une répétition de phases destruction/reconstruction des fours aux mêmes endroits. L'étape de la post-réduction a également été reconnue avec la présence de scories en forme de culot et de plusieurs enclumes en grès environnées de battitures. Il s'agirait ici de demi-produits (masses brutes de réduction compactées et mises en forme en « lingots ») qui seraient sortis du site, car aucune activité de forge d'élaboration n'a été découverte sur les secteurs fouillés.

Figure 8 - Exemple de scorie spongieuse provenant du site de Péronnette

Continuité technique et/ou innovation technologique ?

Les fours de réduction de la forêt de Paimpont ont une dimension et une configuration particulièrement remarquables qui, bien que plus modestes, rappellent dans leur forme les fours catalans ou corses. Ils ont permis de produire des scories typologiquement caractéristiques, très bulleuses, qualifiées de scories spongieuses dont le type est connu dans d'autres régions françaises, notamment en Lorraine. Ces fours découverts en fouille n'ont cependant pas la même morphologie que les fours lorrains

⁶³ VIVET, Jean-Bernard et GIRAULT, Nicolas, « Le site médiéval de Trécélien (Paimpont, 35) : Premier jalon d'une lignée technique inédite de production du fer », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 66.

⁶⁴ VIVET, Jean-Bernard, « Les ateliers du Vert Pignon en Paimpont (35) : mise au jour d'installations exceptionnelles éclairant une chaîne de production médiévale du fer », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, col. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 83-93.

proches de bas fourneaux classiques par leur forme et leur dimension⁶⁵. Le type de four à deux caissons serait-il alors spécifique à la Bretagne ? La réponse n'est pas évidente. En effet, les scories de même époque trouvées dans les autres forêts, celle de Domnaiche notamment, n'ont pas ce caractère spongieux bien qu'elles soient malgré tout bulleuses comme les scories des époques précédentes. L'absence de fouille nous empêchant de statuer sur cette question, les fours de réduction de ces zones n'ont donc jamais été observés. De même, les scories du grand ferrier de Saint-Ganton (Ille-et-Vilaine), même si elles sont bulleuses, ne présentent pas la même typologie que les scories spongieuses de la forêt de Paimpont. Il est fort probable que les fours produisant ces déchets aient été de facture plus « classique ». On peut néanmoins se poser ici la question de la tradition métallurgique. En effet, en forêt de Domnaiche, de Teillay ou de Juigné, la production de minerai de fer semble avoir été continue, ou presque, durant le Moyen Âge. Il se peut donc que le fer ait été produit selon une méthode mise au point des siècles plus tôt, sans réelle innovation technique. En forêt de Paimpont, l'activité métallurgique semble être très peu développée au haut Moyen Âge, avant de redémarrer au second Moyen Âge⁶⁶. Il n'y aurait donc pas de tradition métallurgique qui se perpétuerait au sein de communautés de forgerons. On peut donc imaginer l'arrivée de nouveaux forgerons dans la région de Paimpont, apportant avec eux un nouveau procédé en totale rupture technologique par rapport aux secteurs voisins.

Le Moyen Âge tardif : une nette augmentation de la production

Durant cette période, une baisse de la production, imputable aussi bien à la guerre de Cent Ans qu'à l'épidémie de peste, est communément admise. Cependant, la guerre de Cent Ans n'a pas concerné l'ensemble du territoire, et la peste l'a touché plus faiblement que d'autres régions. Ainsi, la production n'a probablement pas été arrêtée, loin de là, comme nous le verrons. Au XIV^e siècle, il s'agit de reconstruire le pays et la demande en fer est grande ; le développement des forges est alors important. Malgré une chute démographique au début du XV^e siècle, la Bretagne de la fin du Moyen Âge connaît un essor économique et sa neutralité dans les conflits opposant France et Angleterre lui vaut de devenir une zone d'échange commercial entre les deux rivaux. La région des Marches est alors le lieu de travaux de fortification, tant du côté breton que du côté français, travaux qui conduisent à une demande accrue en fer que l'apparition, au XV^e siècle, des canons en fer forgé contribue à accentuer. En 1532, l'intégration de la Bretagne au Royaume est entérinée par la signature du pacte d'Union entre la couronne de France et les États de Bretagne.

L'apport des textes

La très grande majorité des renseignements que nous possédons sur la métallurgie de cette époque concerne la forêt de Paimpont et la frontière franco-bretonne. Cette zone de contact, en temps de paix, même précaire, redevenait rapidement le théâtre de prédilection d'un commerce transfrontalier, c'est-à-dire d'échanges interrégionaux entre la Bretagne, le Maine, la Normandie, l'Anjou et le Poitou. C'était le lieu de passage obligé d'une quantité très importante de produits variés. D'après les nombreux témoignages qui

⁶⁵ LEROY, Marc, MERLUZZO, Paul et LE CARLIER DE VESLUD, Cécile, *Archéologie du fer en Lorraine...*, op. cit., p. 323.

⁶⁶ OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, op. cit., p. 163.

nous sont parvenus, la métallurgie n'est pas en reste dans ce développement productif et commercial⁶⁷.

Les forêts étaient au centre de l'activité sidérurgique car les forges de réduction étaient installées en milieu intra et péri-forestier, au contact direct des ressources en charbon de bois, plutôt que sur les lieux d'extraction du minerai⁶⁸. La plupart des forgerons habitaient avec leurs familles dans des villages situés à l'orée de la forêt ou dans des clairières. Leurs habitations sont décrites à partir de 1500 comme étant des loges, c'est-à-dire des cabanes en bois. Les forgerons n'installaient pas leurs fours à l'intérieur du village, mais sur des aires de travail au cœur de la forêt⁶⁹. Pour exemple, la paroisse de Forges-la-Forêt (35) située à la lisière sud de la forêt de La Guerche est implantée sur l'ancien atelier métallurgique. Aujourd'hui, plus aucune parcelle n'est boisée, mais un certain nombre d'entre elles, occupées maintenant par le bourg, contiennent sur presque toute leur surface et sur 20 à 30 cm d'épaisseur de grosses quantités de scories, de charbon de bois et de cailloutis qui donnent au sol une couleur noire. Elles s'étendent sur presque deux hectares et portent les noms de « Ferrière » ou « Forget »⁷⁰. L'approvisionnement en minerai de ces fours se faisait à partir de minières que l'on voit encore très bien en forêt, creusées à partir des flancs de vallée. Le plus important de ces sites miniers se situe dans le Bois-Lambert où l'on voit de longues tranchées de 25 à 30 m, alignées le long du filon, profondes de 2 à 5 m et prolongées vers le ruisseau du Rutte par des plates-formes de déblais ; on distingue encore les petits fossés qui évacuaient l'eau vers le ruisseau. Au bord de celui-ci, un peu en aval, ont été aménagés des trous d'eau de 5 à 10 m de diamètre qui peuvent avoir servi de lavoirs à minerai. À la base de la couche des ferriers de Forges-la-Forêt, quelques tessons de céramique ornée de cannelures et à col à bandeau large que l'on date du xv^e siècle ont été recueillis⁷¹. Les scories de ce secteur n'ayant pas encore été observées, nous ignorons si elles présentent une typologie comparable à celles des forêts de Domnaiche et de Teillay. Une datation radiocarbone réalisée sur un charbon pris dans le sédiment charbonneux englobant les scories en partie supérieure d'un ferrier de la forêt de Domnaiche indique une fin de l'activité entre 1300 et 1410 après J.-C.

Les textes qui nous sont parvenus nous renseignent sur l'organisation du travail minier et métallurgique. Les minières, le plus souvent de taille modeste, étaient nombreuses, éparpillées sous le couvert forestier ; leurs rendements étaient difficilement contrôlables. L'exploitation était étroitement surveillée par un officier de la seigneurie, le « garde de la myne⁷² ».

Les textes mentionnent des ateliers dans plusieurs forêts de la région (**Figure 9**). Ainsi, en 1460, la forge du prieuré de Saint-Malo-de-Teillay est appelée « forge grossière à fere fer⁷³ ». Ce terme de forge grossière est employé pour qualifier une unité artisanale de réduction de minerai de fer, avec bas fourneau et foyer de martelage, en opposition aux forges dans lesquelles étaient forgés des objets de fer sans réduction du minerai de

⁶⁷ CINTRÉ, René, « Activités économiques dans les marches de Bretagne aux XIV^e et XV^e siècles », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1994, vol. 101, n° 4, p. 12.

⁶⁸ MEURET, Jean-Claude, « Le paysage métallurgique minier ancien... », *loc. cit.*, p. 153.

⁶⁹ HERBAUT, Claudie, « Exploitation minière en forêt de Quintin... », *loc. cit.*, p. 94.

⁷⁰ MEURET, Jean-Claude, « Le paysage métallurgique minier ancien... », *loc. cit.*, p. 151.

⁷¹ *Ibid.*, p. 152.

⁷² HERBAUT, Claudie, « Exploitation minière en forêt de Quintin... », *loc. cit.*, p. 97.

⁷³ HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*, p. 66.

fer⁷⁴. Il n'existe aucun indice d'ordre textuel ou archéologique évoquant des installations hydrauliques associées. Dans chaque forêt, ce sont plusieurs de ces unités de production qui fonctionnent durant la même période. Ainsi, à La Poitevinière, une dizaine de forgerons sont recensés, ce qui implique l'existence d'une dizaine d'ateliers⁷⁵. En forêt de Juigné, la prospection a montré la présence de ferriers de différents types, ce qui fait supposer une activité métallurgique intense à cette époque. Les forges de Pouancé auraient été créées vers 1400 et auraient subsisté durant quatre siècles⁷⁶. Cette création précoce implique l'usage de bas fourneaux, avant que cette région ne bénéficie d'une évolution technique et de l'apparition sans doute précoce d'un haut fourneau.

Peu de données sont disponibles pour les forges situées en basse Bretagne. Des textes relatant l'implantation de hauts fourneaux précoces semblent indiquer que de nombreux petits établissements sidérurgiques étaient en activité dans les forêts de Quénécan, Poulancré et Loudéac ainsi qu'à Quintin⁷⁷. Un texte de 1479 indique la nature de la production des forges de Loudéac situées dans la forêt du même nom : « on y ouvre le fer avec compétence et qu'on fabrique poeles, platz de fer, fers de charrües, broches, landiers et leschefrais, de quoy grand part du pais de Bretagne en estourny au grand bien d'iceluy ». En 1460, cette forêt aurait comporté 30 « grosses forges ». Ainsi donc, ces textes semblent indiquer que la nature de la production de cette région est plus liée à la vie quotidienne qu'à la production militaire. Actuellement, aucune prospection permettant de constater la présence de ferriers et de les dater n'a été réalisée dans cette forêt.

L'apport de l'archéologie dans la connaissance des sites de réduction

Les forges de la forêt de Brécilien (Paimpont) sont nettement mieux connues, par les textes et par des fouilles récentes qui ont mis au jour les vestiges d'ateliers sur les sites de Vert-Pignon, Trécélien et de Péronnette⁷⁸. Ainsi, au début du xv^e siècle, « les revenus de la forêt de Brécilien » (séries d'actes relatifs aux comptes tenus par le seigneur de Laval, propriétaire de la forêt), signalent pour 1419 et 1420 la présence de « forges grossières estantes esdictes forests ». Le dépouillement de ces comptes pour les deux années mentionnées permet de dénombrer au moins cinq forges et les travaux de prospection permettent de porter ce nombre à onze⁷⁹, localisées dans la « hauste forest » ou « forest de Loheac » (l'actuelle basse forêt)⁸⁰. Quelques années plus tard, ce sont les comptes des villes de Nantes, Vitré et Rennes qui, de 1465 à 1524, témoignent de l'existence d'une dizaine de forgerons situés à Brécilien ou à Plélan-le-Grand et

⁷⁴ *Ibid.*

⁷⁵ HERBAUT, Claudie, « La métallurgie de la Châtellenie de La Poitevinière... », *loc. cit.*

⁷⁶ PUZENAT, L., *La sidérurgie armoricaine*, Rennes, Mémoires de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 1939, p. 39.

⁷⁷ ANDRIEUX, Jean-Yves, *Forges et hauts fourneaux en Bretagne du xvii^e au xix^e siècle. Côtes-du-Nord...*, *op. cit.*

⁷⁸ VIVET, Jean-Bernard, « Les ateliers du Vert Pignon en Paimpont (35)... », *loc. cit.* ; VIVET, Jean-Bernard et GIRAULT, Nicolas, « Le site médiéval de Trécélien (Paimpont, 35)... », *loc. cit.* ; GIRAULT, Nicolas, « Premier sondages sur le ferrier médiéval de Péronnette (Paimpont, 35)... », *loc. cit.*

⁷⁹ VIVET, Jean-Bernard et GIRAULT, Nicolas, « Le site médiéval de Trécélien (Paimpont, 35)... », *loc. cit.*, p. 23.

⁸⁰ HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de « Brécilien »... », *loc. cit.*, p. 21.

fournissant des produits élaborés⁸¹. Les scories particulières, très spongieuses, ainsi que les structures de chauffe ont été décrites dans les paragraphes consacrés au milieu du Moyen Âge. L'évaluation des volumes de scories pour l'ensemble de ces sites, associée au calcul de rendement, nous permet de dire que ce sont plusieurs dizaines de milliers d'opérations de réduction qui auraient été effectuées sur ces ateliers.

Les sites métallurgiques de la forêt de Brécélien (Paimpont) sont implantés au centre de clairières attribuables à des défrichements médiévaux, notamment vers l'ouest, et surtout vers le nord, où l'on devine des excroissances caractérisées par des hameaux aux toponymes révélateurs. Ainsi, en lisière d'une première ellipse figurent les « Forges de Telhouët ». La superposition de deux activités, défrichements et métallurgie, est également assez remarquable pour le cas de La Chênais. Ces travaux dénotent-ils là une volonté de seigneurs laïcs ou le fait de religieux ? Les augustins, notamment, auraient-ils joué ici le rôle que des cisterciens ont eu ailleurs, aux abbayes de Pontigny, Vaultuisant, Citeaux ou Clairvaux⁸² ? On remarque en effet que deux des trois clairières de la forêt de Paimpont où les vestiges métallurgiques sont les plus nombreux ont été occupées par un prieuré⁸³. Ces questions demeurent actuellement sans réponse.

Figure 9 - Localisation des sites de réduction et de forge connus pour le second Moyen Âge

Des données succinctes concernant les forges d'élaboration des objets

À ce jour, aucune forge d'élaboration n'a été découverte dans le secteur de Paimpont. Cependant, nous savons qu'un ou plusieurs ateliers de ce type existaient puisque les forgerons de Brécélien étaient renommés dans la fabrication des bouches à feu, des carreaux d'arbalète et des armes d'hast, armement commandé par les villes en vue de la guerre franco-bretonne⁸⁴. Les forges grossières de la forêt de Paimpont n'apparaissent plus dans les comptes après la première moitié du xv^e siècle⁸⁵. En effet, entre 1487 et 1524, les villes s'équipent en boulets à canon en fonte mais les forgerons de Brécélien semblent se désintéresser de ce marché car une soufflerie hydraulique est nécessaire pour le fonctionnement des hauts fourneaux ; ceci n'existerait alors pas en

⁸¹ DUVAL, Jean-François, « Métallurgie et défrichement en forêt de Paimpont au Moyen Âge », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 2000, vol. 107, n° 3, p. 10 ; HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de « Brécélien »... », *loc. cit.*, p. 21.

⁸² BENOIT, Paul et BERTHIER, Karine, « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique d'après le cas des monastères cisterciens de Bourgogne, Champagne et Franche-Comté », dans BECK, Patrick (dir.), *L'innovation technique au Moyen Âge. Actes du vi^e congrès international d'archéologie médiévale (1-5 octobre 1996, Dijon, Mont-Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard)*, Caen / Paris, Société d'Archéologie Médiévale / Errance, 1998, p. 59.

⁸³ DUVAL, Jean-François, « Métallurgie et défrichement en forêt de Paimpont... », *loc. cit.*, p. 200.

⁸⁴ HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de " Brécélien "... », *loc. cit.*, p. 21.

⁸⁵ VIVET, Jean-Bernard, BACHETER, Xavier, GIRAULT, Nicolas, HERBAUT, Claudie, LARCHER, Guy et OILLIC, Jean-Charles, « Une première installation de Grandes Forges sur le massif de Paimpont : le site du Pas du Houx », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, col. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 211.

forêt de Brécélien⁸⁶. Nous verrons pourtant plus loin qu'un haut fourneau a existé très tôt dans cette forêt.

Seules deux forges d'élaboration de cette époque ont été fouillées dans l'optique d'une étude paléométallurgique : il s'agit d'abord du site de la Fosse Poulain à Brielles (Ille-et-Vilaine) dont on n'a retrouvé que les fosses de rejet datées du xv^e siècle, et de la forge du château du Guildo (Côtes-d'Armor) datée également du xv^e, époque qui correspond à la date de destruction du château⁸⁷.

À Brielles, les déchets métallurgiques (scories en culots, battitures et fragments de parois) ont été rejetés dans deux fosses ovales peu profondes. Les structures de combustion n'ont pas été retrouvées car elles étaient sans doute localisées en dehors de l'emprise de la fouille préventive. Face à la quantité imposante de déchets, seul un quart des fosses a été prélevé, ce qui correspond tout de même à 200 kg de déchets, tous types confondus consistant essentiellement en scories en culot (58 %), majoritairement très denses (**Figure 10**). Seul 1,6 % de ces culots correspond à de la scorie argilo-sableuse dont la masse varie de 100 g à 2 kg, avec une moyenne de 750 g. Le reste de la production de déchets est représenté par des scories informes (39,9 %) en grande partie rouillées et concrétionnées. Les parois constituent 3,4 % des déchets. Les scories sont donc dans l'ensemble très riches en fer, et leur observation microscopique indique que ce sont essentiellement les chutes métalliques qui expliquent cela. Nous pouvons considérer que c'est presque une tonne de fer qui a été perdue dans les déchets (quasiment la totalité de leur masse), ce qui laisse penser qu'à cette époque le fer était suffisamment abondant pour que les forgerons ne cherchent pas à éviter les trop grandes pertes.

Figure 10 - Exemples de scorie de forge en culot (à gauche) et de scorie informe (à droite) provenant de l'atelier de Brielles-La Fosse Poulain

Ceci ne se retrouve pas avec la forge du château du Guildo. L'étude archéométrique des déchets retrouvés dans l'atelier montre une perte en métal qui peut certes être considérée comme importante (5,6 % de la totalité des déchets), mais très loin derrière celle qui a été observée sur le site de Brielles. Dans cet atelier, que l'on pense être une forge maréchale, avec une production essentiellement tournée vers la fabrication des fers à chevaux, l'emploi d'ajouts argilo-sableux est très important (72,9 % en masse). Ceci implique donc que le fer, même s'il est abondant à cette époque, est travaillé dans cet atelier avec une certaine précaution afin de limiter les pertes. La faible quantité de déchets retrouvés dans l'atelier fouillé, rapportée à la durée de vie du château, indique que les déchets ont été régulièrement évacués à l'extérieur. L'estimation de la production n'est donc pas possible ici.

Le xv^e siècle : l'apparition des premiers hauts fourneaux et la persistance de la filière directe

L'apparition des hauts fourneaux

Les xvi^e et xvii^e siècles constituent un « âge d'or » de la Bretagne⁸⁸, la fin de la guerre franco-bretonne marquant le retour de la paix. Grâce à la situation centrale de la région dans le commerce maritime, la prospérité s'accroît et c'est dans ce contexte que

⁸⁶ HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de " Brécélien "... », *loc. cit.*, p. 21.

⁸⁷ LE BOULANGER, Françoise, *Brielles (Ille-et-Vilaine), La Fosse-Poulain (Tracé de la LGV Le Mans-Rennes, secteur 4) Habitat et activité artisanale à partir de la fin du Moyen Âge*, Rennes, INRAP Grand Ouest, 2013, p. 57 ; BEUCHET Laurent, « Créhen (Côtes d'Armor). Château du Guildo », *Archéologie médiévale*, 2011, vol. 41, p. 272.

vont s'installer les premiers hauts fourneaux dont l'apparition implique, en Bretagne comme dans les autres régions françaises, un apport technique venu de l'extérieur⁸⁹. Les hauts fourneaux s'établissent à proximité des cours d'eau du fait de la nécessité d'employer de l'énergie hydraulique pour le fonctionnement des soufflets, et à proximité des secteurs miniers pour éviter un coût de transport trop important. Et comme ils fonctionnent tous au charbon de bois, ils doivent être à proximité de forêts. Ceci a pour conséquence le fait que le nombre de grosses forges (nom sous lesquels apparaissent les hauts fourneaux dans les documents anciens) simultanément en activité ne peut être que limité car les emplacements idéaux ne sont pas légion.

C. Herbaut mentionne l'existence de quatre forges à l'est du Massif armoricain depuis la fin du xv^e siècle jusque dans la seconde moitié du xvi^e siècle⁹⁰. Ces établissements sont, dans l'ordre chronologique de leur apparition : la fonderie du Gué-aux-Biches à Saint-Gildas-des-Bois (Loire-Atlantique), spécialisée dans la fabrication de boulets de canon dès 1487-1488 pour alimenter l'artillerie des villes de Nantes et de Rennes, les forges de La Poitevinière et de La Provostière, sur la commune actuelle de Riaillé (Loire-Atlantique), dont le premier bail connu remonte à 1512 et qui possédaient un haut fourneau et une affinerie, la forge de La Hardouinaye sur la commune de Saint-Launeuc (Côtes-d'Armor)⁹¹. Enfin, la forge d'Avaugour, sur la commune de Saint-Pever (Côtes-d'Armor), est créée par le baron d'Avaugour sur ses terres vers 1552. Nous pouvons aussi en citer d'autres fonctionnant à cette époque, telles la forge de Martigné-Ferchaud qui existait dès 1560, ou encore celles de Pouancé qui ont vu également apparaître un petit haut fourneau haut de six à sept mètres dont la production consistait essentiellement en plaques de fonte marquées aux armes des seigneurs de Pouancé, en bombes et boulets pour l'armée, en tiges de fer et en clous⁹².

Un peu plus à l'ouest existe un haut fourneau précoce, non mentionné dans les publications citées ci-dessus. Il s'agit du site du Pas-du-Houx, en forêt de Paimpont (35). Des laitiers de haut fourneau sont amassés en bas de la chaussée de l'étang (**Figure 11**) et une datation radiocarbone sur un charbon emprisonné dans un de ces laitiers a fourni une date située entre 1419 et 1533⁹³. Actuellement, aucune fouille permettant d'étudier les structures encore en place n'est engagée sur le site. Il s'agit du seul site métallurgique de cette époque présentant des preuves archéologiques de son existence, sans qu'aucun texte y fasse référence. Une fouille serait l'occasion de connaître la nature et l'organisation des ateliers de cette époque.

⁸⁸ ANDRIEUX, Jean-Yves, « La métallurgie en Bretagne. Forges et hauts fourneaux du Moyen-Âge à nos jours... », *loc. cit.*

⁸⁹ BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant*, coll. « Cahiers de l'Inventaire », n° 3, 1984.

⁹⁰ HERBAUT, Claudie, « Le renouvellement de la sidérurgie bretonne à la Renaissance... », *loc. cit.*, p. 162.

⁹¹ ANDRIEUX, Jean-Yves, « La métallurgie en Bretagne. Forges et hauts fourneaux du Moyen-âge à nos jours... », *loc. cit.*, p. 6.

⁹² MEURET, Jean-Claude, « Le paysage métallurgique minier ancien au sud-est de l'Ille-et-Vilaine... », *loc. cit.* ; CINTRÉ, René, « Activités économiques dans les marches de Bretagne... », *loc. cit.*, p. 12.

⁹³ VIVET, Jean-Bernard, BACHETER, Xavier, GIRAULT, Nicolas, HERBAUT, Claudie, LARCHER, Guy et OILLIC, Jean-Charles, « Une première installation de Grandes Forges sur le massif de Paimpont : le site du Pas du Houx... », *loc. cit.*, p. 207.

Figure 11 -Exemples de laitiers provenant de la chaussée du Pas-de-Houx (Paimpont)

Figure 12 - Localisation des grosses forges mentionnées au XVI^e siècle pouvant correspondre à des hauts fourneaux

Pour l'ouest du Massif (**Figure 12**), de grosses forges sont mentionnées en 1608 et 1613, dans le règlement forestier établi par Henry de Rohan dans les forêts de sa vicomté (Poulancré, Quénécan, Branquilly, Lanouée, Loudéac). Ces hauts fourneaux étaient probablement installés depuis au moins la fin du XVI^e siècle⁹⁴. Néanmoins, aucune prospection archéométallurgique n'a été effectuée dans ces forêts pour y rechercher des déchets (laitiers) produits par ces installations et qui confirmeraient leur présence. Par contre, des laitiers trouvés dans le Bois de Bodriec à Loqueffret (29) et renfermant des charbons ont permis de rendre compte de l'activité d'un haut fourneau au XVI^e siècle⁹⁵ alors qu'il n'est mentionné dans aucun texte. Ces hauts fourneaux ont nécessité l'installation de chaussées pour la mise en place de plans d'eau les alimentant en énergie hydraulique. Il s'agit là d'une configuration classique d'aménagement⁹⁶. La forge d'Avaugour a, quant à elle, été installée avant 1554 sur les rives du Trieux (commune de Plésidy, Côtes-d'Armor), cours d'eau suffisamment puissant pour faire fonctionner les machineries hydrauliques nécessaires au fonctionnement du lavoir à minerai, du haut fourneau, de l'affinerie et de la forge.⁹⁷ Des difficultés juridiques inhérentes à sa création ont conduit à la production de documents nous permettant de connaître l'organisation du travail des différents membres du personnel : nombre, types de tâches, lieux de vie (sur place ou aux alentours)⁹⁸. Sont également mentionnées les activités annexes comme l'approvisionnement en minerai (de Bourbriac en partie), en charbon de bois (issu des forêts alentours, Avaugour et Léard), et en coquilles qui étaient ramassées sur la côte car elles permettaient la production de castine, produit nécessaire au processus sidérurgique. Nous apprenons également que la forge ne fonctionnait pas en continu : à la fin de l'été 1560, la campagne de fonte dura dix-sept jours, en trois « fondées » et demie qui produisirent vingt-huit gueuses et cent cinquante-deux pots de fonte, soit, après affinage, plus de seize mille livres de fer métal, dont la plus grande part fut vendue sous la forme de barres à des marchands de fer. La production et la vente d'objets finis (ou semi-finis) en fer forgé étaient une autre façon d'écouler le métal, en clouterie et articles de maréchalerie, des fers à chevaux essentiellement. On estime à plus de 80 % la quantité de fer forgé destinée à la fabrication de ces derniers. Il n'en demeure pas moins que c'est la vente de fer en barre qui constituait la principale production et ressource de la forge d'Avaugour en 1560⁹⁹.

Pendant la seconde moitié du XVI^e siècle, nous perdons la trace de certaines des grosses forges (Loudéac, Poitevinière, Provotière, Avaugour)¹⁰⁰ vraisemblablement à la suite des troubles engendrés par la Ligue, et il n'existe plus, au commencement du

⁹⁴ *Ibid.*, p. 211.

⁹⁵ LE QUELLEC, Vincent, *La paléométallurgie du fer dans le Porzay...*, *op. cit.*, p. 21.

⁹⁶ HERBAUT, Claudie, « Le renouvellement de la sidérurgie bretonne à la Renaissance : l'exemple de la forge d'Avaugour... », *loc. cit.*, p. 169-170.

⁹⁷ HERBAUT, Claudie, « La métallurgie de la Châtellenie de La Poitevinière... », *loc. cit.*

⁹⁸ HERBAUT, Claudie, « Le renouvellement de la sidérurgie bretonne à la Renaissance... », *loc. cit.*, p. 162-163.

⁹⁹ *Ibid.*, p. 164.

XVII^e siècle, qu'une seule forge dans la seigneurie de Rohan¹⁰¹. À la fin du XVI^e siècle apparaissent les premières ordonnances royales évoquant d'une part les recherches officielles de minerai, d'autre part la préservation de la richesse forestière. François I^{er}, comme le feront ensuite ses successeurs, se réserva le droit exclusif de concéder la permission de faire du fer. Cependant, l'histoire sidérurgique de l'ouest de la France ne s'arrête pas là car des forges sont à nouveau construites aux XVII^e, XVIII^e et XIX^e siècles relançant l'activité de production primaire du fer sur le Massif armoricain.

La persistance de l'utilisation des bas fourneaux

Cependant, nombre de forges grossières ont poursuivi leur activité dans les forêts de la région. On peut citer l'exemple de la forêt de Teillay où il est fait mention de l'arrêt des forges grossières entre 1505 et 1557. Jusqu'à sa disparition, l'établissement de Teillay reste une forge à bras, utilisant le procédé direct de réduction du minerai de fer, sans jamais adopter le haut fourneau¹⁰². À l'ouest de cette forêt, sur la commune de Saint-Ganton, un ferrier de petites dimensions a été daté de cette période. Un charbon pris dans la couche englobant les scories donne une date comprise entre 1522 et 1654 après J.C. montrant ici aussi la survivance de la filière directe alors que les premiers hauts fourneaux sont déjà en fonctionnement. Cette coexistence des deux filières de production n'est pas un fait unique. Les travaux réalisés sur la Lorraine montrent également la continuité du fonctionnement des bas fourneaux au début de la période moderne¹⁰³. De plus, l'analyse des barres métalliques utilisées dans les cathédrales gothiques montre également que l'emploi du fer issu de la filière directe a perduré pendant près de 400 ans après que les premiers fers produits par les hauts fourneaux aient commencé à être utilisés¹⁰⁴. Ainsi, la transition progressive entre les deux technologies dans l'ouest de la France, s'est opérée, semble-t-il, de manière similaire aux autres provinces françaises.

Impacts sur l'environnement

Le développement de ces activités grandes consommatrices de matériaux a eu un impact certain sur l'environnement, qu'il s'agisse de modifications topographiques majeures, d'impact sur les cours d'eau ainsi que sur les espaces boisés.

Les modifications topographiques

Elles sont liées principalement au creusement des mines et à l'abandon des amas de scories. Il est quasi-certain qu'au moment de leur activité, les mines se sont

¹⁰⁰ ANDRIEUX, Jean-Yves, « La métallurgie en Bretagne. Forges et hauts fourneaux du Moyen-âge à nos jours... », *loc. cit.*

¹⁰¹ ANDRIEUX, Jean-Yves, *Forges et hauts fourneaux en Bretagne du XVII^e au XIX^e siècle. Côtes-du-Nord...*, *op. cit.*

¹⁰² HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*, p. 67.

¹⁰³ LEROY, Marc, MERLUZZO, Paul et LE CARLIER DE VESLUD, Cécile, *Archéologie du fer en Lorraine...*, *op. cit.*, p. 327.

¹⁰⁴ L'HÉRITIER, Maxime et DILLMANN, Philippe, « Fer ou acier ? Caractérisation des alliages ferreux utilisés dans la construction des églises gothiques au Moyen Âge et à la période moderne. L'exemple de Troyes et de Rouen », dans DILLMANN, Philippe, HILAIRE-PÉREZ, Liliane et VERNA, Catherine (dir.), *L'acier en Europe avant Bessemer. Actes du colloque international, Conservatoire national des arts et métiers, Paris, les 8, 9, 10 décembre 2005*, Toulouse, CNRS-Université de Toulouse-le-Mirail, 2011, p. 276.

développées sur des terrains au moins partiellement déboisés. À la fin de leur activité, les terrains ont pu être réemployés ou alors totalement délaissés, la végétation se développant à nouveau. Par exemple, dans le Bassin parisien sur le site de Vert-Saint-Denis, les grands décapages réalisés lors des fouilles préventives ont pu mettre en évidence un secteur minier¹⁰⁵. Les terrains étaient alors totalement repris par l'agriculture. Plus près de nous, les secteurs miniers antiques situés autour du Mans étaient également recouverts par des terrains agricoles¹⁰⁶. Sur le Massif armoricain, aucun secteur minier ré-exploité pour l'agriculture n'a jusqu'alors été observé, mais cela ne signifie pas pour autant qu'il n'y en a pas. Des mines de plus faible ampleur ont pu parfaitement avoir été remblayées et les amas de stériles les accompagnant, aplanis. À l'inverse, des parcelles abandonnées ont été rencontrées. La forêt de Paimpont en est la plus impressionnante démonstration. L'exploitation du minerai s'est faite par creusement de minières à ciel ouvert : ce sont des cavités béantes pouvant faire plus de 5 mètres de profondeur qui ont été creusées. Certaines sont visibles sur plus de 100 mètres de longueur pour quelques dizaines de mètres de largeur. Le fond est parsemé d'amas de stériles de quelques mètres de hauteur parfois, donnant ainsi un paysage tourmenté de creux et de bosses. Des minières plus modestes ont également été rencontrées dans des parcelles boisées de dimensions modestes, comme c'est le cas à Plouyé (Finistère) où une minière côtoie des amas de scories à proximité d'une motte féodale.

Pour la production de l'argile nécessaire à la fabrication des fours, des cavités ont été creusées. Après la fin de leur exploitation, ces fosses ont pu être remblayées mais elles ont également pu être abandonnées ; elles se sont alors remplies d'eau et transformées en mares : beaucoup sont visibles à proximité des ateliers métallurgiques dans les forêts de Bercé et de Paimpont.

Le fonctionnement des fours sidérurgiques conduit à la production de quantités parfois très impressionnantes de déchets scorifiés. Cependant, certains ateliers médiévaux peuvent être de petites dimensions. Dans ce cas, la reprise des terrains par l'agriculture peut alors se faire de manière assez aisée, les scories étant dispersées à chaque labour. Ce peut être particulièrement le cas des ateliers du haut Moyen Âge qui ne semblent pas être très développés ; de là également, la difficulté de les identifier, la datation sur charbon devenant quasiment impossible. Il en va tout autrement des ateliers datés du second Moyen Âge. Les amas de scories produites sur la commune de Saint-Ganton ou dans les forêts de Domnaiche, Juigné ou Teillay sont véritablement impressionnants de par leurs dimensions au sol et leur hauteur, dépassant dans certains secteurs le mètre d'épaisseur. Dans la commune de Saint-Ganton, où la pression agricole est pourtant très forte, la présence d'un grand ferrier a conduit à l'abandon de la parcelle, et celle-ci s'est reboisée par la suite. Dans les trois forêts citées ci-dessus et qui existaient déjà au Moyen Âge, la présence de ces amas a dû également aider à la préservation des boisements.

La modification des cours d'eau

Les ateliers sidérurgiques, dès lors qu'il ne s'agit que de bas fourneaux, ne nécessitent pas l'usage de grandes quantités d'eau : de simples mares ont pu suffire, il n'était donc pas nécessaire que ces ateliers soient situés à proximité d'une rivière. Mais plus tard, les hauts fourneaux se sont nécessairement installés en bordure des cours

¹⁰⁵ DAVEAU, Isabelle et GOUSTARD, Vincent, « Un complexe métallurgique et minier du haut Moyen Âge... », *loc. cit.*, p. 77.

¹⁰⁶ GALLIEN, Véronique et LANGLOIS, Jean-Yves, « Les mines de fer du nord de la Sarthe... », *loc. cit.*

d'eau. Si la forge d'Avaugour a été **établie** sur un cours d'eau ne nécessitant que peu d'aménagements, c'est parce que le courant du Trieux était assez puissant pour faire fonctionner la machinerie hydraulique. Selon nos observations, la très grande majorité des hauts fourneaux connus dans l'ouest de la France, pour ne pas dire la quasi-totalité, ont été installés sur des rivières à débit régulier et moins puissant que le Trieux. Il a donc fallu construire des barrages pour créer des retenues d'eau. Les ateliers se situaient en aval de ces chaussées dans lesquelles était percée une ouverture laissant s'engouffrer l'eau dans un bief, afin d'augmenter la puissance du flot. C'est ainsi que nombre de rivières ont vu leur cours modifié au début de la période moderne, sur l'exemple de la région de Paimpont¹⁰⁷. Si la métallurgie est loin d'être la seule activité à avoir fait évoluer le réseau hydrographique par la création de barrages, elle a cependant contribué à l'implantation de nombreux plans d'eau, encore présents aujourd'hui.

Impact sur le couvert forestier

L'impact le plus important reste lié à l'usage du charbon de bois pour le fonctionnement des fours de réduction, premiers hauts fourneaux compris. Il faut également considérer l'emploi du charbon dans les étapes suivantes de la chaîne opératoire, de la transformation des masses brutes de réduction en demi-produits, à la fabrication des objets dans les forges d'élaboration qui, elles aussi, sont grandes consommatrices de combustible. La prise en compte de ces travaux post-réduction peut faire augmenter la consommation de charbon au moins de moitié. Mais même en prenant en compte cet accroissement, il est fort probable que durant le haut Moyen Âge l'impact sur la forêt a été très modéré : les sites de production découverts sont rares, et quand bien même certains sites non (ou mal) attribués correspondraient à cette période, leur petite taille et leur nombre finalement assez réduit ne conduiraient toujours pas à dire que cette activité a induit à cette période un impact majeur sur l'environnement forestier.

Dans la seconde partie du Moyen Âge, les choses semblent changer radicalement au moins dans certains secteurs de la partie est de la péninsule. Les immenses amas de scories datées de l'ensemble de cette période attestent d'une activité de grande ampleur qui a dû se prolonger pendant plusieurs dizaines d'années, voire plusieurs centaines d'années dans certains districts, mais sans fouille il est impossible de démontrer réellement la permanence de l'activité. Seul le secteur de Paimpont a bénéficié de ces travaux et les datations réalisées sur des charbons situés à la base des amas de déchets et à leur sommet montrent une activité déployée sur 170 ans¹⁰⁸. Cette durée pourrait être surévaluée, l'homogénéité des formes céramiques tendant à montrer une période d'activité plus resserrée¹⁰⁹. Il est possible de réaliser des calculs d'estimation de consommation de combustible à partir du volume de déchets générés. Ainsi, sur les onze sites recensés, ce sont 12 000 tonnes de scories qui ont été rejetées. Connaissant la quantité moyenne de scories produites par réduction, le nombre d'opérations a été estimé à environ 400 000. Grâce aux analyses chimiques effectuées sur les scories et les minerais employés, il est possible également de réaliser des calculs de rendement et d'estimer la quantité de métal produite ainsi que la quantité de minerai employé. En revanche, il n'est pas aisé de connaître la quantité de charbon nécessaire pour faire fonctionner ces fours très particuliers et les reconstitutions expérimentales réalisées n'ont pas été suffisamment concluantes pour restituer ces valeurs. Malgré tout, deux calculs ont

¹⁰⁷ OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, *op. cit.*, p. 250.

¹⁰⁸ *Ibid.*, p. 226.

¹⁰⁹ VIVET, Jean-Bernard, « Les ateliers du Vert Pignon en Paimpont... », *loc. cit.*, p. 101.

été opérés en prenant deux rapports différents : une tonne de charbon de bois pour une tonne de minerai, et 4 tonnes de charbon pour une tonne de minerai¹¹⁰. L'auteur a également considéré que 250 kg de charbon pouvaient être fabriqués à partir d'un stère de bois et qu'un arbre (10 m de hauteur et 0,5 m de diamètre) pouvait fournir sept stères. C'est ainsi qu'il a calculé un abattage variant entre 17 000 et 70 000 arbres. Ses travaux anthracologiques ont permis de montrer que pour l'atelier de Péronnette, c'était une chênaie sous forme de futaie dense qui avait été exploitée. Puis, l'utilisation du charme, arbre qui aime la lumière et qui est donc représentatif d'une forêt moins dense, et même celle du bouleau, qui peut être le reflet d'une reconquête de landes, ont également été engagées, montrant une ouverture du milieu, c'est-à-dire un éclaircissement de la forêt, résultant probablement d'une exploitation assez importante pour la production métallurgique¹¹¹. Pourtant, en reprenant les chiffres d'estimation de consommation de charbon de bois durant les opérations de réduction, il est possible de proposer un autre calcul estimatif, celui de la surface boisée nécessaire, en prenant comme hypothèse que ces chênaies comportaient entre 50 et 100 arbres par hectare. Ainsi, ce serait entre 1 et 10 hectares qui auraient été déboisés par an, soit de 170 à 1700 hectares sur la période. La forêt de Paimpont présente actuellement une surface d'environ 5 000 hectares, mais d'après les textes anciens, la *foresta* se serait étendue sur une surface de 30 x 10 km, soit environ 30 000 hectares comprenant des terrains non boisés dont il est difficile de déterminer la surface¹¹². Cette estimation, même si elle est très imprécise, montre néanmoins que l'impact de l'activité sur le défrichement de la forêt à cette époque peut être considéré comme modéré. Néanmoins, cela est vrai seulement parce que nous considérons la surface entière de la forêt mais il est très vraisemblable que le défrichement se soit fait dans un espace relativement proche des ateliers. En effet, les ateliers médiévaux rencontrés en forêt de Paimpont se situent au centre d'ellipses de défrichement et il convient de s'interroger sur le lien entre leur installation et la présence de ces zones déboisées¹¹³. À la fin du Moyen Âge, la forêt de Brécélien apparaît sous la forme d'un boisement hétérogène, mélange de taillis et de futaies, voire de zones déboisées, donnant l'impression d'une forêt en partie dégradée.

Elle semble donc n'avoir été que modérément dégradée au cours du second Moyen Âge. Serait-ce lié à sa très grande superficie ? Qu'en est-il des autres forêts ? Les textes qui nous sont parvenus semblent montrer que l'activité métallurgique aurait été de très grande ampleur, ce que confirment les masses de scories encore présentes sur certains secteurs, ayant abouti à une inévitable surexploitation dont les conséquences négatives se seraient fait sentir à partir de 1440 par l'abandon d'un grand nombre de forges. En 1224, la forge de Teillay aurait été transférée pendant l'espace d'un an en forêt de Juigné pour préserver les bois. En 1463, son arrêt pour une durée de dix ans aurait été préconisé¹¹⁴. Ainsi, nombre de forêts apparaissent dégradées à la fin du xv^e siècle, d'autant qu'elles doivent fournir de surcroît les matériaux nécessaires à l'armée bretonne, puis ceux demandés par la reconstruction à la fin de la guerre. Il s'agit de la traduction d'une crise particulièrement grave qui atteint son point culminant vers 1475, date à laquelle de multiples mesures sont prises visant à réglementer l'usage de la forêt,

¹¹⁰ OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, *op. cit.*, p. 225.

¹¹¹ *Ibid.*, p. 214.

¹¹² *Ibid.*, p. 245.

¹¹³ *Ibid.*, p. 267.

¹¹⁴ HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères... », *loc. cit.*, p. 67.

notamment le droit des particuliers de faire paître les troupeaux¹¹⁵. Ces restrictions ne semblent pas avoir eu l'effet désiré, du moins sur certains secteurs.

Nous sommes cependant encore très loin de la déforestation que la période suivante connaîtra lorsque les hauts fourneaux commenceront à fonctionner, la quantité de charbon de bois employée alors en métallurgie pouvant être considérée comme augmentée d'un facteur dix¹¹⁶. Ainsi, la forêt de Loudéac, par exemple, avait perdu à la fin du XVI^e siècle la moitié de sa superficie. Les forêts seigneuriales situées en Normandie et dans les Pays de la Loire auraient été abattues dès la fin du XV^e siècle¹¹⁷. Néanmoins, il s'agit de relativiser ce propos car les études anthracologiques réalisées en forêt de Paimpont sur les charbons emprisonnés dans les scories montrent que le haut fourneau du Pas-de-Houx utilisait des arbres de haute sève ayant poussé en contexte de futaie¹¹⁸. L'emploi de hêtre et de chêne témoignent de la disponibilité de futaies pour le fonctionnement de ce haut-fourneau. Est-ce dû à une meilleure gestion de la forêt ou à une diversification des sources boisées, des bois plus éloignés servant à son alimentation ? Les études anthracologiques menées sur les charbonnières contemporaines des sites métallurgiques dans cette même forêt révèlent cependant que le calibre des charbons tend à se réduire, impliquant le développement d'une gestion en taillis dont la vitesse de rotation des coupes tend à se réduire¹¹⁹. De plus, l'apparition du charme montre une ouverture du milieu, donc des bois plus clairsemés¹²⁰. Les bois paraissent dégradés aux alentours de l'installation métallurgique. Ce haut fourneau devait donc être alimenté en charbon provenant de plusieurs sources distinctes. Pour cette période des hauts fourneaux précoces, nous n'avons que peu de sources écrites pour réellement discuter de l'approvisionnement. En revanche, à partir du XVIII^e siècle, l'approvisionnement des hauts fourneaux est bien documenté¹²¹. Ainsi, par exemple, les forges de la Nouée et du Vaublanc drainaient les bois de la région de Pontivy, de la forêt de La Hardouinaie en particulier. Face au manque de combustible dans un environnement proche, la forêt de Colpo, située à environ 20 km de Vannes, a été également exploitée à cette période. Il est ainsi fort probable que les hauts fourneaux déjà en place au XVII^e siècle sur ces mêmes secteurs avaient déjà commencé à diversifier leur approvisionnement en bois.

Ainsi, c'est en fait l'installation des hauts fourneaux qui va provoquer de grandes transformations dans l'utilisation et la gestion des massifs forestiers, celui de Paimpont en particulier car, à la fin du XVII^e siècle, c'est la quasi-totalité de la forêt qui est transformée en taillis¹²². La rotation des coupes se fait dans un premier temps tous les 25 ans, mais

¹¹⁵ CINTRÉ, René, « Activités économiques dans les marches de Bretagne aux XIV^e et XV^e siècles... », *loc. cit.*, p. 13.

¹¹⁶ OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, *op. cit.*, p. 225.

¹¹⁷ BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant...*, *op. cit.*

¹¹⁸ OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, *op. cit.*, p. 215.

¹¹⁹ *Ibid.*, p. 269.

¹²⁰ *Ibid.*

¹²¹ SÉE, Henri, « Les forêts et la question du déboisement en Bretagne à la fin de l'Ancien régime (suite et fin) », *Annales de Bretagne*, vol. 36, p. 355-379.

¹²² OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande...*, *op. cit.*, p. 269.

passé ensuite à un cycle de 15 ans. De même, pour assurer la régénération des parcelles après les coupes, le droit de pacage est restreint conformément à l'ordonnance des Eaux et Forêts de 1669¹²³. Malgré cela, la dégradation des forêts a perduré. L'exploitation des forêts pour le fonctionnement des forges commença à diminuer à partir du début du XIX^e siècle¹²⁴, et ce jusqu'à ce que le dernier haut fourneau fonctionnant au charbon de bois cesse son activité en 1862. Par la suite, d'autres hauts fourneaux furent construits en divers points de la péninsule, mais tous fonctionnèrent dès lors au charbon de terre.

*

Le nord-ouest de la France est une vaste région très riche en minerais de fer. En particulier, le Massif armoricain qui en possède une grande variété, aussi bien tant au point de vue de leur nature géologique que dans leurs dimensions. En fait, des gisements sont présents sur presque l'ensemble du territoire, dont un grand nombre est assez facilement accessible depuis la surface. Ce contexte a permis le développement de l'activité sidérurgique depuis le début de l'âge du Fer jusqu'à une époque très récente, sans qu'il y ait eu probablement de véritables phases d'arrêt, mais avec des périodes de production plus intenses que d'autres.

Ainsi, après une importante production protohistorique répartie sur l'ensemble de la péninsule, et une autre à l'époque romaine tout aussi importante mais plutôt localisée dans la partie orientale, la production régresse à partir du Bas-Empire, les sites étant beaucoup plus rares et de plus petite taille. Durant le haut Moyen Âge, la fabrication du métal a semblé pendant longtemps quasi inexistante. Cependant, les découvertes de ces dernières années semblent indiquer au contraire une production bien présente peut-être sur l'ensemble du territoire, issue de petits centres dispersés. Au Moyen Âge classique, une production massive reprend sur de vastes secteurs. Le fait est connu dans l'est de la péninsule, mais la production existait aussi vraisemblablement à l'Ouest bien qu'elle soit à peine mentionnée dans les textes, et pas encore reconnue sur le terrain par manque de prospection dans les secteurs concernés. Tout au long de ces périodes, la technologie mise en œuvre à la fin de la période protohistorique et développée à la période romaine continue à être employée. Au bas Moyen Âge, la production est également très soutenue. Si dans certains secteurs, la même technologie semble toujours être employée, apparaissent en forêt de Paimpont des innovations qui aboutissent à des améliorations dans les rendements. Cependant, la grande innovation technique prend naissance à la fin du XVI^e siècle, avec l'apparition des premiers hauts fourneaux sur de nombreux cours d'eau de la péninsule, à proximité des gisements et des forêts. Dès lors, la production de fer dans le Massif armoricain continua à augmenter alternant périodes fastes et périodes de crise.

Cette production sidérurgique, quasi-continue sur plus de deux millénaires, a modifié le paysage de la région de manière plus ou moins importante selon les lieux et selon les périodes d'exploitation. Ainsi, l'extraction des minerais a conduit à creuser des mines et des minières dont certaines traces sont encore visibles, notamment les accumulations de stériles empêchant le réemploi des terres qui ont alors été abandonnées puis se sont reboisées au fil des siècles. Il en est de même des accumulations de déchets sur certains sites métallurgiques, notamment ceux de grande ampleur aux périodes, romaine, du Moyen Âge classique et du bas Moyen Âge. L'installation des hauts fourneaux a quant à elle modifié le cours des rivières et a provoqué l'inondation de terrains pour créer des bassins alimentant ces installations. Enfin, toutes ces activités ont été de

¹²³ *Ibid.*

¹²⁴ PUZENAT, Léon, *La Sidérurgie armoricaine...*, *op. cit.*, p. 93

tout temps extrêmement gourmandes en bois, et notamment en charbon de bois. De ce que nous connaissons actuellement, essentiellement par les textes, et plus rarement par la palynologie, nous pouvons dire que les impacts majeurs sur les couverts forestiers ont débuté au Moyen Âge classique, augmentant probablement au bas Moyen Âge et devenant extrêmement importants avec l'apparition des hauts fourneaux.

De nombreux travaux archéologiques et archéométallurgiques ont déjà été menés montrant l'existence de ces productions à diverses époques. Néanmoins, ces études sont encore largement insuffisantes pour une reconstitution de l'histoire sidérurgique de la région, notamment en termes de localisation des districts miniers et métallurgiques, d'estimation de leurs productions, de connaissance de leurs procédés, et cela pour différentes époques. Ainsi, seules des campagnes de prospection systématique permettront de repérer ces domaines via la présence de leurs déchets que sont les scories. Elles devront être associées à des séries de datation, essentiellement par radiocarbone du fait du manque criant de matériel datant sur les sites de production. Seront également réalisées des études typologiques des scories afin de permettre dans le futur de relier un atelier trouvé en prospection à une période de production sans devoir réaliser des analyses coûteuses. Suite à ces prospections, devront être également effectués des travaux de fouille d'atelier afin que puissent être décrits les procédés de production et leur évolution technique dans le temps.

Les vestiges des ateliers de production métallurgique se retrouvent en grand nombre dans les parcelles boisées bien que certains aient également été détectés sur des espaces actuellement cultivés. Ces derniers sont alors en grande partie détruits et les scories, traces les plus évidentes de leur existence, sont disséminées dans les champs. Néanmoins, en tenant compte de leur localisation et de la typologie des déchets, il sera possible de leur attribuer un âge. Ces bois et forêts constituent des conservatoires archéologiques, et les futures prospections devront débuter par ceux-ci car il est fort probable que les forêts du centre Bretagne renferment les traces d'ateliers anciens, dont un certain nombre pourra certainement être attribué à la période médiévale comme certains textes anciens le laissent envisager.

Ce sont donc de véritables programmes pluridisciplinaires qui permettront de cerner les activités sidérurgiques en différents lieux de la péninsule, alliant des travaux de terrain à des études de laboratoire sur les matériaux archéométallurgiques. Les études historiques permettant de connaître les contextes sociaux de ces activités et leurs liens avec les centres de pouvoir ne doivent pas être délaissées, bien au contraire. Enfin, les études paléoenvironnementales à travers l'antracologie et la palynologie notamment, permettent enfin de préciser l'impact sur l'environnement, et plus particulièrement sur le déboisement lié à la production de charbon de bois.

La synthèse présentée ici n'est que partielle, car nombre de secteurs géographiques n'ont toujours pas été abordés, même en prospection. De même, les activités post-réduction n'ont été que très peu mentionnées. Ce travail du métal peut être entrevu à travers le recensement des ateliers de forge repérés grâce à la présence de scories en culot. Leur quantification systématique permettrait de proposer une première ampleur de travail sur chaque site. Néanmoins, avec cette première approche, il est possible de se rendre compte que la production au cours du Moyen Âge évolue fortement entre les IX^e et XVI^e siècles, en termes de technologie, d'ampleur de production et d'organisation générale sur l'ensemble de la région. Ainsi, si, sur la foi de quelques données dont nous disposons, la production semble être modérée au cours du haut Moyen Âge, au second Moyen Âge en revanche elle explose littéralement avec l'existence de complexes miniers et métallurgiques dépassant l'artisanat et entrant dans un schéma commercial bien établi. Il est, de ce fait, possible de dire que le nord-ouest de la France a

été au cours du Moyen Âge une importante région productrice de fer. Il s'agira dans le futur de connaître la destination de ces productions, en tentant de mettre en évidence des utilisations locales, des courants commerciaux régionaux et même, peut-être, des débouchés à plus longue distance.

Bibliographie

ANDRIEUX, Jean-Yves, « La métallurgie en Bretagne. Forges et hauts fourneaux du Moyen-âge à nos jours », *Ar Men*, 1988, n° 18, p. 2-19.

–, *Forges et hauts fourneaux en Bretagne du XVII^e au XIX^e siècle. Côtes-du-Nord*, Nantes, éd. CID, 1987.

BARBEAUX, Sandrine, *Martigné-Ferchaud (Ille et Vilaine) RD 41 – RD 94, axe Bretagne – Anjou (section Retiers – Martigné-Ferchaud), Tranche 2*, Rennes, INRAP Grand Ouest, 2013.

BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant*, coll. « Cahiers de l'Inventaire », n° 3, 1984.

BENOIT, Paul et BERTHIER, Karine, « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique d'après le cas des monastères cisterciens de Bourgogne, Champagne et Franche-Comté », dans BECK, Patrick (dir.), *L'innovation technique au Moyen Âge. Actes du VI^e congrès international d'archéologie médiévale (1-5 octobre 1996, Dijon, Mont-Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard)*, Caen / Paris, Société d'Archéologie Médiévale / Errance, 1998, p. 58-66.

BETHUS, Teddy et ŒIL DE SALEYS, Sébastien, *Gennes-sur-Seiche, Ille-et-Vilaine, La Liberderie, vestiges d'occupations antiques et médiévales*, Rennes, INRAP Grand Ouest, 2014.

BEUCHET, Laurent, « Créhen (Côtes-d'Armor). Château du Guildo », *Archéologie médiévale*, 2011, vol. 41, p. 272.

BRIARD, Jacques, BOURHIS, Jean-Roger et VIVET, Jean-Bernard, « Une nouvelle série d'analyses spectrographiques sur les bronzes armoricains : Tréboul et haches à douille », dans MORDANT, Claude, PERNOT, Michel et RYCHNER, Valentin (dir.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère. Production, circulation et consommation du bronze*, Paris, CTHS, 1999, p. 91-100.

CABBOÏ, Sandra et DUNIKOWSKI, Christophe, *Autoroute À 160, section Saint-Denis-les-Sens-Piffonds. Résultats complets du diagnostic sur le tracé, sous la direction de Laurent Pelletier. Coordination archéologique À 160*, vol. 15, AFAN, 1995.

CABBOÏ, Sandra, DUNIKOWSKI, Christophe, LEROY, Marc et MERLUZZO, Paul, « 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 », *Medieval Europe. Actes du 4^e congrès d'archéologie médiévale et moderne*, Paris, 2007.

CHAURIS, Louis, « Une province stannifère : le Massif Armoricaïn (France) », *Chronique de la recherche minière*, 1981, n° 462, p. 5-42.

CINTRÉ, René, « Activités économiques dans les marches de Bretagne aux XIV^e et XV^e siècles », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1994, vol. 101, n° 4, p. 7-36.

DARÉ, Sébastien et DUFAY-GAREL, Yann, *Autour du golfe du Morbihan, à l'est de Vannes jusqu'à la Vilaine*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2013.

DARÉ, Sébastien, DUFAY-GAREL, Yann et RÉGENT, Bruno, *Autour du golfe du Morbihan, à l'est de Vannes jusqu'à la Vilaine*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2012.

DAVEAU, Isabelle et GOUSTARD, Vincent, « Un complexe métallurgique et minier du haut Moyen Âge. Le site des Fourneaux à Vert-Saint-Denis (Seine-et-Marne) », *Gallia*, 2000, vol. 57, p. 77-99.

DAVY, L., « Étude des scories des forges anciennes éparses sur le sol de l'Anjou, de la Bretagne et de la Mayenne, pour servir à l'histoire de la métallurgie », *Bulletin et Comptes rendus Mensuels de la Société de l'Industrie Minérale*, 1913, n° 3, p. 552-579.

DOMERGUE, Claude (dir.), *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martyrs, Aude)*, Paris, CNRS éd. / Revue Archéologique de Narbonnaise, suppl. 27, 1993.

DOMERGUE, Claude et LEROY, Marc, « L'état de la recherche sur les mines et les métallurgies en Gaule, de l'époque gauloise au haut Moyen Age », *Gallia*, 2000, vol. 57, p. 3-10.

DUNIKOWSKI, Christophe et CABBOÏ, Sandra, *La sidérurgie chez les Sénons. Les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, Paris, Éditions de la Maison des Sciences de l'homme, 1995.

DUVAL, Jean-François, « Métallurgie et défrichement en forêt de Paimpont au Moyen Âge », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 2000, vol. 107, n° 3, p. 7-24.

GALLIEN, Véronique et LANGLOIS, Jean-Yves, « Les mines de fer du nord de la Sarthe, bilan des fouilles sur l'A28 », *Archéopages*, 2001, n° 5, p. 12-19.

GANDOIS, Henri, *L'adoption du bronze à l'étain en France*, mémoire de master 2, Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris, 2009.

GIRAULT, Nicolas, « Premier sondages sur le ferrier médiéval de Péronnette (Paimpont, 35) », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 105-121.

HERBAUT, Claudie, « Aperçu des sources écrites concernant les forges de la forêt de "Brécélien" », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 17-22.

HERBAUT, Claudie, « À propos de certaines dotations de monastères, aux XII^e et XIII^e siècles, par les seigneurs de la région de Châteaubriant (Loire-Atlantique) », dans BENOIT, Paul et CAILLEAUX, Denis (dir.), *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 59-71.

HERBAUT, Claudie, « Le renouvellement de la sidérurgie bretonne à la Renaissance : l'exemple de la forge d'Avaugour en 1560, dans son environnement », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1989, vol. 96, n° 2, p. 161-170.

HERBAUT, Claudie, « Exploitation minière en forêt de Quintin », *Mémoires de la Société d'Histoire et d'Archéologie de Bretagne*, 1988, tome LXV, p. 93-104.

HERBAUT, Claudie, « La métallurgie de la Châtellenie de La Poitevinière à travers les comptes de ses revenus », dans BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant*, Paris, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, coll. « Cahiers de l'Inventaire », 1984, vol. 3, p. 41-54.

JOUANET, Nadège, *Prospection paléométallurgique autour des lingots bipyramidaux de Saint-Connan (Côtes-d'Armor)*, mémoire de master 2, Université Rennes 1, Rennes, 2009.

LARCHER, Guy et VIVET, Jean-Bernard, « Chronique de prospection et de recherche archéologique sur la métallurgie du massif de Paimpont », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll. « les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 7-16.

LAVOUÉ, Maëva, *Étude des déchets métallurgiques des sites de Brielles « La Fosse Poulain » et Gennes-sur-Seiche « La Liberderie »*, mémoire de master 2, Université de Nantes, Nantes, 2012.

LE BOULANGER, Françoise, *Brielles (Ille-et-Vilaine), La Fosse-Poulain (Tracé de la LGV « Le Mans-Rennes, secteur 4) Habitat et activité artisanale à partir de la fin du Moyen Âge*, Rennes, INRAP Grand Ouest, 2013.

LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et CHOPLIN, Morgan, *La métallurgie du fer en forêt de Bercé*, Nantes, Service Régional d'Archéologie Pays-de-la-Loire, 2014.

LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et JOUANET-ALDOUS, Nadège, « Métallurgies à l'âge du Fer dans le nord-ouest de la France », dans MOUGNE, Caroline et DAIRE, Marie-Yvane (dir.), *L'Homme, ses ressources et son environnement, dans l'ouest de la France à l'âge du Fer*, Rennes, Mémoire Géosciences, 2015, p. 119-138.

LE QUELLEC, Vincent, *La paléoméallurgie du fer dans le Porzay et ses environs*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2007.

LEROY, Marc, *La sidérurgie avant le haut fourneau. L'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe*, Paris, CNRS éd., coll. « CRA Monographies », n° 18, 1997.

LEROY, Marc, MANGIN, Michel, LAURENT, Hervé, BOUKEZZOULA, Mostefa et RAÏSSOUNI, Baraka, « La sidérurgie dans l'Est de la Gaule. L'organisation spatiale de la production de l'âge du Fer au haut Moyen-Âge », *Gallia*, 2000, vol. 57, p. 11-21.

LEROY, Marc et MERLUZZO, Paul, « Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute Marne) », *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*, 1998, vol. 91, n° 4.

LEROY, Marc, MERLUZZO, Paul et LE CARLIER DE VESLUD, Cécile, *Archéologie du fer en Lorraine. Minette et production du fer en bas fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen Âge*, Knutange, Fensch vallée éd., 2015.

L'HÉRITIER, Maxime et DILLMANN, Philippe, « Fer ou acier ? Caractérisation des alliages ferreux utilisés dans la construction des églises gothiques au Moyen Âge et à la période moderne. L'exemple de Troyes et de Rouen », dans DILLMANN, Philippe, HILAIRE-PÉREZ, Liliane et VERNA, Catherine (dir.), *L'acier en Europe avant Bessemer. Actes du colloque international, Conservatoire national des arts et métiers, Paris, les 8, 9, 10 décembre 2005*, Toulouse, CNRS-Université de Toulouse-le-Mirail, 2011, p. 263-281.

MARCHAND, Grégor, *L'abri sous-roche de Kerbizien (Huelgoat, Finistère) Bilan archéologique du site et fouille d'un niveau azilien résiduel*, Rennes, CReAAH / Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2012.

MENEZ, Yves et BATT, Michael, « L'habitat du haut Moyen Age à Quimper », *Revue Archéologique de l'Ouest*, 1988, vol. 5, p. 123-139.

MEURET, Jean-Claude, « Archéologie, paysage et histoire d'une forêt du Néolithique à nos jours, le massif de Domnaiche-en-Lusanger (Loire-Atlantique) », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 2010, vol. 117, n° 4, p. 7-81.

—, « Chroniques des fouilles médiévales. Ille et Vilaine – Rannée, Forêt de la Guerche », *Archéologie médiévale*, 1994, vol. 24, p. 515.

—, « Le paysage métallurgique minier ancien au sud-est de l'Ille-et-Vilaine », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1989, vol. 96, n° 2, p. 145-159.

MONNIER, Jean-Jacques (dir.), *Toute l'histoire de Bretagne, des origines à la fin du xx^e siècle*, Édition SKol Vreizh, 2012.

OILLIC, Jean-Charles, *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande: étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire*, Thèse de doctorat, Université Rennes 1, Rennes, 2011.

—, *Bilan d'activité du PCR « Brécélien » Étude interdisciplinaire d'une forêt mythique*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2010.

–, *Un atelier sidérurgique antique en Lanvaux : Le site du Chapeau de Roche (Molac, Morbihan, Bretagne)*, Rennes, Service Régional d'Archéologie de Bretagne, 2010.

PIETAK, Jean-Pierre, LEROY, Marc, LE CARLIER DE VESLUD, Cécile et MERLUZZO, Paul, « Nouvelles données sur l'importance des vestiges de sidérurgie ancienne en Puisaye », *Revue Archéologique de l'Est*, vol. 61, p. 117-131.

PUZENAT, Léon., *La sidérurgie armoricaine*, Rennes, Mémoires de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 1939.

SAINT-DIDIER, Guillaume, « La métallurgie du fer dans les Deux-Sèvres autour de l'an Mil », dans BAUDRY, Marie-Pierre (dir.), *Les Deux-Sèvres autour de l'an Mil. Actes des Rencontres Historiques de Parthenay (13-14 octobre 2012)*, Parthenay, Fédération des Sociétés savantes et culturelles des Deux-Sèvres, 2014.

SARRESTE, Florian, *Sidérurgie ancienne dans le Bas Maine (VIII^e siècle av. J.-C. – XV^e siècle ap. J.-C.)*, Thèse de doctorat, Université François Rabelais, Tours, 2008.

SÉE, Henri, « Les forêts et la question du déboisement en Bretagne à la fin de l'Ancien Régime (suite et fin) », *Annales de Bretagne*, vol. 36, p. 355-379.

TINEVEZ, Jean-Yves, « Prospection des vestiges de l'activité métallurgique en forêt de Juigné », dans BELHOSTE, Jean-François, MAHEUX, Hubert et CANAVAGGIO-RAMIN, Perrine (dir.), *Les forges du pays de Châteaubriant*, Paris, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, coll. « Cahiers de l'Inventaire », 1984, vol. 3, p. 21-40.

VILLARD, J.-F., « Un établissement agricole et artisanal de la fin du haut Moyen Âge au 22 de la rue Bourg-les-Bourgs à Quimper (Finistère) », *Revue Archéologique de l'Ouest*, 2011, vol. 28, p. 183-218.

VIVET, Jean-Bernard, « Les ateliers du Vert Pignon en Paimpont (35) : mise au jour d'installations exceptionnelles éclairant une chaîne de production médiévale du fer », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll.« les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 67-104.

–, « Pilleverte II, en Plesder (35) : un atelier armoricain de production massive de fer au haut-empire », *Les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet*, 2008, vol. 36, p. 73-102.

–, « La production du fer protohistorique en Haute-Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques », dans MILCENT, Pierre-Yves (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal. Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF, Toulouse 20-23 mai 2004*, Pessac, Aquitania, 2007, p. 63-84.

VIVET, Jean-Bernard, BACHETER, Xavier, GIRAUD, Nicolas, HERBAUT, Claudie, LARCHER, Guy et OILLIC, Jean-Charles, « Une première installation de Grandes Forges sur le massif de Paimpont : le site du Pas du Houx », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll.« les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 205-212.

VIVET, Jean-Bernard et GIRAULT, Nicolas, « Le site médiéval de Trécélien (Paimpont, 35) : Premier jalon d'une lignée technique inédite de production du fer », dans VIVET, Jean-Bernard (dir.), *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*, s.l., Centre régional d'archéologie d'Alet, coll.« les Dossiers du centre régional d'archéologie d'Alet », 2010, n°AF-2009, p. 23-66.