Université de Haute-Bretagne, Rennes II
Master 1 Archéologie et Histoire

Mémoire de Master 1
Présenté par Nadège Jouanet

Évaluation du potentiel archéo-sidérurgique de la Bretagne à l'Age du fer : De la réduction du minerai à l'objet fini

Année 2007-2008

Tuteur de mémoire :

Cécile Le Carlier, Archéomètre, Laboratoire d'archéologie de Rennes 1

Sommaire

Sommaire ……1
Remerciements ……..3
Introduction……4

1. LES CADRES DE L'ETUDE

1.1. Etat des connaissances sur la sidérurgie à l'Age du fer

1.1.1. Historique de la recherche…….5
1.1.2. La chaîne opératoire et les vestiges retrouvés en fouilles…….9
1.1.3. Zones de réduction et zones de forge……..……19

1.2. La sidérurgie en Bretagne

1.2.1. Historique des recherches ……..22
1.2.2. Présentation géographique…….….26
1.2.3. Présentation historique……36
1.2.4. Présentation archéologique : les Habitats……...40
1.2.5. Histoire de la sidérurgie en Bretagne……..48

2. METHODES ET SOURCES DE TRAVAIL

2.1. L'approche documentaire

2.1.1. Le dépouillement bibliographique…….….51
2.1.2. Les enquêtes orales et écrites……..54

2.2. L'approche informatique

2.2.1. Le répertoire sous EXCEL……..55
2.2.2. L'analyse spatiale par SIG……...59
2.2.3. L'inventaire sur Files Maker……60

2.3. L'approche de terrain: Prospection au sol……61

2.4. L'approche de laboratoire : Étude du macroscopique du mobilier……65

3. INTERPRETATION DES DONNEES

3.1. La Base de données……...73

3.2. La relation entre les forges et les habitats

3.2.1. Localisation des forges par rapport aux habitats……..…78

3.2.2. Ampleur de la production des forges ……..……79

3.2.3. Diffusion de la production des forges armoricaines ……...…80

3.3. La relation entre les ateliers de réduction et les habitats

3.2.1. Localisation des ateliers par rapports aux minerais de fer……...…83

3.2.2. Localisation des ateliers par rapport aux forges ..……84

3.2.3. Localisation des ateliers par rapport aux habitats……85

3.2.4. Evolution des bas fourneaux au cours de l'age du fer…….87

3.4. Les objets finis

3.4.1. Les différentes catégories d'objets……..91

3.4.2. Les différents contextes de découvertes……..98

3.4.3. L'étude de l'objet ……..100

Conclusion……101

Table des illustrations……...102

Bibliographie ……...……104

Remerciements

Au moment de terminer la rédaction de ce mémoire, il m'est très agréable de remercier les personnes qui tout au long de cette année m'ont apporté leur soutien scientifique et moral :

Je pense bien évidemment tout d'abord à Cécile Le Carlier qui, toujours dans la bonne humeur, a accepté de diriger ce mémoire. Son aide, sa disponibilité et son encadrement scientifique ont permis la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également Jean-Charles Oillic, pour ses conseils et surtout son aide informatique.

Je remercie le SRA de Bretagne, et plus particulièrement Thierry Lorho et Odile Lecocq, qui ont répondu à mes demandes et m'ont communiqué les données de la carte archéologique.

Je tiens aussi à remercier Stéphane Blanchet et Sandra Marchand, de l'INRAP, Jean-Bernard Vivet, et toutes les personnes qui ont aidé ou donné des scories à étudier.

Ma reconnaissance va également à mes amis, qui m'ont apporté soutien et conseils tout au long de cette année.

Pour terminer, un grand merci à ma famille, pour leur encouragements et leur soutien dans les moments difficiles et tout au long de cette année.

Introduction

L'origine de la métallurgie du fer n'est pas certaine. L'hypothèse d'un foyer unique, situé en Anatolie daté du 2e millénaire, est contrariée par la découverte de nouveaux foyers, notamment en Afrique. Aujourd'hui, on préfère l'hypothèse de la naissance simultanée de plusieurs foyers dans différentes régions. Cette technologie serait arrivée en Europe au cours du 1er millénaire avant notre ère et elle apparaît au 6e siècle avant JC en Bretagne (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Les objets en fer sont très rares au premier Age du Fer et la métallurgie du bronze est encore très présente. Ce n'est qu'à partir du 2e –1er siècle que le fer devient un matériau courant (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002). A l'Age du Fer, les Celtes étaient connus pour la qualité de leur production métallurgique, notamment le travail du fer. Selon la légende rapportée par Pline l'Ancien (1er siècle de notre ère), le forgeron helvète Hélicon a été appelé à exercer son métier à Rome (KRUTA 2000)

Même si le fer est une matière essentielle dans la vie quotidienne des Gaulois, l'étude de la sidérurgie ancienne a très longtemps été négligée (MANGIN 2004b). Pourtant, l'apparition du fer a provoqué des modifications importantes dans ces sociétés. Ces évolutions concernent divers domaines, aussi bien socio-économique (transformation de la hiérarchie sociale, naissance d'une nouvelle économie), technique (apparition de progrès techniques, amélioration des outils agricoles et artisanaux, amélioration des armes des soldats) et paléo-environnementale (déboisement, pollution).

Dans certaines régions françaises, comme la Lorraine, les études sur la sidérurgie sont très avancées. En Bretagne, nous avons accumulé de nombreuses données à partir des prospections et des fouilles. Ces données concernent toutes les périodes, de l'Age du Fer à l'époque moderne, et toutes les étapes de la chaîne opératoire sidérurgique, de l'extraction aux activités de forge. Hélas, ces données n'ont fait l'objet d'aucune synthèse au niveau régional. Cette année, nous souhaitons faire un premier inventaire diachronique des sites métallurgiques, connus dans le Massif armoricain.

Ce mémoire entre dans le cadre de ce projet, en traitant plus particulièrement de la proto-sidérurgie à l'Age du fer en Bretagne. Ce travail a pour but de mieux renseigner cette aire et de constituer un inventaire de sites, afin de mener une étude précise de leur répartition, de leur chronologie et de leur environnement naturel et humain.

1. CADRES DE L'ETUDE

1.1. Etat des connaissances sur la sidérurgie à l'Age du fer

1.1.1. Historique en France

- HISTOIRE DE LA RECHERCHE

L'étude des mines et de la métallurgie en archéologie a longtemps été méconnue et méprisée par les chercheurs. En effet, le matériel archéologique, d'apparence assez laid, n'a rien de spectaculaire et leur interprétation est souvent laborieuse (MANGIN 2004b).

Cette thématique est née au 19e siècle, notamment en France avec les études de Gabriel Auguste Daubrée (DAUBREE 1868, 1881). Ce géologue français (1814-1896) a d'abord travaillé sur les minerais d'étain, avant de se tourner sur les formations des minerais de fer. Pendant la première moitié du 20e siècle, avec les deux guerres mondiales, l'étude de la sidérurgie est délaissée. Même si, on peut noter tout de même les travaux de Tryon-Montalembert (TRYON-MONTALEMBERT 1955).

Cette discipline connaît un renouveau dans les années 1960-1970, avant pouvoir s'affirmer dans les années 1980. Les chercheurs d'Europe du Nord et centrale, qui ont commencé leurs travaux sur la métallurgie après la seconde guerre mondiale, nous ont apportés leur savoir et leurs méthodes d'études (DOMERGUE 2000). L'étude de la sidérurgie connaît alors un véritable tournant: d'une part, le nombre de publications se multiplient, et les résultats sont présentés dans différents colloques (Le colloque du Comité pour la Sidérurgie ancienne tenu à Sankelmark (Schleswig, Allemagne), et le colloque de Toulouse sur les Mines et les fonderies antiques de la Gaule sont parmi les premiers à s'être tenus).

D'autre part, le nombre de chercheurs et de pôles de recherches augmentent. Ainsi, une Association pour l'Etude des Mines et de la Métallurgie est crée par les chercheurs en novembre 1980 à Toulouse. Son but est de rassembler tous les chercheurs, professionnels et amateurs, travaillant sur ce sujet. Ils se réunissent chaque année pour s'informer des différentes études et avancées qui ont lieu en France et en Suisse.

Enfin, les données archéologiques de terrain augmentent considérablement, à la suite de campagne de prospections thématiques, de sondages ponctuels, de quelques opérations programmées et surtout des nombreuses opérations de sauvetages en archéologie préventive liées à l'impact des Grands Travaux. Dans le Nord et l'Est de la France, les opérations menées sur les tracés d'autoroutes A5 et A28 ont fourni une riche documentation, concernant les sites d'acquisition et de réduction du minerai. Ces données sont complétées par les résultats de fouilles récentes menées dans l'Eure, l'Ille-et-vilaine et la Seine-et -Marne (MILCENT 2007).

Le dossier sur les « *Mines et métallurgies en Gaule* » paru dans *Gallia* en 2000 symbolise la reconnaissance de cette discipline (MANGIN 2004b). Plusieurs organismes publics ont permis le développement de cette thématique en France: le CNRS, le Ministère de la Culture (qui a autorisé des fouilles programmées et préventives ainsi que des prospections thématiques), et les universités (plus particulièrement les travaux universitaires), ont permis la réalisation d'inventaire et d'études régionales (DOMERGUE 2000).

- LA SIDERURGIE, UNE ETUDE PLURIDISCIPLINAIRE

La sidérurgie en archéologie est une thématique pluridisciplinaire. En effet, l'apparition du fer a provoqué des modifications importantes dans ces sociétés. Ces évolutions concernent divers domaines: socio-économique (transformation de la hiérarchie sociale, naissance d'une nouvelle économie), technique (apparition de progrès techniques, amélioration des outils agricoles et artisanaux, amélioration des armes des soldats) et paléo-environnementale (déboisement, pollution). C'est pourquoi, la combinaison de différentes sciences permet d'appréhender la discipline selon ces différents axes d'étude. De nombreuses sciences entrent en compte telles que la géologie, la géochimie, l'archéométrie, la métallographie, la botanique, l'ethnologie, les sciences paléo-environnementales (MANGIN 2004b), et bien sur l'archéologie dans le sens classique du terme.

- LES DIFFERENTS POLES DE RECHERCHES EN FRANCE

Au début des années 1980, deux équipes de recherches se sont formés en France (MANGIN 2004b). La première s'est d'abord développée dans l'Est de la France, sous l'égide de Michel Mangin, autour du centre des recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG-CNRS) et du laboratoire d'archéologie des métaux de Nancy. Ces laboratoires travaillaient d'abord avec l'institut d'archéologie antique de l'université de Besançon, puis de l'UPR A0423 du CNRS, basée à l'institut polytechnique de Sévenans. La seconde est basée à Toulouse, sous la direction Claude Domergue. L'UMR 5608 et l'université de Toulouse-Le Mirail se sont intéressées au Massif Central et aux Pyrénées. Ils sont associés à différentes institutions, comme les laboratoires Paul-Sabatier, de l'Institut polytechnique de Toulouse et de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, ainsi que le musée archéologique Henri-Prades (Lattes, Hérault). Plus tard, un groupe suisse de l'archéologie du fer (GDAF) s'est développé dans les années 1990.

Les spécialistes de ces différents pôles de recherches développent des inventaires intégrant des programmes archéométriques appliquées aux sites et aux vestiges sidérurgiques. Aujourd'hui, après vingt ans de recherches, le bilan des activités est important: localisation de plusieurs zones de productions (dont certaines ont été étudiées plus précisément), des sites correspondant à toutes les phases de travail du fer ont été fouillés et publiés, des expérimentations archéologiques ont été

menées, les techniques archéométriques ont été développées et une base de données permet de rassembler des traitements statistiques et des comparaisons sur tous les vestiges à travers la France a été crée (PALSID). Plusieurs publications récentes dressent un état de leur recherche (MANGIN 2004b; DOMERGUE 2000).

- LES RESULTATS

Depuis les années 1980, les résultats sont parus dans de nombreuses publications, aussi bien dans des revues régionales, des congrès nationaux et internationaux, des colloques spécialisés, des symposiums, ... Les chercheurs ont considérablement renouvelé la connaissance des ateliers et des zones de productions sur le territoire français.

Au cours de ces dernières années, le fer est le métal qui a fait l'objet des plus nombreuses études, plus que pour les autres métaux (DOMERGUE 2000). Deux raisons peuvent expliquer ce phénomène: Les grands travaux d'aménagements ont mis au jour de nombreux sites sidérurgiques, tels que ceux de la région du Mans (Sarthe). De plus, le fer est un matériau très utilisé depuis le deuxième âge du Fer, ce qui fait qu'elle est très présente dans la vie des Anciens. Les vestiges de ces ateliers se retrouvent alors souvent sur les sites archéologiques.

Depuis 1980, notre connaissance de la sidérurgie ancienne a beaucoup progressé. Néanmoins, il reste beaucoup de lacunes, au niveau chronologique et technique (DOMERGUE 2000). Ceci est particulièrement vrai pour l'Age du Fer. Ainsi, les découvertes archéologiques du Premier et du début du Deuxième Age du Fer sont particulièrement mal connues. Peu de vestiges archéologiques sont retrouvés et certaines structures sont datées sans certitudes.

Globalement, les premières étapes de la chaîne opératoire sont aujourd'hui assez bien connues, même si certains aspects techniques sont encore incertains, comme l'extraction du minerai de fer. Les données concernant la métallurgie de transformation (activités de forge) sont beaucoup plus partielles que celles concernant la réduction (MILCENT 2007).

Les premiers travaux se sont d'abord concentrés sur les sites métallurgiques pris isolément, via l’analyse des matériaux tels que les scories. Puis ces données ont été replacées dans un second temps dans un contexte régional lorsqu’elles ont été assez nombreuses pour être comparées entre elles et confrontées aux autres données archéologiques régionales. Elles ont permis l'avancée significative de l'étude de cette activité au cours des âges sur une région.

Les recherches régionales les plus avancées concernent l'Est de la France. Fort de son passé riche en activité sidérurgique, de nombreux chercheurs ont mené des recherches sur cette région, ~~et~~ en Lorraine en particulier. Les nombreuses opérations sur le terrain et les examens archéométriques ont permis mettre en évidence une activité d'extraction et d'exploitation du fer divisé en petites unités.

Ils ont également pu hiérarchiser les différents secteurs sidérurgiques selon leur importance (DOMERGUE 2000) .

- L'ARCHEOMETRIE

Dès le milieu des années 1980, les données de terrains sont de plus en plus souvent complétées par des analyses en laboratoire (DOMERGUE 2000). La sidérurgie ancienne est une discipline, où l'archéométrie permet d'apporter de nombreux éléments de réponses.

L'Archéométrie est une démarche scientifique qui met en œuvre des méthodes et des techniques développées dans le cadre de l'étude des sciences naturelles, physiques et des matériaux pour étudier des vestiges archéologiques (JOCKEY 1999). L'archéomètre va étudier les vestiges aussi bien de manière descriptive qu'analytique. Il peut ainsi caractériser les procédés et suivre leur évolution. On insiste particulièrement sur les comparaisons chimiques entre minerais-scories et sur les filiations chimiques et pétrographiques tout au long de la chaîne opératoire.

- L'EXPERIMENTATION

L'expérimentation archéologique est surtout connue dans la recherche lithique, mais elle s'applique très bien au domaine de la métallurgie. C'est une pratique encore récente en France. Elle a d'abord été utilisée par nos voisins anglais et du centre de l'Europe. L'expérimentation en archéologie, et plus particulièrement dans notre domaine, permet aux archéologues de palier les détails non décrits dans les sources écrites (LARCHER 1993b). L'expérience a pour but de confirmer ou infirmer des hypothèses et d'émettre des hypothèses sur les conséquences d'un changement technique.

L'expérience s'articule généralement autour de deux problématiques : la reconstitution de la chaîne opératoire et de la détermination du caractère local ou importé d'une production mise au jour lors d'une fouille. Cette dernière se fait en comparant les caractéristiques d'un métal ancien avec celles d'un métal reproduit expérimentalement. Plusieurs facteurs sont garants de la fiabilité des résultats. Au cours de cette expérimentation, le forgeron doit chercher à être le plus proche possible des gestes des Anciens. C'est pourquoi, il doit prendre un minerai et un combustible les plus proches de ceux qui ont pu être utilisés à l'Age du Fer. Il en est de même pour les structures de transformation (foyer de forge), qui ont pu lui être révélées par des fouilles. L'expérimentation est validée si l'on obtient un produit expérimental comparable à un vestige de référence (JOCKEY 1999).

1.1.2. La chaîne opératoire et les vestiges archéologiques associés

La métallurgie est une succession d'étapes, qui vise à la transformation du minerai en objets métallique fonctionnel (SERNEELS, 1998). On distingue deux types de métallurgie : la métallurgie d'élaboration qui comporte l'extraction du minerai dans les mines et la réduction dans les ateliers de réduction, et la métallurgie de transformation qui concerne la fabrication d'objets dans les ateliers de forge (DOMERGUE 2007). On parle également des stades de pré-réduction, de réduction, et de post-réduction.

A chaque stade de la chaîne opératoire, des vestiges spécifiques sont produits : déchets (scories, battitures), structures (bas fourneaux, enclume) et des produits (objets, masse de fer, lingots). Pour les périodes anciennes, dont les sources historiques sont inexistantes, les vestiges métallurgiques sont les seuls qui permettent d'appréhender ce sujet (MANGIN 2004).

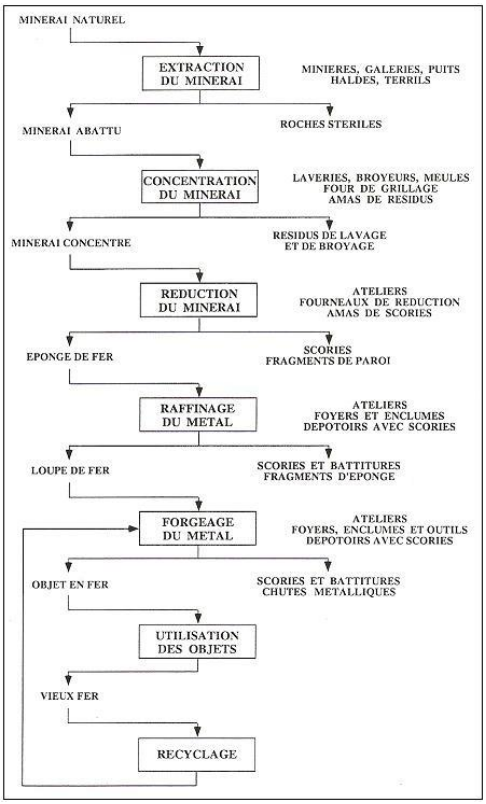

Figure 1 : La Chaîne opératoire de la sidérurgie (SERNEELS 1998)

On distingue cinq grandes étapes dans la chaîne opératoire sidérurgique.

- EXTRACTION DU MINERAI

Le minerai est une roche présentant une concentration élevée en minéraux utiles. Il peut contenir également des minéraux sans valeur qui constituent la gangue (SERNEELS 2004).

Le fer est un des éléments chimiques les plus abondants dans la croûte terrestre (7%) (SERNEELS 1998 ; SERNEELS 2004). Il existe différents types minerais de fer. Le fer peut se présenter sous forme natif dans certaines météorites et dans de rares roches terrestres. Mais, en général, les minéraux sont formés par des atomes de fer, qui s'associent avec des atomes d'autre nature. Les minerais peuvent être à base d'oxydes (magnétite, hématite), d'hydroxydes (goethite, limonite), de carbonates (sidérite) et de sulfures (pyrite). Mais ces derniers sont peu utiliser car la présence de soufre abaisse la qualité du métal (SERNEELS 2004).

La notion de minerai a évoluée au cours des périodes, du fait de la progression des techniques (d'extraction et métallurgiques) et donc de l'évolution des procédés, des conditions économiques (coût des transports) et des conditions politiques (conflits). En effet, de tous temps, les roches ont été considérées comme des minerais, à condition qu'ils soient techniquement et économiquement exploitables (SERNEELS 1998. SERNEELS 2004). Ces conditions ont donc considérablement évoluées dans le temps. Aux périodes anciennes, les hommes pouvaient utiliser des minerais à haute teneur en fer (50% et plus) ou des minerais plus pauvres, selon les ressources locales. De même, ils pouvaient exploiter de petits gisements locaux qui ne sont même plus indiqués maintenant sur les cartes de potentiel minier.

Pour les périodes anciennes, un bon minerai est celui qui est facile à exploiter (SERNEELS 2004). Les gisements de minerai de fer sont facilement identifiables par leurs teintes rouges et jaunes. A l'Age du Fer, les minerais de fer ont pu être obtenus de manière assez simple. Ils ont pu être ramassés à la surface des champs labourés ou dans le lit des rivières. Les gisements de faible profondeur ont pu être atteints par des exploitations à ciel ouvert, par le creusement de minières, c'est-à-dire des excavations d'extension et de profondeur limitée, de forme plus ou moins circulaires. (SERNEELS 2004).

Ce n'est que plus tard, que les mineurs ont exploité des filons souterrains et qu'ils ont mis au point des techniques plus avancées pour résoudre des problèmes liés à l'abattage des roches (outils, utilisation du feu), aux soutènements des galeries (boisage), l'aérage (puits d'aération, galerie d'aération), au drainage de l'eau d'infiltration (galerie d'exhaure, système de pompage) et le transport vertical et horizontal (treuils, voies de roulage, chien de mines). (SERNEELS 2004)

Ces activités peuvent être identifiées archéologiquement par des déblais stériles rejetés en périphérie (haldes). L'exploitation en surface par des minières, souvent juxtaposées, dessine un paysage chaotique. La datation des minières est difficile, car cette méthode d'exploitation a été utilisée jusqu'à des périodes récentes.

- PREPARATION DU MINERAI

La préparation du minerai a trois objectifs: enrichir la teneur en fer, calibrer la taille des fragments de minerai et améliorer le comportement du minerai lors du processus de réduction. Elle se fait par la combinaison de traitements thermiques (chauffage) et mécaniques (tri, concassage et lavage). (SERNEELS 1998 ; SERNEELS 2004)

Le tri commence dès l'abattage avec une sélection des minerais les plus riches, au détriment des roches stériles. A la sortie de la mine, le concassage améliore le tri et transforme le minerai en fragments de quelques centimètres de côté. Le concassage s'effectue avec un maillet de pierre ou des masses en métal, sur une table de concassage, qui peut ressembler à un grand bloc de pierre ou un affleurement naturel de la roche. (SERNEELS 2004).

Ces outils et les structures de concassage ne sont pas les vestiges archéologiques les plus fréquents. Les résidus de traitements sont les traces les plus caractéristiques des aires de concassage. Ce sont de fines particules de minerais aux arêtes vives pouvant ressembler à du sable ocre rouge. (SERNEELS 2004).

Le lavage permet d'enrichir les concrétions ferrugineuses, prises dans une gangue meuble de sable ou d'argile. Lorsqu'on plonge le minerai dans l'eau, le sable ou l'argile est mise en suspension. La technique la plus simple est de remuer un panier rempli de fragments de minerai dans une auge remplie d'eau. Les bassins alimentés en eau sont apparus durant l'Antiquité et étaient d'abord utilisés pour les métaux plus précieux. Pour les périodes les plus anciennes, les opérations de lavage ne laissent que peu de vestiges, juste des simples fosses contenant des boues de lavages (difficilement différentiables des fosses remplies d'argile de colluvionnement). (SERNEELS 2004).

Les traitements thermiques (ou grillage) consistent à chauffer le minerai sur un bûcher à une faible température en milieu oxydant. Cette étape a deux objectifs. D'abord, elle permet l'évacuation des gaz volatiles. Lors du chauffage, le soufre (SO_2) des sulfures, le dioxyde de carbone (CO_2) des carbonates et l'eau (H_2O) des hydroxydes sont partiellement évacués du minerai. Les atomes de fer peuvent alors se combiner avec les atomes d'oxygène pour former des oxydes. Lors de cette étape, la teneur en fer augmente beaucoup du fait du départ des autres éléments, surtout dans le cas des carbonates. La disparition du soufre permet également d'avoir un métal de meilleure qualité. Enfin, le grillage provoque une micro fracturation des grains de la roche. Sous l'effet de la chaleur, le minerai devient friable et cet éclatement facilite le concassage des blocs trop durs. D'autre part, cette fracturation permet de faciliter la diffusion des gaz réducteurs au cours de la réduction. La technique la plus simple est de jeter des minerais dans un foyer pour quelques heures. Les seuls vestiges archéologiques caractéristiques de cette étape sont des structures rubéfiées et des fragments de minerais rougeâtres. (SERNEELS 2004).

Les fragments de minerai grillés et calibrés retrouvés sur de nombreux sites de réduction montrent que les traitements mécaniques et thermiques étaient familiers.

- LA REDUCTION

La réduction est l'étape la plus importante de la chaîne opératoire. C'est celle de l'obtention du métal à partir du minerai. La réduction est un ensemble de réactions physiques et chimiques entre les éléments du minerai et ceux du gaz réducteur. (SERNEELS 1998 ; SERNNELS 2004 ; CABBOI & ALII 2007).

Réactions chimiques théoriques

Dans le minerai, les atomes de fer se situent dans des minéraux oxydés. Le fer métallique s'obtient par la rupture des liaisons entre les atomes de fer et ceux d'oxygène, par un transfert d'électrons. Cette action ne peut se faire que par des conditions particulières de température et de pression partielle en oxygène (donc présence obligatoire de gaz réducteur). (SERNEELS 1998; LEROY & MERLUZZO 2004).

En brûlant, le charbon de bois dégage du monoxyde de carbone (CO), qui réagit avec les atomes de fer pour former successivement des minéraux oxydés de moins en moins riches en oxygène jusqu'au fer métallique, et du gaz carbonique (CO2). Ces réactions sont plus moins théoriques car du métal peut apparaître directement dans la magnétite (Fe3O4). De plus, la wüstite apparaît au moment où la gangue se liquéfie et se transforme en scorie arrêtant net alors toute possibilité ultérieure de réduction des oxydes de fer.

Réduction des Oxydes de fer par les monoxydes de carbone
$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + CO_2$
$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3\ FeO + CO_2$
$FeO + CO_2 \rightarrow Fe + CO_2$

Température

Cet ensemble de réactions démarre à partir de 700°C, mais elle est vraiment dominante vers 1000°C. Plus la température et la quantité de monoxyde de carbone sont élevées, plus les réactions se font facilement. Ces températures sont nettement inférieures au point de fusion du fer, qui est de 1535°C, ce qui fait que le métal est obtenu dans ces conditions à l'état solide. (SERNEELS 1998 ; LEROY & MERLUZZO 2004 ; CABBOI & ALII 2007).

Réduction directe et indirecte

On distingue deux méthodes principales pour produire du fer: la voie directe et la voie indirecte, qui se sont succédé dans le temps. . (SERNEELS 1998 ; LEROY & MERLUZZO 2004 ; CABBOI & ALII 2007).

La méthode directe se déroule dans des conditions de basse température. Il s'agit d'une réduction que l'on peut qualifier d'« incomplète » puisque seule une partie des oxydes de fer sont transformés en fer métallique. Elle est réalisée dans un bas fourneau, et le métal formé à l'état solide est pauvre en carbone. A contrario, les scories sont riches en oxydes de fer. Cette masse de fer doux est ensuite épurée pour obtenir le « lingot ». C'est à partir de ce demi-produit que l'on forge les objets en fer. (SERNEELS 1998; LEROY & MERLUZZO 2004).

La méthode indirecte se caractérise par des températures plus hautes. C'est une réduction plus complète, réalisée dans un haut fourneau. On obtient de la fonte riche en carbone, formée à l'état liquide (la température de fonctionnement du four est supérieure à celle de la liquéfaction du métal), et des laitiers pauvres en fer. La fonte obtenue, ne peut pas être forgée en l'état car trop cassante. Elle donc être décarburée. C'est cette étape supplémentaire qui a donné son nom à ce procédé : « méthode indirecte ». Dans les premiers temps, à l'issu de la cette étape, on obtenait une masse de métal assez semblable à une masse brute de réduction issue d'un bas fourneau. Aussi, devait-elle être épurée pour obtenir un demi-produit, distribué ensuite dans les forges d'élaboration. (SERNEELS 1998 ; LEROY & MERLUZZO 2004).

La méthode directe semble être utilisée en Europe occidentale de l'Age du Fer au Moyen Age. Par contre, l'apparition du haut fourneau reste encore un sujet de discussion. Selon des sources écrites, la métallurgie indirecte est apparue en Wallonie, en Rhénanie et en Lombardie à la fin du 13^{e} siècle. Cependant, la découverte de vestiges de haut fourneau du 11^{e}-12^{e} siècle en Suède et en Allemagne Rhénane tend à montrer une apparition plus précoce. (SERNEELS 1998).

Fonctionnement du bas fourneau

Il existe une dizaine de types de bas fourneaux différents. Cependant, leur fonctionnement est toujours globalement le même.

D'abord, le four est mis à préchauffer, peut être avec du bois en premier lieu, mais sûrement avec du charbon de bois ensuite. Ensuite, la cuve est remplie par la partie supérieure avec une alternance de couche de minerai et de charbon de bois. La transformation du minerai a lieu au cours de sa descente dans le four. Lorsque le charbon du bas de la cuve sont réduits en cendre, les couches supérieures descendent vers le fond du four. Les fragments de minerai descendent donc

progressivement vers les zones les plus chaudes, aux débouchées des arrivées d'air, et donc progressivement se transforment (Figure 2). (LEROY & MERLUZZO 2004).

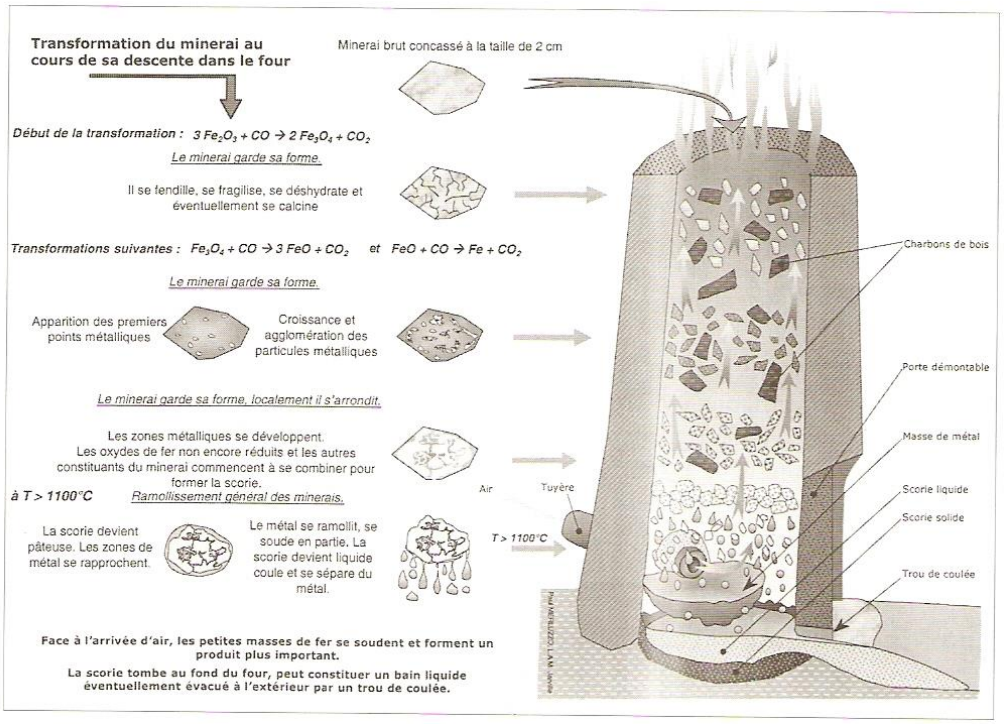

Figure 2 : Représentation schématique du fonctionnement d'un bas fourneau à air pulsé et de la réduction du minerai durant sa descente (dessin issu de LEROY & LERLUZZO 2004)

La réaction commence dans la partie supérieure de la cheminée. Les oxydes de fer (Fe_2O_3) et le monoxyde de carbone (CO), généré par la combustion du charbon de bois, se combinent pour former un oxyde de fer (Fe_3O_4) moins riche en oxygène et du dioxyde de carbone (CO_2), qui lui s'échappe par la cheminée. Le minerai garde sa forme mais se fendille.

Vers le bas de la cuve, l'oxyde de fer et le monoxyde de carbone se combinent pour donner du fer métallique et du dioxyde de carbone. Les grains de minerai conservent globalement la même forme mais s'arrondissent tout de même localement. Certains oxydes de fer ne se réduisent pas car ils n'entrent pas en contact avec l'agent réducteur du fait de la scorification du reste de la gangue qui englobe les grains d'oxydes de fer. Ces oxydes de fer et les autres constituants du minerai se combinent pour former une scorie plus ou moins riche en fer.

Au niveau des tuyères, qui apporte de l'oxygène, la température est supérieure à 1100°C. La scorie est liquide et va s'écouler entre les grains de minerai transformés en fer métallique. Les petites concentrations de métal se soudent alors et constituent progressivement une masse de fer de plus en

plus grosse. La scorie tombe au fond du four. Selon la morphologie du bas fourneau, elle peut constituer soit un bain liquide au fond d'une fosse sont être évacuée à l'extérieur par une porte.

L'extraction de la masse peut se faire de deux manières: destruction totale du four ou destruction uniquement de la porte et passage de la masse par celle-ci (LEROY & MERLUZZO 2004). Ces deux manières sont connues, par comparaisons ethnologiques (exemple des fours Dogons, Afrique) et expérimentale ; et également par étude des vestiges archéologiques des ateliers de réduction fouillés. La masse, peut se présenter sous différentes formes, suivant la densité des inclusions de scories de réduction et peut également être compacte ou spongieuse, voire les deux.

Les déchets de réduction issus des bas fourneaux

La scorie est le résultat d'une interaction des oxydes de fer et des constituants de la gangue. Leur température de fusion se situe aux environs de 1150-1250°C, pour les scories de type fayalitique (SERNEELS 1998). Les scories contenant du calcium ont des températures plus élevées de l'ordre de 1300-1400°C. C'est-à-dire, que la scorie devient liquide et s'écoule, tandis que la masse de métal reste solide au niveau des tuyères.

Les sites de réduction livrent une grande quantité de scories de différents types (LEROY & MERLUZZO 2004). Les scories sont des déchets, qui s'accumulent à proximité de l'atelier et forment des amas, que l'on appelle les ferriers (LEROY & MERLUZZO 2004). Ils recouvrent parfois des structures abandonnées, comme d'anciens fours. Ils sont habituellement de forme circulaire ou ovale. Ils sont difficiles à dater. La présence de mobilier, comme des tessons de céramique permettent de donner une fourchette chronologique. La présence de charbon de bois permet de réaliser des datations absolues par carbone 14. Ils peuvent atteindre des dimensions impressionnantes et sont donc très visibles dans le paysage lors des prospections et sur les photographies aériennes. Mais la majorité des ferriers sont de dimensions modestes et leur faible élévation les différencie à peine de la topographie du terrain.

Les scories de réduction peuvent prendre différentes formes, aspects, compositions chimiques et minéralogiques. Leur examen permet de repérer des indices sur les modes opératoires, la conduite du fourneau, et sur certains aménagements de ceux-ci. (SERNEELS 1998; LEROY & MERLUZZO 2004).

Les scories écoulées correspondent à une accumulation de coulées en cordon à la base d'un bas fourneau. Elles coulent par un trou fait dans la partie basse du four, puis la coulée refroidit à l'extérieur. Elles sont caractérisées par une accumulation de coulures en cordons ou en boudins

individualisés. (LEROY & MERLUZZO 2004).

Les scories internes se solidifient à l'intérieur du fourneau. Leurs formes sont très variées. Leur surface est irrégulière et constituée d'irrégularités plus ou moins proéminentes. Certaines scories contiennent une grande quantité de charbon de bois. Certaines scories internes peuvent mouler le fond du four et présenter alors une surface inférieure convexe très proche de celle des scories de post-réduction. Les scories internes de four à scories piégées forment des blocs circulaires ou ovoïdes de plusieurs dizaines de kilogrammes. (LEROY & MERLUZZO 2004).

La surface de ces scories présente une couleur gris sombre, avec des reflets métalliques. Les scories riches en fer métallique sont sujettes à la rouille et prennent une couleur brun-orangé et un aspect terreux et encroûté. Certaines scories contiennent de nombreuses bulles, issues du « dégazage » du liquide. En se refroidissant, la scorie laisse échapper des gaz. Les scories ne sont pas les seuls vestiges produits par la réduction, mais ce sont les plus nombreux. Les sites de réduction livrent très peu de produits métalliques. L'essentiel de la masse de métal est récupéré et transformé. Néanmoins, des fragments de masses peuvent être retrouvés au milieu des déchets. On peut également retrouver des éléments de four. En effet, une exploitation, sur une longue période, amène à la destruction et à la reconstruction de nouveaux fours. Ainsi, dans les ferriers, il n'est pas rare de trouver des fragments de tuyères en argile réfractaire, des bouchons de tuyères, des parois de four. Et avec de la chance, on peut également trouver les fours en position primaire. (LEROY & MERLUZZO 2004).

- L'EPURATION DE LA MASSE DE FER

L'étape suivante est l'épuration de la masse de fer, obtenue par la réduction (Figure 3). L'épuration est une opération au cours de laquelle on traite la masse brute issue du bas fourneau pour obtenir un bloc de métal suffisamment compact et homogène ayant les propriétés mécaniques pour être forgé (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004, CABBOI & ALII 2007).

La masse de fer présente des morphologies très diverses à la sortie du four. Elle n'est pas directement forgeable. La masse est plus ou moins compacte et elle renferme encore des inclusions de scories et de charbons de bois. Dans certains cas, la masse de fer est relativement compacte mais de forme irrégulière. (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004, CABBOI & ALII 2007).

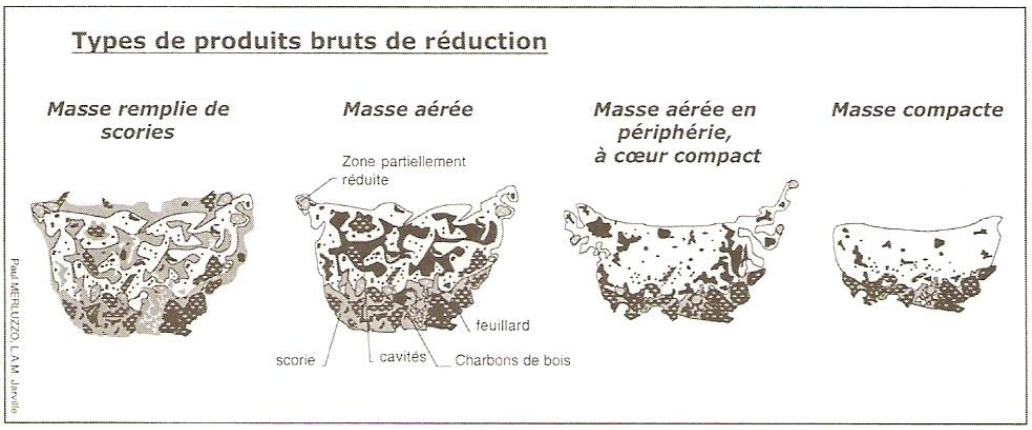

Figure 3 : Représentation schématique des différents types de produits bruts de réduction (LEROY & MERLUZZO 2004)

Les traitements d'épuration sont variables selon la nature de la masse métallique. Les différentes étapes de ce travail sont très mal connus. On pense que :

Dans un premier temps, l'opération vise à nettoyer la masse des scories et des excroissances par quelques coups de marteau à froid (Figure 4). Ensuite, différentes opérations consistent à rendre la masse compacte. Ces opérations sont réalisées à chaud. En début de traitement, le métal n'a pas encore acquis une bonne cohésion et il est donc fragile sous un martelage trop prononcé. Ce martelage permet de renforcer la cohésion et resserre les cavités du métal. Au cours de l'opération, le martelage devient plus puissant, fait disparaître toutes les cavités. Le chauffage à de hautes températures permet de faire « fondre » les scories présentes dans la masse de métal. En fin de compactage, le métal a acquis des propriétés mécaniques et il devient donc forgeable. Les températures élevées de certains traitements altèrent la surface du métal. Pour limiter cet effet, le forgeron utilise du sable, qui fusionne avec le métal pour créer une enveloppe protectrice. (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

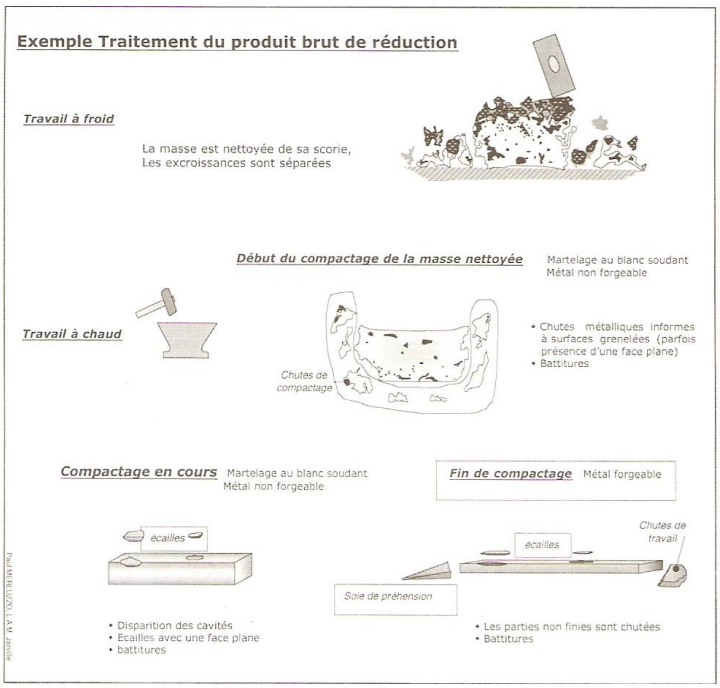

Figure 4 : Représentation schématique des étapes de la transformation du produit brut en produit forgeable (LEROY & MERLUZZO 2004)

Le métal est commercialisé sous forme de demi-produits, autrefois appelés « lingots ». Ils peuvent prendre différentes formes : des haches à douille, des lingots bipyramidaux, et des barres à soies de préhension.

Cette étape produit différents types de déchets. Les chutes métalliques informes à surface grenelées sont caractéristiques du début du compactage. Des écailles avec une face plane, qui se séparent de la masse, sont rejetées en cours de compactage. Les chutes de travail et des écailles sont des déchets de la fin du compactage. Les battitures sont des déchets qui sont communs à toutes les opérations de compactage. Ce sont des gouttelettes de fer oxydées par l'air, qui se détachent de la masse de fer sous le choc du marteau. L'éparpillement des battitures permet de retrouver le négatif de l'emplacement de l'enclume, qui peut avoir disparue. (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

- FORGEAGE DES OBJETS DE FER

L’étape suivante est le forgeage, c'est-à-dire la transformation du bloc de fer épuré en objets de fer fonctionnels. L'organisation et le fonctionnement des forges sont globalement les mêmes depuis l'Age du Fer. Cette phase est pratiquée par le forgeron, à partir de lingot de fer. Il est probable que le forgeron se procurait, selon ces besoins, des lingots de fer provenant d'origine géographique et de qualités différentes. (SERNEELS 1998; SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

Le forgeron doit mettre en forme la masse de métal pour obtenir un objet. Cette opération peut se faire par martelage à chaud ou à froid. Le fer a différentes propriétés, qui permettent aux forgerons

de le déformer plastiquement et de souder des morceaux de fer entre eux à haute température. Pour le martelage à chaud, le forgeron alterne entre des étapes de chauffe et des étapes de déformations au marteau, jusqu'à qu'il ait obtenu la forme souhaitée. Le métal subi différents traitements parmi lesquels : une déformation du métal à froid (pliage, emboutissage, ...) et à chaud (travail de forge), des découpes à chaud et à froid, des enlèvements de matière avec une lime ou une meule, des assemblages à chaud (coulage, soudure, brassage, rivetage, frettage..) et à froid (rivetage, sertissage). (SERNEELS 1998 ; SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

Certains objets peuvent avoir recours à des opérations de finitions et d'autres restent brut de façonnage. Cette étape améliore l'aspect esthétique et technique de l'objet. Elle est effectuée par traitements mécaniques et/ou chimiques. Parmi les traitements thermiques, on peut citer l'affûtage, le polissage, enlèvement de matière pour régulariser la surface, faire apparaître ou disparaître un motif, etc... Certains traitements sont décoratifs: gravure, ciselure, le repoussé, le damasquinage et utilisation d'attaques chimiques pour révéler un motif ou changer la couleur du métal par le dépôt d'un autre métal (étain, bronze). Enfin, certains objets en fer sont assemblés à des matériaux non métalliques (bois, os, corne, cuir), notamment pour l'emmanchement. (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

Ensuite, l'objet va pouvoir être utilisé dans la vie quotidienne. Il va s'user, peut-être se briser. L'utilisateur va demander au forgeron de l'entretenir et de la réparer. Les lames usées sont réaffûtées. Les parties brisées peuvent être remplacées. La réparation des objets se fait par brasure ou par soudure. On recolle les fragments de l'objet avec un métal plus fusible. Le rivetage peut également être utilisé. Les objets inutilisés peuvent être recyclés. (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

Toutes les forges ne fonctionnent pas de la même manière. Certaines forges fabriquent des objets entiers, tandis que d'autres réalisent une seule étape de la fabrication. Certaines forges peuvent être spécialisées dans la fabrication de quelques objets, tandis que le plus grande nombre proposera toute fabrication, entretiens et réparation. Les forgerons ne travaillent pas seuls, ils s'associent avec d'autres corps de l'artisanat. Sur les sites archéologiques, on note la présence proche des forgerons avec les bronziers. Leur collaboration permet de fabriquer des objets complexes et composites. (SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004).

L'atelier de forge comprend un certain nombre d'installations. Le forgeron dispose d'un foyer de forge ouvert avec une ventilation contrôlée par des soufflets pour chauffer le métal, des outils de préhension du métal chaud (pinces de forge), des outils de frappe du métal (marteaux), des surfaces de frappe (enclume) et des baquets d'eau pour refroidir le métal brutalement. L'atelier de forge spécialisé a d'autres outils nécessaires à leur production spécifique. (SERNEELS, MELUZZO &

LEROY 2004).

Les vestiges retrouvés en fouilles sont de différents types. Il y a les déchets, des scories en forme de culots moulant le fond du foyer, des battitures, des chutes métalliques, des ratés de fabrication. L'étude des déchets retrouvés sur l'atelier permet parfois de connaître les matières premières et les produits finaux, qui ont disparus du site. Si les déchets de réduction se voient aisément dans le paysage, les déchets de forge sont retrouvés à la faveur de la fouille. Les quantités sont généralement réduites à quelques kilogrammes. On peut également retrouver des structures, comme le foyer et l'enclume. La découverte des outils est plus rare. (SERNEELS 1998 ; SERNEELS, MELUZZO & LEROY 2004; CABBOI & ALII 2007).

1.3. Zones de réduction et zones de forge

Ces quinze dernières années, de nombreux sites sidérurgiques ont été mis au jour par les archéologues, notamment grâce aux fouilles préventives. Les études régionales ont permis de mettre en évidence des zones de plus ou moins grosses productions à l'Age du Fer en France. Mais ces zones correspondent surtout à des lieux où la recherche sur la métallurgie ancienne est plus avancée, liée principalement à l'activité d'un ou plusieurs archéologues sensibilisés au sujet.

On commence à apercevoir une représentation de la production du fer en Gaule à l'Age du Fer (DOMERGUE 2007). Le nombre de sites de réduction connus a beaucoup progressé ces dernières années. Deux sites de production primaire se distinguent par leurs quantités de déchets et le nombre de fours retrouvés (DOMERGUE 2007). Ce sont des sites de réduction très important : les Clérimois (Sens, Yonne) et la Bazoge (Le Mans, Sarthe).

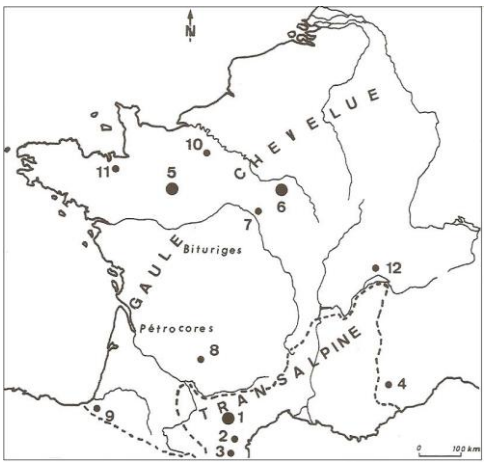

Figure 5: Centre de Réduction en Gaule à la fin de l'Age du Fer (Carte: DOMERGUE 2007)

1. Les Martuys(Aude) ; **2.** Corbières (Aude) ; **3.** Canigou (Pyrénées-Orientales) ; **4.** Mercantour (Alpes-Maritimes) ; **5.** Le Mans (Sarthe) ; **6.** Les Clérimois (Yonne) ; **7.** Les Ferrys (Loiret) ; **8.** Courcan (Lot) ; **9.** Errola (Pyrénées-Atlantique) ; **10.** Haute-Normandie ; **11.** Bretagne ; **12.** Bellaires (Jura Suisse)

Le site des Fouetteries, sur la commune des Clérimois, a été découvert des travaux d'aménagements de l'autoroute A5 entre Sens et Troyes (Figure 5). Il a fait l'objet de fouilles préventives. Ce site a connu plusieurs phases d'occupations entre le 4e siècle avant et le 5e siècle après JC. L'activité a connu une coupure à la Tène moyenne avant de reprendre à la Tène finale. Au cours de cette activité, différents types de bas fourneaux ont été employés. Le bas fourneau à scorie piégée et donc à utilisation unique a été utilisé au cours du Hallstatt, puis il a été abandonné et remplacé par des bas fourneaux à scorie écoulée. La production, entre le 1er siècle avant et le 1er siècle après JC, a été évaluée à 4 000 tonnes (DUNIKOWSHI ET CABBOI 1995 ; MANGIN 2004 ; DOMERGUE 2007).

Le site de la Bazoge, près du Mans dans la Sarthe (Figure 5), a été découvert sur le tracé de l'autoroute et l'A28, entre Alençon et Le Mans. La fouille préventive a mis au jour de nombreux bas fourneaux. L'activité sidérurgique du site est connue sur une longue période, entre le premier Age du Fer et la fin du 2e siècle après JC. Trois types de bas fourneaux ont été repérés. Le bas fourneau à scorie piégée à utilisation unique a été employé à partir du Hallstatt jusqu'à la Tène moyenne, où il est remplacé par un bas fourneau à scorie piégée mais à utilisation multiple. Enfin, ce dernier est ensuite remplacé par un bas fourneau à scorie écoulée. Aucune évaluation de la production de fer n'est connue. (MANGIN 2004 ; DOMERGUE 2007).

D'autres centres de productions du fer sont connus en France, de production plus modeste : Corbières (Aude), Canigou (Pyrénées-Orientales), Mercantour (Alpes-Maritimes), Les Ferrys (Loiret), Courcan (Lot), Errola (Vallée de Baigorri, Pyrénées-Atlantiques), la Haute-Normandie et en Bretagne (Figure 5) (DOMERGUE 2007). Ces découvertes sont souvent le reflet des zones d'étude des archéologues.

Pendant longtemps, la découverte de forge de l'Age du Fer est restée fort rare (MANGIN 2004). Néanmoins, la découverte d'ateliers lors de fouilles préventives s'est considérablement accentuée dans l'ensemble du territoire (DOMERGUE 2007).

On peut citer l'exemple bien documenté de la forge de Bibracte (Figure 6). Situé sur l'oppidum principal des Eduens, le quartier des forgerons et des bronziers se situe près de la Porte du Rebout. L'activité de cette forge est attestée entre 80 et 40 avant JC. Elle est ensuite remplacée par un atelier de bronziers. La forge était située dans une construction semi-enterrée de 4.50 mètres de côtés. Cette situation lui fournit une isolation thermique, une protection des vents et offre la pénombre nécessaire aux activités métallurgiques. Plusieurs foyers ont été retrouvés. Ils sont situés à même le sol. L'un d'eux semblait lié à un soufflet. Le matériel archéologique découvert dans cet atelier

permet de connaître la production. Il s'agit d'une production standardisée de fibules en fer. (GUILLAUMET 1996 ; FICHTL 2000 ; FICHTL 2004).

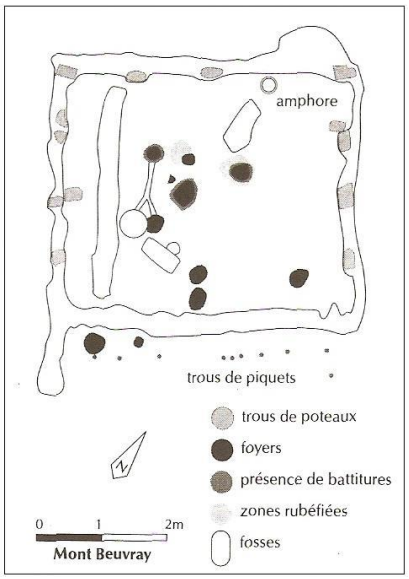

Figure 6 : Forge de l'oppidum de Bibracte (Saône-et-Loire)
(Plan issu de : FICHTL 2000)

Ces dernières années, des chercheurs se sont intéressé plus particulièrement à la forge et à la caractérisation de ses déchets.

Lionel Orengo (ORENGO 2003) a tenté de comprendre l'économie du fer dans les sociétés de l'Age du Fer et romaines de la Grande Limagne d'Auvergne, avec une méthode basée sur la complémentarité d'approches pluridisciplinaires. Il a effectué des analyses quantitatives et physico-chimiques des rebuts de production et des ébauches provenant des ateliers et il a examiné attentivement les objets et les fragments de fer divers retrouvés sur les habitats.

Une étude a également été réalisée sur les scories en culot de forge du site du Puy-de-Grâce (Perpezac-le Noir, Corrèze), daté de La Tène Finale (LE CARLIER, LERIY & MERLUZZO 2007). L'étude de ces scories permet de comprendre et de restituer l'activité des forgerons. Ces recherches ne permettent pas de déterminer la nature des travaux effectuées au sein de la forge, mais elles permettent de connaître l'aménagement du foyer de forge, le fonctionnement du foyer, les températures du feu et les adjuvants de protection des surfaces…

D'autres travaux sont en cours de réalisation sur les ateliers de l'Age du Fer en France, notamment la thèse de Sylvain Beauvais et de Marion Béranger.

De nos jours, le nombre de sites sidérurgiques connus reste encore trop restreint pour une synthèse nationale (DOMERGUE 2007). Néanmoins, on commence à entrevoir l'évolution technique des bas-fourneaux et l'organisation des ateliers durant l'Age du Fer à travers les trois grands sites de réduction. Cela montre bien que les Celtes excellaient dans ce domaine. Néanmoins, de nombreux points restent à éclaircir, notamment le contexte socio-économique : le statut des ouvriers, le contrôle de ces ateliers, la destination du fer (MANGIN 2004 ; DOMERGUE 2007).

1.2.1. Historique de la recherche sidérurgique en Bretagne

La paléosidérurgie n'a jamais fait l'objet de synthèse au niveau régional en Bretagne. Il y a cependant des études, mais elles sont surtout locales. Elles sont liées surtout aux zones d'activité des archéologues et des prospecteurs. L'essentielle des informations rassemblées dans ce travail sont des données sporadiques, glanées au fil du dépouillement bibliographique.

- TEMOIGNAGES ANCIENS

L'activité sidérurgique ancienne nous a laissé des vestiges plus ou moins visibles en Bretagne. Puzenat (PUZENAT 1939) et Azema (AZEMA 1911), tous deux géologues, sont les premiers à s'intéresser à cette discipline au début du 20e siècle. Ils se sont intéressés aux minerais ferrugineux et ont établi un inventaire des sites à scories du Finistère.

- LES ANNEES 1950-1960

Quelques études ont été menées sur le thème de la métallurgie dans les années 1950 et 1960. Ces premières études ne concernent que les objets liés à la sidérurgie ancienne. Ainsi, P-M. Duval (DUVAL 1952) s'intéresse aux métiers de la forge ancienne, à travers les objets retrouvés comme les pinces de forgerons. P-R. Giot (GIOT 1964) s'est appliqué à dresser un état des connaissances concernant les lingots bipyramidaux et une carte de répartition des découvertes. D'autres études se sont intéressées à la métallurgie de périodes plus récentes, comme M. Denis (DENIS 1957), qui a étudié l'impact de la métallurgie sur la forêt de Paimpont entre le 16^{e} et le 19^{e} siècle.

- LES ANNEES 1970

Les années 1970 sont marquées par la découverte par J-P. Le Bihan sur le site de Kermoisan à Quimper d'un atelier de forge. Cet atelier regroupait un nombre important de foyers et de bas-fourneaux, datés de la fin de la Tène (GALLIOU & LE BIHAN 1974 ; LE BIHAN 1974).

- LES ANNEES 1980

Les opérations de fouilles révélant des indices de métallurgie sont rares dans la décennie des années

1980. On peut le Braden, à Quimper. Ce site, fouillé en 1984 par J-P. Le Bihan, a livré une fosse qui peut s'apparenter à un foyer de forge, ainsi qu'une pince de forgeron (LE BIHAN 1984a et 1984b).

Par contre, c'est à cette période que les programmes de prospection se sont intensifiés sur le territoire breton. On distingue deux types de prospections : les prospections inventaire et les prospections thématiques. Les prospections inventaires visent à recenser le maximum de données archéologiques sur un territoire donné. Elles sont nombreuses en Bretagne. Les prospections thématiques sont moins nombreuses. On peut noter les prospections de Ph. Lanos dans la région du Combourg (LANOS 1984), et celle de Guy Larcher dans la forêt de Paimpont (LARCHER 1990). Mais ce n'est qu'à partir de 1989, que ces prospections s'inscrivent dans un programme de recherche sur la paléométallurgie du fer à Paimpont et ses environs (LARCHER 1992).

La sidérurgie ancienne a fait l'objet de quelques publications. En 1980, Galliou P. a fait un premier bilan des recherches sur la sidérurgie ancienne dans le cadre d'un colloque. Il expose les ressources minières de la Bretagne et les quelques découvertes métallurgiques fortuites faites au cours de la dernière décennie.

En 1984, Ph. Lanos publie dans les Dossiers du CeRAA une première étude locale permettant une première reconnaissance des « fonderies » de fer dans les arrondissements de Saint-Malo et Dinan, et plus particulièrement dans la région de combourg. Elle a également permis de montrer les problèmes liés à la datation des vestiges.

En 1989, la ville de Quimper est choisie pour accueillir le colloque de l'AFEAF permettant de faire le point des recherches menées sur différentes thématiques, notamment l'artisanat et le travail des métaux. Le bilan montre que malgré l'identification de gisements et la découverte de scories et de quelques structures, les ateliers de réduction sont absents et donc inconnus (LANGOUET 1990;COLLECTIF 1990). La même année, P. Galliou dresse un second inventaire des scories finistériennes dans la Carte Archéologique de La Gaule (GALLIOU 1989). Enfin, J-C. Meuret publie ses recherches sur la métallurgie dans le Sud-Est de l'Ille-et-Vilaine dans les Annales de Bretagne (MEURET 1989a) et dans les Mémoires d'Archéologie et d'Histoire de Bretagne (MEURET 1989b).

- LES ANNEES 1990

Plusieurs opérations de fouilles et de sondages archéologiques ont été effectuées au cours des années 1990. Ces opérations concernent deux zones géographiques: d'une part, Paimpont et ses communes voisines au début des années 1990 et la vallée de la Rance à la fin de la décennie, d'autre part.

On a d'abord fouillé un bas-fourneau au bord de l'étang du Perray (Plélan-le-Grand, Ille-et-

Vilaine). Ce site a été découvert suite à des travaux de la chaussée, qui ont obligé à baisser le niveau de l'eau de l'étang. Le sondage (1989) et l'opération de sauvetage (1991), effectuée par G. Larcher ont permis de découvrir un bas-fourneau et ses structures annexes, daté de la période gauloise (LARCHER 1991b ; BRULE-GACON & Alii 1993).

La même année, l'équipe de Guy Larcher a découvert le site de Couedouan (Plélan-le-Grand, Ille-et-Vilaine), à partir d'un culot de four et de quelques scories et morceaux de parois apparaissant dans la coupe d'un fossé. Le site a fait l'objet d'un sondage et d'une intervention de sauvetage en 1991. C'est en fin de compte l'étude d'un site complexe qui a été réalisée, comportant plusieurs bas fourneaux, une fosse dépotoir et sans doute d'un abri (Larcher 1991c).

En 1993, le site de la Lande du Halgros (Plélan-le-Grand, Ille-et-Vilaine) a été sondé dans le cadre d'un mémoire de maîtrise universitaire par P. Guérisse. Le sondage de cette zone rouge à scories a permis la découverte d'une fosse de grillage du minerai, d'une zone de charbonnage et de mobilier sidérurgique (culot, scorie et parois), mais il n'a pas permis l'observation d'un bas fourneau (GUERISSE 1993a ; GUERISSE 1993b et GUERISSE 1994).

En 1999, le site du Rocher Abraham (Saint-Pierre-de-Plesguen, Ille-et-Vilaine) a fait l'objet d'un sondage (VIVET 1999a ; VIVET 2001). Il avait été repéré en 1990 lors de prospections inventaire du nord de la Haute-Bretagne. Le sondage a permis de mettre en évidence un ensemble de structures liées à la réduction du minerai de fer, dont l'une des structures est datée du second Age du Fer. D'autres structures annexes ont été mises au jour, comme des aires de charbonnages et des poches d'argiles, ayant pu servir de matériaux de construction des bas-fourneau.

La même année, le site de la Pilleverte II (Plesder, Ille-et-Vilaine) a été sondé et a permis de mettre au jour un bas-fourneau gallo-romain, daté des 2^{e}-3^{e} siècles après JC (VIVET 1999b).

Les différentes prospections se poursuivent en Bretagne au cours des années 1990. Les découvertes sidérurgiques de la forêt de Paimpont se font plus nombreuses d'années en années, et cette fois-ci, elles ont un caractère officiel auprès du Service Régionale de l'Archéologie. Les prospections du nord de la Haute-Bretagne, et plus particulièrement dans la vallée de la Rance, reprennent à la fin des années 1990, avec J-B. Vivet (VIVET 1999a ; 1999b et 1999c). Ces prospections permettent de découvrir de nombreux gisements de scories et d'identifier le contexte géologique de la région (CHAUVEL, VIVET & BONNIOL-JARRIER 1999).

Quelques publications liées à la sidérurgie ancienne sont parues au cours des années 1990.

En 1990, Gilles Leroux et Alain Provost publient un inventaire des vestiges archéologiques de l'Ille-et-Vilaine, et dressent ainsi le premier inventaire des résidus métallurgiques dans le département (LEROUX & PROVOST 1990).

En 1993, Guy Larcher fait une intervention dans le cadre du colloque de Besançon (LARCHER 1994). Il a exposé le résultat de la sidérurgie dans la région de Paimpont depuis les périodes anciennes aux périodes plus récentes. De plus, le résultat de la fouille de sauvetage du Perray a fait l'objet d'une publication dans la Revue Archéologique de l'Ouest (BRULE-GACON & Alii 1993).

En 1994, la région de Paimpont a fait l'objet d'un mémoire de maîtrise, par Pauline Guérisse. Ce travail s'est accompagnée de prospection et du sondage de la Lande du Halgros (GUERISSE 1993a ; GUERISSE 1993b et GUERISSE 1994).

- LES ANNEES 2000

Plusieurs sites ont révélé des activités métallurgiques au cours des années 2000. La plupart des sites fouillés sont en relation avec les programmes de prospection de la région de Paimpont et de la Vallée de la Rance.

En 2000, le site de la Ville Pierre II (Quévert, Côtes-d'Armor) fait l'objet d'une opération archéologique par l'équipe de J-B. Vivet (VIVET 2000 ; VIVET, CHAUVEL & NICOLLIN 2003). Cette fouille entre dans les travaux déjà entrepris lors des années précédentes, à savoir la caractérisation des structures de réduction.

Fouillé depuis 1991, le site du Camp Saint-Symphorien (Paule, Côtes-d'Armor) a révèle l'existence d'une forge, au nord-est du site (MENEZ 2002 ; MENEZ & BERANGER 2006 ; MENEZ & BERANGER 2007 ; MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007). Cette forge a été fouillée en 2001, par Yves Menez, associé avec J-B. Vivet pour cette opération. Cette collaboration a permis de mettre en place un protocole de travail, pour permettre de récolter toutes les données nécessaires à l'étude complète de cette forge. Les archéologues ont distingué deux phases d'occupation du sol. Ils ont également retrouvé deux foyers et l'enclume en place.

Ces deux dernières années, plusieurs sondages ont été réalisés dans la forêt de Paimpont, les zones rouges du Glyorels I et II ont révélé chacun un bas-fourneau (VIVET 2007b). Le site du Bois-Jacob (Paimpont, Ille-et-Vilaine), fouillé en 2007 et 2008, a permis de mettre au jour des bas-fourneau datés du premier Age du Fer et une « mine » de fer (VIVET 2007b). Tandis que le site de Vert pignon (Paimpont, Ille-et-Vilaine), également fouillé en 2007, a permis de mettre au jour une activité métallurgique médiévale.

Les différentes prospections se poursuivent en Bretagne au cours des années 2000. Les découvertes sont toujours aussi nombreuses dans la forêt de Paimpont. Les prospections du nord de la Haute-Bretagne et la Vallée de la Rance font toujours l'objet de prospections thématiques. Enfin, depuis 2004, Vincent Le Quellec réalise, dans le cadre de son doctorat, des prospections thématiques sur le département du Finistère (LE QUELLEC 2007). Ce travail a permis de recenser 180 bas-fourneaux

toutes périodes confondues.

Quelques publications sont parues au cours des années 2000.

En 2002, Catherine Bizien-Jaglin, Patrick Galliou et Henri Kerébel publient un inventaire des vestiges archéologiques des Côtes-d'Armor, et dressent ainsi le premier inventaire des résidus métallurgiques dans le premier inventaire des vestiges sidérurgiques du département (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

En 2004, le thème du colloque de l'AFEAF était centré sur la sidérurgie ancienne. Ainsi, les interventions de Yves Menez sur la forge de Paule (MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007) et de J-B. Vivet sur l'étude de la sidérurgie en Haute-Bretagne (VIVET 2007) ont présenté l'état de la recherche en Bretagne.

Au cours de ces dernières années, nous avons également pu voir l'émergence de nouvelles études mettant en relation sidérurgie et environnement. Ainsi, J-F. Duval (DUVAL 1990) s'est intéressé aux défrichements liés à la métallurgie de Paimpont aux époques médiévales, tandis que J-C. Oillic (OILLIC 2007) a réalisé une étude paléo-environnementale sur les derniers millénaires de la même région.

1.2. Présentation géographique et géologique - Nature et origine des matières premières

La région Bretagne est une péninsule de l'Ouest de la France (Figure 7). C'est un vaste territoire de 27 208 km². Il est composé de quatre départements : le Finistère, les Côtes d'Armor, le Morbihan et l'Ille-et-Vilaine.

Figure 7 : Carte de la Bretagne (carte issue des Editions Atlas)

Sa limite orientale se situe sur une ligne imaginaire reliant Avranches-Fougères- Châteaubriant - Redon. La Bretagne est bordée par la mer : la Manche au Nord et l'Océan Atlantique à l'ouest et au sud. C'est une région très maritime, avec environ 2730 km de côtes très découpées. Elles offrent une succession de baies profondes et de hautes falaises taillées dans le granite et le gneiss, d'estuaires, de vasières et de marais.

L'une de ses caractéristiques est l'abondance de ruisseaux et de rivières qui ruissellent sur les roches imperméables, et creusent d'étroites vallées encaissées se jetant ainsi à la mer dans de longs estuaires. Ceux-ci, plus ou moins ramifiés, sont soumis aux marées, dont les effets se font sentir très loin dans les terres, 10 à 15km pour les petites rivières, 75km pour les fleuves).

1.2.1. La géologie de la Bretagne et les ressources en minerais de fer

La Bretagne s'inscrit dans le Massif armoricain. C'est une ancienne chaîne de montagne, de nature hercynienne, qui s'étend sur la Bretagne, une partie des pays de la Loire (Mayenne, Sarthe, Loire-Atlantique et Maine-et-Loire) et la Basse-Normandie (Orne), soit sur 65 000 km². De nos jours, la Bretagne est une pénéplaine, constituée de petits monts et de vallées encaissées, de buttes (menez) ou de crêtes déchiquetées (roc'h).

- HISTOIRE ET STRUCTURATION GEOLOGIQUE GENERALE DU MASSIF ARMORICAIN

La géologie de la Bretagne apparaît comme le résultat d'un ensemble complexe de phénomènes

géologiques, formé de plis hercyniens approximativement est-ouest, séparés par des éléments de socle (GAUDIN 2004, CHAURIS & GUIGUES 1969).

Le Massif Armoricain est constitué de zones de cisaillement majeures (figure 8), qui se manifestent par des roches broyées et jalonnées par des plutons granitiques syntectoniques. Ces grands accidents tectoniques de direction est-ouest ont fait coulisser des ensembles de terrains différents les uns par rapport aux autres. (CHAURIS & GUIGUES 1969 ; ANDRE 2007).

Le cisaillement sud armoricain et le cisaillement nord armoricain séparent le Massif Armoricain en trois grandes zones : la zone nord armoricaine, la zone sud armoricaine et la zone centre armoricaine (Figue 8). (ANDRE 2007). La zone nord armoricaine est située en bordure de la Manche. Cet anticlinal cristallophyllien et granitique est orienté W.SW-E.NE. Il se prolonge jusque dans le Cotentin (CHAURIS & GUIGUES 1969).

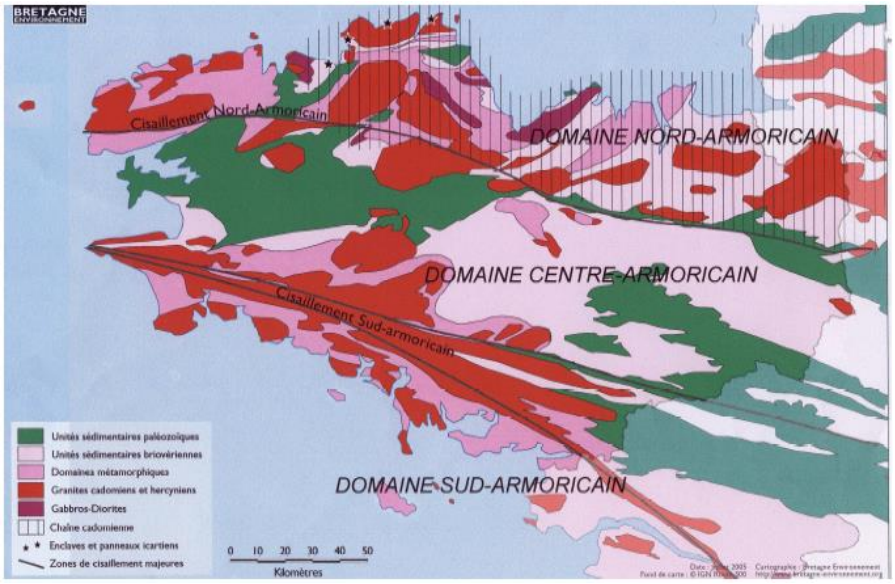

Figure 8 : Carte simplifiée de la géologie de la Bretagne. (Carte issue du site internet : http://perso-sdt.univ-brest.fr/~jperrot/planeteterre/bret-web.pdf)

La zone sud armoricaine est située en bordure de l'Atlantique. C'est un anticlinal cristallophyllien et granitique. Il s'étend depuis la pointe du Raz jusqu'au détroit du Poitou, selon une direction W.NW-E.SE, à l'ouest qui passe progressivement à la direction NW-SE, à son extrémité sud-orientale. Cet ensemble semble nettement plus continu et plus homogène que l'ensemble septentrional (CHAURIS & GUIGUES 1969).

La zone centre armoricaine est une fosse synclinale de nature sédimentaire. Cette zone s'oppose aux deux autres par la rareté voire l'absence totale de formations métamorphiques et la forte présence

des unités sédimentaires paléozoïques et briovériennes (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Les sols bretons témoignent de la très longue histoire géologique du Massif Armoricain. La structure actuelle est l'aboutissement d'une succession de phases de plissements accompagnées de granitisation et d'érosion suivie de sédimentation, échelonnées depuis le précambrien jusqu'à la fin du paléozoïque (CHAURIS & GUIGUES 1969).

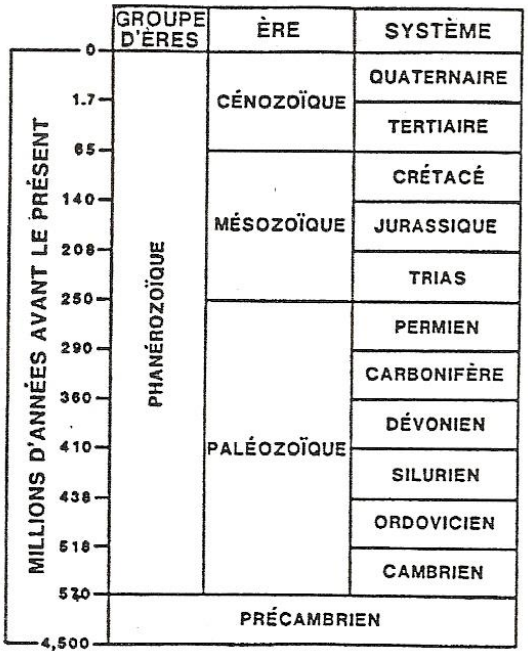

Figure 9 : Echelle chronostratigraphique
(Carte issue de : CUCARELL 1991)

Le vieux socle Pentévrien était primitivement composé de roches métamorphiques datant de deux milliards d'années. Il en reste quelques traces dans la région de Lannion – Perros-Guirec (PIGEAUD 2004).

Au Protozoïque supérieur (entre 2000 et 540 Ma) (Figure 9), et plus particulièrement au Briovérien, la région est marquée par différents phénomènes (PIGEAUD 2004). Au Briovérien inférieur, un premier phénomène volcano-sédimentaire (phtanites) se présente dans le nord de la Bretagne (région de Lamballe et de Saint-Brieuc), tandis qu'une sédimentation gréso-schiseuse avec des lentilles calcaires se produit au Briovérien supérieur au centre de la Bretagne (PIGEAUD 2004 ; THOMAS 2005). Le Briovérien voit l'apparition vers 650 Ma de la chaîne cadomienne. Aujourd'hui, on retrouve les vestiges de cette chaîne entre la baie de Lannion et la baie de Saint-Michel (PIGEAUD 2004).

La phase hercynienne s'est déroulée entre 540 et 28 Ma. Elle a débuté par une vaste transgression marine, qui a recouvert la vieille chaîne cadomienne érodée et a déposé de nombreuses alluvions,

qui sont à l'origine du grès armoricain. La chaîne de montagnes hercynienne s'élève vers 330 millions d'années. Elle subit ensuite une forte érosion. Ces phénomènes géologiques s'accompagnent d'un volcanisme intense, ainsi que de la mise en place de massifs granitiques. (GUIGUES & CHAURIS 1969 ; THOMAS 2005 PIGEAUD 2007).

Le Mésozoïque se déroule entre 230 et 65 Ma (Figure 9). L'érosion du massif se produit durant toute cette période et s'accélère au Paléocène sous un climat subtropical, qui affecte les roches différemment selon leur dureté (PIGEAUD 2007 ; CHAURIS & GUIGUES 1969). Le Miocène est la période située entre 23 et 6 Ma. Elle se caractérise par la remontée de la mer, qui envahit de nouveau les vallées. (PIGEAUD 2007).

Réduite à l'état de pénéplaine après le Stéphanien, cette région a été localement recouverte, surtout dans la partie orientale, par les formations secondaires ou tertiaires du bassin parisien (THOMAS 2005).

Cette longue histoire, conduit à la présence de cinq domaines géologiques, caractérisées par des roches et des structures bien spécifiques, d'âges et de nature variés (Figure 10).

- Le domaine Domnonéen est essentiellement nord-armoricain. La Domnonée s'étend entre le Pays de Dol et de Saint Malo jusqu'au Léon. Il est constitué principalement d'un socle précambrien polymétamorphique plus ou moins réactivé au cours de l'orogenèse hercynienne. Il est constitué de roches plissées et métamorphisées lors de l'orogenèse Cadomienne, de roches plutoniques et de roches sédimentaires paléozoïques. (GAUDIN 2004 ; ANDRE 2007)
- le domaine Mancellien est situé à l'est du domaine Domnonéen. Il est caractérisé par un précambrien « jeune », le Briovérien, plissé et percé de granite lors de l'orogenèse cadomienne , puis recouverts par des série sédimentaires paléozoïques modérément déformées par l'hercynien. (GAUDIN 2004 ; ANDRE 2007)
- le domaine centre-armoricain est essentiellement constitué de roches sédimentaires paléozoïques plus ou moins métamorphisées par les déformations hercyniennes et des intrusions granitiques (surtout à l'ouest). (GAUDIN 2004 ; ANDRE 2007)
- Le domaine de l'Anticlinal de Cornouailles est situé au sud de la Bretagne. Il se caractérise par des roches métamorphiques et des plutons granitiques hercyniens. Il est constitué par une granitisation et des structurations hercyniennes de grande ampleur. Ces structures sont installées sur une croûte basique (1300 Ma), des granitoïdes orthogneissifiés (de 600 à 450 Ma) et des roches métamorphiques (entre 420 et 370 Ma). (GAUDIN 2004 ; ANDRE 2007)

- Les complexes sud-armoricains sont des régions constituées d'unités paléozoïques et précambriennes. Cet ensemble peut être subdivisé à son tour en deux grands domaines séparés obliquement par une puissante zone de cisaillement :
    - Le domaine ligérien est situé à l'est et le sud-est du Massif Armoricain. Il est constitué d'un socle métamorphique et d'une succession paléozoïque plus épaisse, soumise à un métamorphisme polyphasé limitée au sud par la zone de cisaillement sud armoricaine et caractérisée par de multiples lames de granites syntectoniques. (GAUDIN 2004 ; ANDRE 2007)
    - A l'extrême Sud du Massif Armoricain, la région ouest-vendéenne est formée de diverses unités précambriennes reliées au massif centrale. (GAUDIN 2004 ; ANDRE 2007)

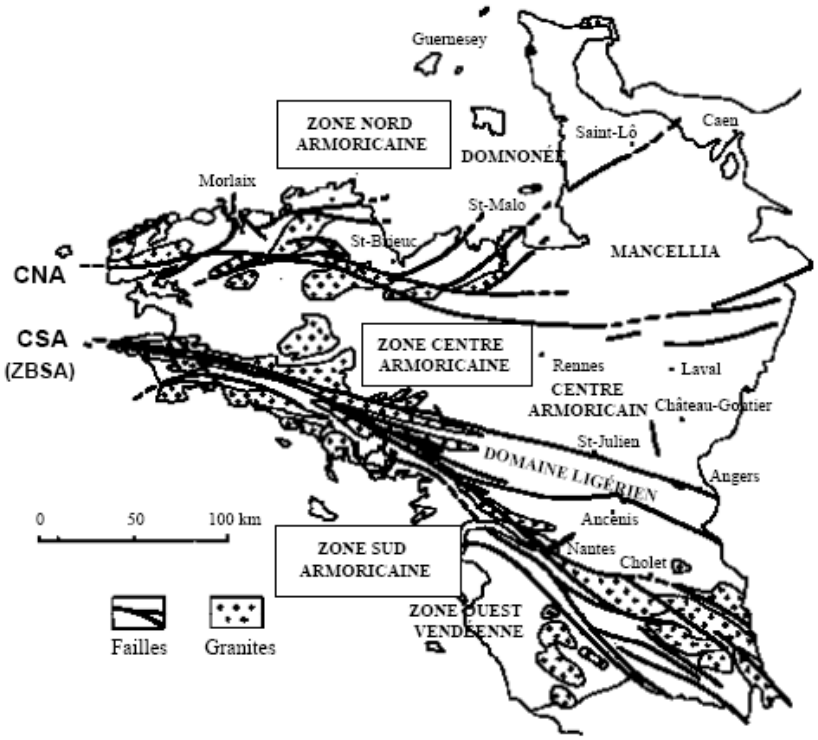

Figure 10 : Ensemble structuraux de la Bretagne (Carte issue de : ANDRE 2007)

- LES DIFFERENTS TYPES DE MINERAIS DE FER EN BRETAGNE

L'histoire métallogéniques de l'Armorique est le reflet de cette lente évolution géologique, accomplie depuis la phase géosynclinale briovérienne jusqu'au stade actuel de la pénéplaine post-hercynienne (CHAURIS & GUIGUES 1969). Le sous-sol de la Bretagne est assez riche en minerais de Fer (Figure 10). Les réserves potentielles totales du Massif Armoricain comptent environ 750

millions de tonnes de fer métal. Le Massif Armoricain constitue la plus importante région ferrifère de France, après la Lorraine (CHAURIS & GUIGUES 1969).

La carte géologique permet de connaître les différents minerais présents sur ce territoire. Cependant, de nombreux « gisements » ne sont pas mentionnés car ils ne correspondent pas à la définition actuelle du minerai. C'est-à-dire, que des gîtes minéraux de faible ampleur ont pu être exploités à l'Age du Fer, mais ne sont plus considérés comme des gisements. Par exemple, le bassin de la Rance a connu une grande activité métallurgique à l'Age du Fer, mais la carte géologique n'indique pas la présence de minerai.

La Bretagne contient de nombreux gisements et dispose de nombreuses variétés de minerai de fer. Ces gisements peuvent être liés à la sédimentation, au volcanisme, ou au processus d'altération superficielle (CHAURIS & GUIGUES 1969).

→ Les gisements sédimentaires

Les gisements de fer sédimentaires sont très nombreux dans le massif armoricain (CHAURIS & GUIGUES 1969). Ces gisements apparaissent dans les bassins synclinaux étroits et allongés et constituent de loin le groupe le plus important (CHAURIS & GUIGUES 1969). On distingue deux types de gisements sédimentaires paléozoïques. Les premiers sont des gisements sédimentaires ordoviciens (500 à 435 Ma). Ce sont des gisements très importants, localisés dans l'extrémité orientale du Massif Armoricain, en Normandie et en Anjou (CHAURIS & GUIGUES 1969). Les seconds sont des gisements sédimentaires du Dévonien inférieur (410 à 390 Ma) (CHAURIS & GUIGUES 1969). Les gisements sont presque tous situés dans la « fosse centrale armoricaine », soit à l'ouest, dans le bassin de Châteaulin : presqu'île de Crozon (Roscanvel, La Tavelle, Le Poulmic, Landevennec) ; environs du Faou, de Gouarec, de Sainte-Brigitte, Saint-Gilles-du-Vieux-Marché ; L'Hermitage-Lorges ; soit à l'est dans le bassin de Laval (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Le Massif Armoricain présente différents faciès de gisements sédimentaires. Ceux-ci résultent des variations dans l'intensité du métamorphisme et vont d'un type essentiellement à sidérose à un type essentiellement magnétite (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Ce minerai de fer est d'origine oolithique. (PUZENAT 1939). Les gisements sédimentaires bretons sont constitués de différents minéraux : en surface, on trouve de la limonite plus ou moins hydroxydée, puis, plus en profondeur, on découvre de l'hématite, de l'oligiste, et plus souvent par de la magnétite et du carbonate de fer (PUZENAT 1939).

→ Les gisements en relation avec le volcanisme

On connaît plusieurs gisements de minerai de fer, en relation avec le volcanisme en Bretagne.

Certains gisements ont été exploités dans des périodes plus anciennes, comme ceux de la Presqu'île de Crozon (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Les gisements peuvent être en relation avec le volcanisme Ordovicien, comme ceux de la Presqu'île de Crozon, ou le volcanisme Dinantien, comme les gisements des environs de Huelgoat dans le Bassin de châteaulin (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Ces minerais se présentent sous différentes formes.

D'une part, nous avons les niveaux ferrugineux, découverts sur la presqu'île de Crozon. Ce sont des minerais, qui se sont transformés superficiellement en limonite et sont associés à des tufs (notamment dans la région de Lostmarc'h) de la formation de Rosan (ordovicien supérieur) (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Ensuite, les minerais de fer situé autour de Redon (Renac, Saint-Jacut) sont également en lien avec des tufs, appartenant au niveau de Rosan. Néanmoins, les gisements de Saint-Jacut se présentent sous la forme de « lentilles d'hématite affectant parfois l'apparence d'un schiste micacé » car ils ont été métamorphisés par le granite de Questembert. (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Les minerais des gisements de fer du bassin de Châteaulin se présentent sous la forme de carbonates de fer légèrement manganésifères en nodules dans les cinérites ou en cristaux dans certains lits de jaspes, associés à des dépôts de silice, de radiolarites, de lydiennes et de jaspes. (CHAURIS & GUIGUES 1969).

Enfin, on trouve également du fer sous forme d'hydroxydes et d'oxydes, notamment dans les gisements de Lannédern et de Kerguévarec. (CHAURIS & GUIGUES 1969).

→ Les gisements d'altérations superficielles

Les gisements d'altérations ferrifères ont été exploités depuis les périodes anciennes dans le Massif Armoricain.

Ces gisements d'altérations superficielles correspondent à plusieurs réalités : certains de ces minières sont des affleurements altérés de couches ferrifères sédimentaires remontées vers la surface. Mais, un certain nombre de gîtes ne se poursuivent pas en profondeur. Ces minières sont le résultat d'un altération météorique, qui a concentré le fer à partir de roches aussi diverses que des schistes ou des gabbros. Ainsi, dans la région de Belle-Isle-en-Terre, le minerai de fer superficiel s'est formé au détriment des roches basiques briovériennes. Ce sont des minerais rogneux et limonitiques. Certains de ces gîtes ont été autrefois exploités comme à Calanhel (22), La Chapelle-Neuve (22) et dans la forêt de Beffou (22). Ce sont des minerais, qui se sont constitués aux dépens des filons d'épidiorites intercalées dans le Briovérien près de Gourin.

Enfin, l'altération due au climat tropical de l'époque tertiaire, a provoqué la formation de gisements d'argile, surmontés de fer latéritique, aux dépens de schistes paléozoïques. Des gisements de fer superficiels se sont développés sur des massifs de gabbros, comme aux environs de Belle-Isle-en-Terre.

1.2.2. La végétation à l'Age du Fer et les ressources en combustible

Le travail du fer nécessite de grandes quantités de combustibles, essentiellement sous forme de charbon de bois. La présence de forêt est donc indispensable à l'implantation d'ateliers de réduction.

- LE COMBUSTIBLE

L'utilisation du charbon de bois dans la chaîne opératoire sidérurgique a perduré jusqu'à récemment. Il est employé dans toutes les opérations de la chaîne opératoire, du grillage du minerai aux travaux de forge (LEROY & MERLUZZO 2004). Le choix des essences utilisées pour le charbonnage en métallurgie varie selon les régions et selon les périodes. Le choix des essences se fait selon les qualités propres du combustible et selon les ressources disponibles (LEROY & MERLUZZO 2004).

Le charbon de bois constitue le résidu solide, obtenu par la carbonisation du bois (CABBOI, DUBOIS, DUNIKOWSKI & LEROY 2004). Cette cuisson se déroule dans un espace confiné, à une température de quelques centaines de degré. La cuisson du bois est contrôlée pour permettre l'élimination des matières volatiles (eau et gaz) et la concentration du carbone. Ce traitement donne au charbon de bois un pouvoir calorifique supérieur au bois sec (CABBOI, DUBOIS, DUNIKOWSKI & LEROY 2004).

Les méthodes de transformation du bois sec en charbon de bois sont variées. On peut citer deux méthodes : d'une part les excavations de dimensions réduites, plus ou moins profondément encastrées dans le sol, et d'autre part, les meules, c'est-à-dire un tas de bois, recouvert de terre, auquel on met le feu dans le but de produire du charbon de bois (CABBOI, DUBOIS, DUNIKOWSKI & LEROY 2004). La production de charbon de bois peut être réalisées près des ateliers sidérurgiques ou au cœur de la forêt.

- LA FORET EN BRETAGNE A L'AGE DU FER

La Bretagne fait l'objet de nombreuses études paléoenvironnentales. Ces recherches ont d'abord été centrées sur les études polliniques, puis l'anthracologie, la carpologie et l'ostéologie sont venues compléter les études précédentes (MARGUERIE 1990).

La confrontation de toutes ces données recueillies dans des sols archéologiques et dans des

tourbières permet de comprendre l'évolution naturelle et anthropique de l'environnement végétal de la Bretagne durant l'Holocène (MARGUERIE 1990). Cette pluridisciplinarité a permis d'effacer peu à peu l'image romantique de la Gaule recouverte de forêt.

L'Age du Fer appartient au subatlantique. C'est la dernière période de la chronologie pollinique de l'Holocène, dans laquelle nous nous trouvons encore. Cette période a débuté entre 700 et 800 avant JC. Elle est caractérisée par un léger refroidissement du climat, accompagné d'une augmentation des précipitations (LEROI-GOURHAN 2005).

Les différentes études montrent l'image d'un environnement ouvert. Les diagrammes polliniques montrent le déclin de la strate arboréenne, et plus particulièrement de l'aulne. La déforestation n'est pas un fait nouveau de l'Age du Fer. Il a débuté avec les agriculteurs et les éleveurs du Néolithique. La lande se développe sur les sols défrichés (GAUDIN 2004). Elle se compose de noisetiers, callunes, bruyères, genêts, ajoncs et fougères aigles. Selon L. Visset (1979), cette lande est apparue progressivement sous l'action des hommes depuis le Néolithique. Néanmoins, certaines zones ne sont pas concernées par la mise en culture, le pâturage ou la fréquentation des hommes. Elles évoluent naturellement et se couvrent de forêts. Différents indices nous renseignent sur la présence de la forêt et les essences qui s'y trouvent.

Les archéologues ont retrouvés des branches ligneuses en chêne dans les clayonnages de parois d'habitats sur le site de Keriner en Pluguffan (Finistère) et des charbons de chêne et de genêts dans un foyer sur le site des Ebihens près de Saint-Malo (MARGUERIE 1990).

L'étude des ossements retrouvés sur le site de la Boisanne à Plouer-sur-Rance (Côtes-d'Armor) nous renseigne également sur l'environnement du site. La détermination des os montre l'abondance de la consommation de cerfs, au détriment du porc, animal très consommé par les Gaulois. Le cerf est un animal forestier. Cela peut indiquer l'existence de forêt à une plus ou moins grande distance du site, même si l'étude pollinique montre que le site était situé dans une zone ouverte et entouré de cultures de céréales (MARGUERIE 1990).

Certains souterrains ont également révélés la présence de charbons de bois d'arbres. Celui de Ploubalay (Côtes-d'Armor) a livré des charbons de bois, majoritairement de trois essences : le charme, le chêne et le noisetier (MARGUERIE 1990).

Tous ces indices nous permettent de conclure sur l'environnement végétal. Il semblerait que la lande et la chênaie (et des charmes) constituaient le paysage essentiel de la Bretagne à l'Age du Fer

1.2.3. Présentation historique

- LA BRETAGNE AVANT LES CELTES

La Bretagne est occupée par l'homme depuis de nombreux millénaires (PIGEAUD 2007). C'est même en Bretagne que se trouve un des plus anciens foyers au monde, plus précisément sur le site de Menez-Dregan (vers –400 000 ans) (PIGEAUD 2007).. Les premières traces remontent au Paléolithique, vers 700 000 ans avant JC. Quelques traces de la présence humaine ont été retrouvées dans la vallée de la Vilaine, puis près de Carnac et sur les bords de la Rance. Les hommes vivent alors de la cueillette et de la chasse et ils fabriquent des objets plus ou moins sommairement taillés.

Le Mésolithique débute vers 10 000 ans avant JC. Les outils se diversifient (hameçons, arcs et flèches, aiguilles). Le climat s'est adoucit et provoque la remontée du niveau de la mer et l'apparition d'une forêt sur la péninsule (GIOT, MONNIER & L'HELGOUAC'H 1998).. Les outils se diversifient (hameçon, arc et flèches, aiguilles) et sont fabriqués avec des os et des défenses d'animaux. Des sépultures ont été retrouvées (GIOT, MONNIER & L'HELGOUAC'H 1998).

Le Néolithique commence vers 5000 ans avant JC. L'homme se sédentarise, il commence à cultiver la terre et à pratiquer l'élevage. Il vit dans des maisons de bois et fabrique des poteries pour conserver les aliments (GIOT, MONNIER & L'HELGOUAC'H 1998 ; PIGEAUD 2007). C'est également le début de la civilisation de la pierre levée: mégalithes, menhirs, cairns, allées couvertes... Le Néolithique ancien voit le début de la construction du cairn de Barnenez (Finistère). D'autres cairns datent de cette période: Ploudalmézeau, Locmariaquer, Dissignac... (PIGEAUD 2007).

L'Age du Bronze commence en 2000 et se termine vers 700 avant JC (GIOT, BRIARD & PAPE 1995**).** Les hommes fabriquent des armes et des outils en cuivre, puis en bronze (alliage de cuivre et d'étain). Ils édifient des tumulus, où ils déposent leurs défunts, des poteries et des bijoux d'or et d'argent. L'Armorique commerce avec différents territoires parmi lesquels l'Espagne, la Scandinavie, l'Irlande. Cette période est particulièrement riche en Bretagne, où ces traditions vont se poursuivrent dans les premiers temps du Hallstatt (GIOT, BRIARD & PAPE 1995**).**

- LES CELTES

Le territoire est habité par quatre peuples : les Osismes, les Coriosolites, les Vénètes et les Redones.

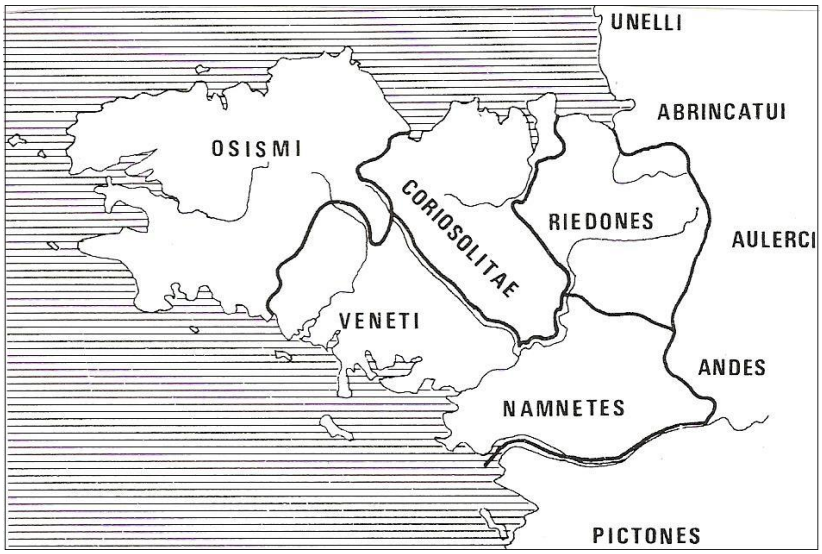

Figure 11 : Carte des cités gauloises armoricaines au 1er siècle a.C
(Carte issue de : GIOT, BRIARD & PAPE 1995)

Les Osismes est le peuple le plus anciennement connus de l'Armorique. Il aurait été reconnu par le navigateur massaliote Pythéas à la fin du 4e siècle avant JC près du cap Kabaion (actuelle Pointe du Raz ou de Penmarc'h). Il les mentionne sous le nom de « Ostimioi », qui signifie en celtique « les plus éloignés », autrement dit « les gens du bout du monde » (KRUTA 2000). C'est le nom que Pythéas leur avait donné, mais il est très probable qu'ils se seraient donné un autre nom (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Mais celui-ci nous reste inconnu. Les Osismes sont assez peu cités dans la Guerre des Gaules de César. Mais, ils apparaissent dans les récits de chroniqueurs antiques, comme Pline l'Ancien, Strabon, et Ptolémé. Les Osismes occupent un grand territoire à l'ouest de la péninsule (Figure 11). Le territoire s'étendait bien au-delà de l'actuel Finistère. Il contenait également la partie occidentale des Côtes-d'Armor. La frontière orientale suit le cours de différentes rivières : l'Ellé, le cours supérieure de l'Oust et le Gouët (GALLIOU 1989).

Le nom des autres peuples armoricains n'est connu qu'au moment de la conquête (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Les Coriosolites habitaient dans un territoire correspondant aujourd'hui à l'est des Côtes d'Armor sur la partie supérieure de l'Oust et à l'ouest de la Vilaine (Figure 11) (KRUTA 2000, BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002). Ses voisins étaient les Osismes à l'ouest, les Vénètes et les Namètes au sud et les Redones à l'est. Les Coriosolites ont un rôle très important dans le trafic maritime avec l'île de Bretagne, notamment grâce au port d'Alet, près de Saint-Malo (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

Les Vénètes habitaient un territoire au sud de la péninsule armoricaine. Il est compris entre plusieurs rivières: le Scorff, la Vilaine et l'Oust (Figure 11) (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Les Vénètes sont le peuple armoricain le plus puissant (KRUTA 2000). Leur nom est conservé dans celui de la ville de Vannes. Ils ont une puissante flotte maritime et commerciale et des ports qui assurent le contrôle

du trafic au sud de l'Armorique (KRUTA 2000). Au 2e siècle avant JC, ils se sont dotés d'un monnayage en or pour montrer leur puissance et leur individualité (GIOT, BRIARD & PAPE 1995**)**. A défaut d'être nommé dans les sources textuelles, on peut penser que leur nom était connu des peuples environnants et plus lointains, bien avant la Conquête.

Les Redones occupent la partie orientale de la péninsule (Figure 11) (KRUTA 2000, LEROUX & PROVOST 1990). Ses proches voisins sont les Coriosolites à l'ouest, les Namnètes et les Andes au sud, les Aulerques à l'est et les Abrincates au nord. Leur nom est conservé dans celui de la ville de Rennes (Condate) et celui de Redon (KRUTA 2000).

Même si la période est encore relativement mal connue, plusieurs éléments tendent à montrer les faibles échanges commerciaux entre l'Armorique et Rome à la fin de la protohistoire (GIOT, BRIARD & PAPE 1995**)**. Les peuples armoricains sont soumis par l'armée de César en 57 avant JC. A la fin de l'été 57, l'armée romaine détache une légion du 7^{e} régiment qui combattait en Belgique. La légion est arrivée en Armorique, sans avoir rencontré de résistance de la part des Gaulois de l'actuelle Normandie. On peut supposer qu'elle est arrivée par le Cotentin en longeant la Manche, qu'elle traverse le territoire des Redones, des Corisolites et arrive chez les Osismes puis il part en traversant les territoires des Vénètes, des Namnètes pour arriver chez les Andes. Les peuples armoricains se soumettent devant Publius Crassus et livrent quelques otages garants des accords pratiqués pendant l'Antiquité (GIOT, BRIARD & PAPE 1995**)**.

Néanmoins, ils participent cependant dès l'année suivante à la coalition conduite par les Vénètes. Crassus envoie des officiers romains réquisitionner du blé pour la troupe chez les peuples armoricains. Ceux-ci se révoltent et gardent les officiers en otages. Ils souhaitent les échanger contre les otages gaulois qu'ils ont livrés l'année précédente. César décide de rentrer en guerre contre les peuples de l'Armorique (GIOT, BRIARD & PAPE 1995**)**. Les Vénètes qui était le peuple armoricain le plus puissant, prennent la tête du soulèvement et ont affronté la flotte des Romains dans une bataille navale, quelque part entre l'estuaire de la Loire et le golfe du Morbihan (KRUTA 2000). Les Vénètes subissent alors une grave défaite. Cette bataille marque la défaite de tous les peuples armoricains. César fait exécuter tous les sénateurs et vend les autres comme esclaves (CESAR, *La Guerre des Gaules*).

Enfin, les quatre peuples armoricains participent au contingent de vingt mille hommes fourni en 52 avant JC à l'armée de la coalition gauloise, à Alésia. A partir de 51, le sort de ce peuple occidental se confond avec celui des autres cités gauloises soumises par Rome.

- LES GAULOIS ET LE COMMERCE

Les archéologues se sont longtemps posé la question du commerce des communautés armoricaines

avec ces voisins, et de la puissance qu'elle a pu en retirer.

Les informations concernant le Premier Age du Fer sont encore très lacunaires. Les objets importés dans l'Ouest de la France au Premier Age du Fer sont rares. Ils suggèrent des contacts épisodiques entre les sociétés armoricaines et les groupes hallstattiens, qui servent sans doute d'intermédiaires auprès des marchands méditerranéens (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). La répartition des objets montre que ces importations concernent surtout la côte atlantique de la Bretagne. Certains archéologues parlent alors de système d'échange « dendritique ». Les objets « achetés » sont drainés vers un point ou vers un axe central, comme ici le long des côtes.

Depuis plusieurs années, on admet l'existence d'échanges, au second Age du Fer, entre les péninsules occidentales (Cornwall et Bretagne) et les ports de la Méditerranée (Marseille, Narbonne) (GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

On considère aujourd'hui que le commerce de l'étain armoricain n'était pas courant avant le 3^{e} siècle avant JC. Les marchands privilégiaient l'étain, issu principalement du sud de la Grande-Bretagne, qui par les vallées de la seine, de la Saône et du Rhône pour aboutir en fin à Massalia (CARCOPINO 1957).

Lors de son voyage en –325, Pythéas fait mention de la présence d'étain sur le territoire Osisme. Après cette date, l'étain armoricain est acheminé par voie maritime jusqu'à Narbonne par « l'isthme gaulois », ou jusqu'à Corbilo, port de la Loire, avant d'être envoyé jusqu'à Marseille par la Loire, la Saône et le Rhône (GALLIOU 1990).

Les textes antiques nous offrent plus d'informations sur le commerce que l'archéologie. Hormis un statère d'or et quelques objets d'importations, celle-ci ne nous apportent aucune preuve d'un réel commerce entre les peuples armoricains et leurs voisins Mais, cela ressemble plus à des contacts épisodiques, d'ordre culturel et économique lors de la Tène ancienne et moyenne, transitant par la Loire ou les routes atlantiques. (GALLIOU 1990 ; GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

Les relations entre les communautés armoricaines et leurs voisins changent vers le 2e siècle avant notre ère. Rome colonise le sud de la Gaule et crée la Province Transalpine. Dès lors, des marchands méditerranéens viennent commercer en Gaule, notamment pour vendre du vin GALLIOU 1990 ; GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

Différentes fouilles, dont celles de Hengistbury Head et des sites à proximité de Poole Harbour (CUNLIFFE 2001), ont apporté la preuve de contacts commerciaux entre les côtes méridionales de la Garnde-Bretagne et les Gaulois armoricains à la fin du second siècle et au premier siècle avant JC. Ces sites ont livré de la céramique osisme et coriosolite, les lingots bipyramidaux de Portland Bill (GIOT 1964) et des monnaies coriosolites. Doit-on penser à quelques échanges ponctuels ou un véritable réseau d'échanges se soit mis en place entre le nord et le sud de la Gaule et l'Armorique,

puis entre cette dernière et la Bretagne.
Le développement de ces échanges est sans doute à mettre en relation avec la Conquête de la Gaule du Sud par les Romains. Cet événement a provoqué des transformations dans les structures socio-économiques des peuples gaulois, et donc des communautés armoricaines.
Certains sites fouillés présentent des indices quant à leur action dans l'économie armoricaine. Ainsi, le promontoire d'Alet, port contrôlant l'embouchure de la Rance, paraît avoir connu une occupation dense dès 80 avant notre ère. Ce site a pu avoir un rôle de premier plan dans le commerce maritime entre l'Armorique et la Bretagne insulaire. Certains archéologues pensent d'ailleurs qu'un atelier monétaire coriosolite ait pu s'installer dans cette agglomération (LANGOUET 1987).

1.2.4. Présentation archéologique

- CONSERVATION DES VESTIGES

Le premier Age du Fer et le début du second sont relativement mal représentés dans l'ouest de la France. Les témoignages matériels sont pratiquement inexistants. Le Bronze Final était une période très riche en Bretagne. Il semble que ces traditions aient perduré longtemps, si bien qu'il est difficile de reconnaître une véritable rupture entre le Bronze Final et le début de l'Age du Fer

Les vestiges du premier Age du Fer les mieux connus appartiennent à la fin du Hallstatt. En Europe continentale, cette période est caractérisée par l'intensification des échanges avec le monde méditerranéen. Quelques objets importés ont été identifiés en Bretagne. Peu de sites d'habitat du Hallstatt ont été fouillés. Les seuls vestiges vraiment attribués au Hallstatt sont les tombes. Ce sont des structures fragiles, découvertes dans des landes incultes. On peut supposer que de nombreuses tombes ont été détruites, notamment par l'agriculture. Peu d'habitats du Hallstatt ont été fouillés. Les fouilles du village du premier Age du Fer sur l'île d'Ouessant, à l'extrémité du Finistère, est un exemple unique en Armorique. Deux habitats ruraux, La Boisanne à Ploüer-sur-Rance et Saint-Symphorien à Paule, ont également été fouillés. Leur occupation avait débuté dans la seconde moitié du premier Age du Fer, vers le 6^{e} siècle. (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)
Les exemples de Ploüer-sur-Rance, de Paule et de certains cimetières comme celui de Landeleau montrent une continuité lors de la transition entre le premier et le second Age du Fer. Les sites de la Tène sont nettement plus nombreux. Certains auteurs y voient une forte poussée démographique et des progrès technologiques (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002). On retrouve des vestiges très nombreux d'enclos, de petits cimetières à incinérations avec des « stèles gauloises ». Les vestiges retrouvés par les archéologues sont de différentes natures : habitats, sépultures, ateliers artisanaux, quelques sanctuaires, des enfouissements monétaires.

- LES HABITATS

On sait désormais avec une certaine précision, que les sociétés de l'Age du Fer occupaient différentes sortes d'habitat.

Les sites d'habitat du premier Age du Fer sont très limités. On peut citer le site de Mez-Notariou sur l'île d'Ouessant, un cas unique dans le grand Ouest. Ce site fait l'objet de fouilles depuis plusieurs années. Plus de 120 habitats ont été retrouvées et sont répartis sur cinq périodes de constructions, sur une superficie de 3 000 m². Il a été occupé pendant deux siècles, de 650 à 450 avant JC. Plusieurs îlots d'habitations sont desservis par des rues. Les bâtiments ont des parois en clayonnages, une toiture en chaume, la présence d'un alignement de nombreux trous de poteaux correspondant à des palissades délimitant les activités agricoles ou artisanales. Les rues sont étroites, il y a peu d'espaces pour circuler entre les maisons. (LE BIHAN 1991 ; LE BIHAN & LE ROBIC 1990)

De nombreux sites d'habitats sont connus pour la Tène. Ils vivaient dans les oppida, sur des hauteurs fortifiées, dans des villages ouverts, plus ou moins enclos par un fossé, et dans des fermes disséminées dans la campagne. Le peuplement est principalement rural. Peu de sites peuvent aspirer au titre d'oppidum de type pré-urbain.

Les sites fortifiés

Les sites fortifiés se caractérisent par la présence de talus massifs ou de remparts de protection. On distingue différents sites fortifiés : les promontoires marins ou fluviaux, quelques cas d'îles fortifiées et les oppida.

Des fouilles ont été réalisées par M. Wheeler en 1938, mais celles-ci n'ont concerné que les enceintes. Depuis, peu de sites ont été fouillés et faits l'objet d'études plus approfondies. Les sites d'Alet et du Yaudet font figure d'exceptions. L'absence de fouille reste un handicap, qui ne permet pas d'apporter de réponses aux nombreuses théories des archéologues. Cependant, des prospections ont permis le ramassage en surface de tessons de céramique et de monnaie (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002). Le Finistère a également fait l'objet d'une prospection de recensant les sites fortifiés. Patrick Maguer, a repéré une trentaine de sites fortifiés dans le département (MAGUER 1996).

Les promontoires et les îles fortifiés

Les promontoires sont des espaces barrées par des remparts. On les trouve sur des éperons littoraux et fluviaux, mais aussi sur les hauteurs des collines à l'intérieur des terres. Certaines îles ont également été fortifiées : l'île de Torné à Perros-Guirec et l'île du Château à Penvénan. (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

La superficie de ces sites est variable. Elle peut faire plusieurs hectares comme à la pointe de Primel à Plougasnou (4 hectares) ou être bien moins importante comme pour l'enceinte fortifiée de Menei-Castel à Esquibien (0.3 hectare). Leur superficie dépend de la configuration de l'espace (MAGUER 1996).

Figure 12 : Eperon du Yaudet, en Ploulec'h (Côtes'd'Armor)
(Photographie issue de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)

Ce sont des sites peu accueillants, car ils sont exposés aux intempéries. La grande question concerne leur occupation : Est-elle permanente ou passagère ? Mais seules des fouilles pourrait répondre à cette problématique. Ces sites sont souvent considérés comme des sites refuges. Les fouilles réalisées au Yaudet montrent des vestiges d'une occupation peu dense, peut-être liée au caractère défensif et commercial du site (Figure 12). (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

Les oppida

Le terme « oppidum » est apparu sous la plume de César. Lorsqu'il pénètre en Gaule, il découvre les oppida, type d'habitat qui s'est développé dans toute l'Europe durant la Tène finale. Aujourd'hui, on utilise ce terme pour les très grands camps datés de la Tène Finale, qui présente une organisation de type urbain ayant joué le rôle politique et commercial. (GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

Ce phénomène est lié à la montée en puissance de l'aristocratie chez les Gaulois, au détriment des rois. L'oppidum principal de la tribu était certainement le lieu de rassemblement des sénateurs. De ce site, ils pouvaient également assurer le contrôle des activités du territoire. (GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

L'une des controverses actuelles est : « Y-a-t-il des oppida au Nord de la Loire ? ». Plusieurs indices

peuvent amener à une réponse. César emploie sept fois le mot « oppidum » pour parler du territoire des Vénètes. M. Wheeler définit l'oppidum par la présence d'un « murus gallicus » (Figure 13).

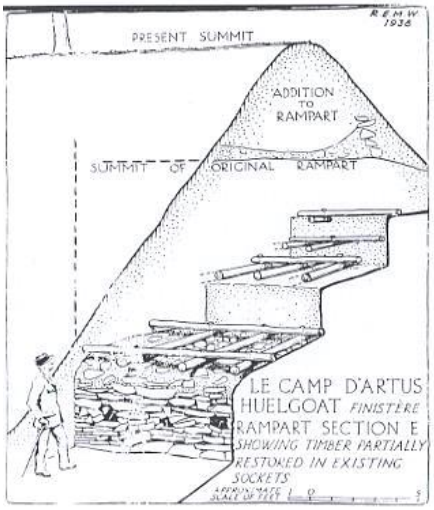

Figure 13 : « Murus Gallicus » de l'oppidum osisme du Camp d'Artus, Huelgoat (Finistère) (Illustration issue de : GIOT, BRIARD & PAPE 1995)

Ce sont des sites installés sur des hauteurs et fortifié. Les oppida sont placés près des gués, des routes franchissant les rivières, près des confluents, ou sur les voies par où transitent les marchandises. Condate, l'oppidum principal des Riedones, est un bon exemple, il est situé au confluent de la Vilaine et de l'Ille. Il contrôle les axes commerciaux du territoire. (KRUTA 2000).

La superficie des oppida est variable (MAGUER 1996). Les sites de Gaule sont bien moins vastes, que ceux de d'Europe de l'Est. L'oppidum du Camp d'Artus à Huelgoat a une superficie de 30 hectares. Les oppida sont des lieux défensifs (FICHT 2000). Le texte de César l'illustre parfaitement. Un rempart entourait l'oppidum. Il existe différents types de remparts. Le plus connus est le murus gallicus, un talus composé d'une armature de poutres liées entre elles par des fiches de fer, recouvert de terre et d'un parement de pierre (Figure 13). Mais il peut également s'agir d'une élévation de terre (FICHLT 2000). Faute de fouilles et d'études plus approfondies, on a longtemps pensé que ces sites étaient des lieux de refuges pour les peuples gaulois lors de conflits (GIOT, BRIARD & PAPE 1995).. L'oppidum du Camp d'Artus n'a d'ailleurs livré que peu de vestiges d'occupation et de présence humaine (MAGUER 1996). Mais il est raisonnable de voir dans ces grands camps des refuges pour des peuples gaulois à l'approche de la Conquête. Mais il paraît impossible que tous les Redones se rassemblent près de Rennes ou de Fougères, tous les Vénètes près de Josselin, tous les Osismes se précipiter sur l'oppidum d'Huelgoat.

L'oppidum est un lieu, où se développent de multiples fonctions : politiques, commerciales, artisanales, religieuses (FICHTL 2000). Il devait accueillir les marchés et assurer l'organisation des impôts sur les biens en transit. Certains peuples ont gagné leur puissance à partir de leur oppidum, comme les Vénètes, qui tenaient le commerce maritime depuis le territoire des Bretons jusqu'aux

côtes de l'Aquitaine. Des vestiges liés à des activités artisanales ont été découvert sur certains sites (FICHTL 2000 ; FICHTL 2004). Plusieurs promontoires surmontent la vallée de la Vilaine, de l'Aff, et d'autres sont situés dans la forêt de Fougères. Ces sites sont considérés comme des oppida, mais ils n'ont jamais été fouillés (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002). On peut également citer l'exemple d'Alet, près de Saint-Malo. Ce site a été fouillé entre 1972 et 1978. Les fouilles ont mis en évidence une proto-agglomération de trois hectares datant de La Tène Finale. Des vestiges d'habitations ont été découverts, ainsi que des traces d'artisanats, notamment de la métallurgie. Ce site est connu pour ces activités portuaires importantes. C'est un port d'échanges. L'activité de commerce est attestée, notamment avec la présence de statères coriosolites et de la céramique fine à cordon, qui indiquent des relations commerciales avec l'Angleterre. (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

A l'époque romaine, la plupart des oppida ont été abandonnés. Des villes ex nihilo ont été créées à quelques kilomètres des anciens oppida gaulois. (GIOT, BRIARD & PAPE 1995 ; FICHTL 2000 ; BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

Habitat littoral

Outre les promontoires et les îles fortifiées de bord de mer, d'autres traces d'habitats ont été recensées. Ce sont des sites fortement liés au milieu marin : collecte de coquillage, pêche, production de sel marions. Ces habitats sont liés notamment à l'artisanat du sel (HYVERT 1990).

On peut citer l'exemple du site des Ebihens à Saint-Jacut-de-la-Mer, dans les Côtes-d'Armor. Ce site, situé près du littoral, comporte trois habitations, associées à un atelier de bouilleur de sel. Ce site est qualifié de village car les trois habitats sont organisés autour deux axes nord-sud et est-ouest. Ce site comporte également une nécropole. Ces sites liés aux ateliers de bouilleurs de sel sont particulièrement nombreux sur tout le littoral breton. (LANGOUET 1985).

Habitat rural

Les enclos / les grandes fermes

La population de l'Age du Fer est une société rurale. Il semble que les hameaux ou les villages représentent l'unité de peuplement la plus répandue. Les hameaux sont très dispersés dans la campagne armoricaine. Les enclos sont habités par une ou deux familles. Ces villages sont faiblement défendus. (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

Les prospections aériennes ont révélé de nombreux habitats enclos dans des fossés (Figure 14). La couleur particulière des blés et de la terre labourée sur le tracé des constructions en dessine le plan (GIOT, BRIARD & PAPE 1995 ; BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

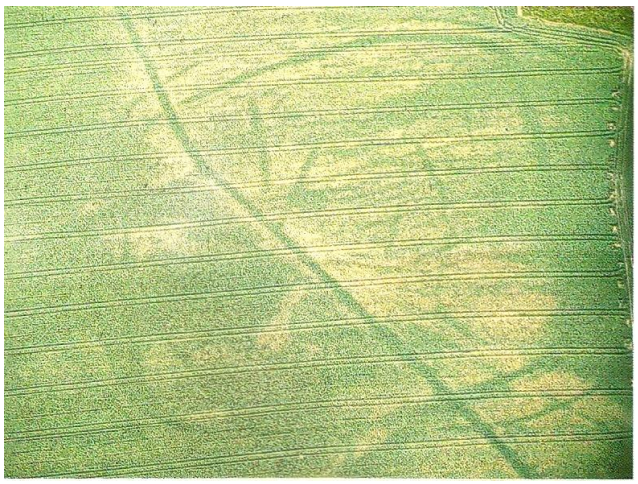

Figure 14 : Enclos courbe de l'Age du Fer de La Ville Halle, à Plénée-Jugon
(Photographie aérienne issue de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)

Dans la littérature, elles sont communément appelées « fermes indigènes ». La prospection aérienne permet la reconnaissance de vestiges. Mais, la datation et la fonction de ces sites restent des problèmes fondamentaux. Les enclos ont été très peu fouillés. Cependant, la fouille sur de grands espaces d'un certain nombre d'entre eux permet de conforter leur appartenance au second âge du fer et de montrer l'important potentiel de données pour définir le cadre, le quotidien et l'organisation de la société à l'âge du fer. (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

Ces fermes se composaient de plusieurs enclos de grande taille imbriquée et de différentes formes (rectangulaires, orthogonaux, courbes, emboîtés). Ce système de clôtures était constitué de fossés et de talus, associées ou non à des palissades GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Ce système permet une organisation de l'espace et des activités : espace résidentiel (habitat), espaces de stockage (grenier, silos), les espace pastoraux et agricoles (enclos à bétail, étables, les cultures…). Ces espaces avaient une vocation essentiellement agricole, mais d'autres activités comme le tissage et la métallurgie, étaient pratiquées. Ces productions permettaient aux habitants d'avoir une certaine autonomie. Certains de ces enclos correspondent à des résidences plus aristocratiques, comme à Paule (MENEZ 2001). Avant la découverte des nombreux enclos, le littoral a été considéré comme la zone la plus densément peuplée. Les nouvelles méthodes ont permis de rétablir une réalité plus proportionnée. Ces découvertes montrent l'équilibre entre le milieu littoral et l'intérieur des terres (GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976 ; GIOT, BRIARD & PAPE 1995 ; BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

La prospection au sol montre la présence de tegulae et d'imbrices sur des sites d'enclos. Elle indique une phase d'occupation à la période gallo-romaine, mais la date de création peut être antérieure. En effet, les tessons de la Tène sont trop fragiles pour résister aux sols acides bretons. (GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

Les souterrains

La découverte de souterrains s'est multipliée avec la mécanisation de l'agriculture (GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976). On les retrouve dans une région géographique très limitée, chez les Osismes, les Vénètes et l'ouest des Coriosolites. Ils semblent absents en Ille-et-Vilaine (GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976 ; GIOT 1990 ; GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

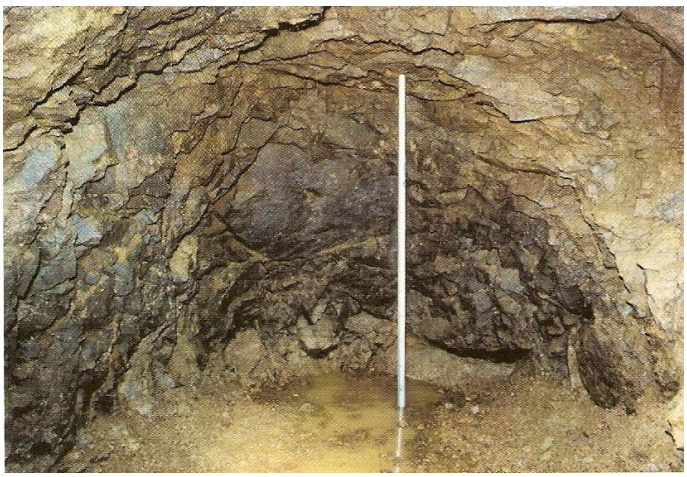

Figure 15 : Souterrain du bourg de Plessix-Balisson, Ploubalay (Côtes d'Armor)
(Photographie issue de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)

Ce sont des chambres souterraines creusées dans la roche altérée (Figure 15). Elles peuvent présenter plusieurs chambres de formes diverses (rectangulaires, ovoïdes, ellipsoïdale…), disposées en enfilades ou en diverticules. Les dimensions de la chambre sont variables : d'un mètre de long sur un mètre de haut, à six mètres sur deux mètres de hauteur. Elles sont reliées par des boyaux ou séparées par des chatières. Leurs plans sont tous différents. Ils sont sans doute conditionnés par la nature de la roche. L'accès se fait par un ou plusieurs puits verticaux. Rien à la surface du sol ne montre la présence d'un souterrain. (GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976 ; GIOT, BRIARD & PAPE 1995).

Les souterrains ont été soigneusement colmatés lors de leur abandon par des débris liés aux activités du site d'habitat. Ils ont été abandonnés vers 100 avant JC. Certaines fouilles ont révélé du mobilier, comme des scories, qui renseignent sur les activités pratiquées sur l'habitat. (GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976 ; GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Par exemple, le colmatage du souterrain de Kerveguen à Plourin-les-Morlaix a révélé des scories.

L'un des premiers souterrains bretons a été découvert en 1856 au Rocher Martin, à Saint-Brieuc (GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976 ; GIOT 1990), on leur attribuait alors de souterrains refuges ou de grottes sépulcrales. Dans les années 1960, Pierre-Roland Giot a démontré leur relation avec les habitats, à partir des matériaux de comblement des puits d'accès. De nos jours, on pense

qu'ils occupaient la fonction de celliers ou de caves. Ces souterrains sont, aujourd'hui, des indices de la présence d'habitat (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002).

1.2.5. Historique de la sidérurgie en Bretagne

Les premiers indices métallurgiques apparaissent dans l'ouest de la France au Hallstatt ou Premier Age du Fer (8^{e} à 5^{e} siècle avant JC).Les plus anciens sites comportent des bas fourneaux à scories piégés et à usage unique (MEURET 2007). Quelques sites de la Bretagne ont pu être datés de cette période grâce à des datations radiocarbone. C'est le cas pour le site du Bois-Jacob à Paimpont (35) et du site des Remardières à Saint-Pierre-du Plesguen (35). Aucune forge du Premier Age du Fer n'a été mise au jour pour l'instant. Un nouveau type de bas fourneau apparaît au Second Age du Fer : il s'agit du bas fourneau à scorie piégé et à usage multiple (MEURET 2007). La taille des structures devient spectaculaire. Ainsi, le bas fourneau de l'Etang du Perray en Plélan-le-Grand (35) a un diamètre interne de 1.25 m et on sait qu'il a fonctionné à de reprises (VIVET 2007a). La découverte de sites de l'Age du Fer se fait de plus en plus nombreuse dans la Haute-Bretagne, en particulier dans la vallée de la Rance et la région de Paimpont. Les trois bas fourneaux du site de Kermoisan à Quimper (29) marquent la transition entre l'Age du Fer et la période gallo-romaine (VIVET 2007a). Ils ont, en effet, fonctionné pendant les dernières décennies de l'indépendance gauloise et au 1er siècle. Les objets métalliques sont assez rares dans l'Ouest de la France (MEURET 2007). Ce fait peut s'expliquer par la mauvaise conservation des objets ou par une pratique systématique de la récupération et du recyclage des objets usés et brisés. Néanmoins, on trouve quelques objets dans les sanctuaires et les sépultures, dans quelques dépôts (actes peut-être rituels) et des objets isolés, notamment dans les habitats. On connaît également des dépôts de « lingots » de fer bipyramidaux. Ces demi-produits sont une preuve de l'activité sidérurgique en Bretagne.

Un nouveau type de bas fourneau s'impose à l'époque gallo-romaine. Il s'agit des bas fourneaux à scories écoulées. Il coexiste avec le bas fourneau à scorie piégée et à usage multiple. Peu de sites sidérurgiques gallo-romains ont été fouillés dans l'ouest de la France. On peut tout de même citer les exemples de Couedouan en Plélan-le-Grand (35), de la Pilleverte II en Plesder (35) et de la Fossardais en la Dominelais (35). La fouille de ce dernier site a livré un bas-fourneau au centre d'un gisement de scories de 50 m de diamètre. Des tuiles romaines formaient la base de la paroi du four (MEURET 2007). En revanche, de nombreux sites ont été découverts dans le cadre des prospections.

Peu de sites de la période Carolingienne ont été découverts et fouillés (MEURET 2007). On peut mentionner quelques exemples comme le site de la Bonde à Guer (56) et le site de la Tullaye à

Janzé. Tous deux sont des sites gallo-romains, qui ont continué leur activité au début de la période médiévale. Au Moyen-Age, les ordres monastiques, notamment les Cisterciens, ont jouent un rôle important dans le développement de la métallurgie à la fin du Moyen-Age (MEURET 2007). Le haut-fourneau apparaît, néanmoins le bas-fourneau continue de fonctionner. Des bas fourneaux médiévaux (1621) ont été découverts aux Salles en centre Bretagne (MEURET 2007).

A partir du 11e siècle et jusqu'au 15e siècle, la métallurgie fait partie intégrante de l'économie seigneuriale. Des ateliers de réduction ont été découverts sur le site de Maltouche à Bonnemain (35).

De nombreux établissements furent fondés aux 16e et 17e siècles, le long des cours d'eau et des étangs pour profiter de l'énergie des moulins. Les principaux sites sont : les forges de Paimpont (35), Hennebont et des Salles (56).

Les premières forges de Paimpont furent fondées dès 1663, autour de 2 petits étangs. Le fer est extrait sur place, le bois de la forêt fournit le combustible et les étangs assurent le fonctionnement du système hydraulique. La production consistait en ustensiles pour la maison, la ferme ou l'armée. A son apogée, la production de Paimpont fut l'une des meilleures d'Europe, rivalisant avec les importations étrangères. Les principaux clients étaient les quatre arsenaux bretons. Le déclin viendra avec l'arrivée des grands bassins sidérurgiques, moins cher, et l'essor des grands bassins sidérurgiques du nord et de l'est de la France. Les haut-fourneaux de Paimpont cessent la production définitivement en 1884. Un amas de laitier a également été découvert près de l'Etang du Pas du Houx. Mais aucune structure n'a été découverte

Les forges d'Hennebont s'installent sur les bords du blavet en 1860. Leur activité perdure jusqu'en 1966.

Les Forges des Salles sont un établissement métallurgique, avec quatre haut-fourneaux, fondé en 1623 par Geoffroy Finement d'Angicourt. Elles sont situées en Centre-Bretagne, dans la forêt de Quénécan. La région a tous les éléments indispensables à l'installation d'activités sidérurgiques : la présence d'eau, de bois et de minerai de fer. L'activité cesse en 1877.

Au 18e siècle, d'autres haut-fourneaux ont été construit sur les sites de : Pont-Callec (56), Pluvigner (56), Tredicon (56) et Novillac (56).

2. METHODES ET SOURCES DE TRAVAIL

2.1. Approche bibliographique

2.1.1. Dépouillement

- SERVICE DE LA CARTE ARCHEOLOGIQUE

Suite à un rendez-vous au service régional de l'archéologie (SRA) de Rennes, nous avons consulté le service de la carte archéologique. Il dispose de la base informatique PATRIACHE.

Cette base est alimentée par les données issues de la bibliographie, des fouilles et des prospections inventaires. Elle est gérée régionalement sur un modèle national et connaît actuellement une évolution importante avec la mise en place d'un système d'information géographique. Sur les quatre départements, la base informatique PATRIARCHE recense plus de 20 000 sites au 16 novembre 2006.
Concernant notre problématique "métallurgique", l'essentiel des termes interprétatifs se situe sous la rubrique « 8 économie » :

8.10 Charbonnière

8.13 Extraction

8.13.1 Carrière

8.13.4 Mine

8.25 Production métallurgique

8.25.1 Atelier Métallurgique

8.25.1.2 Forge

8.25.2 Traitement du Minerai

8.25.2.1 Bas Fourneau

8.25.2.2 Haut Fourneau

Les principales structures sont représentées sous les dénominations suivantes : « Four, foyer, ferrier ». Les données ont été extraites à partir des termes interprétatifs, car les ferriers mentionnés sont tous associés à une interprétation liée à la métallurgie. Les termes de "four" et de "foyer" ont une utilisation trop répandue et ils risqueraient de ramener trop d'occurrences non liées à la métallurgie.

La consultation de cette base nous a apporté de maigres résultats. En effet, la base de données du

SRA est bien trop généraliste pour notre sujet. Par exemple, la recherche avec le thésaurus « activité métallurgique » ne donne que le nom de cinq sites sur l'ensemble de la Bretagne, alors que nous savons qu'il y en a bien plus. Certaines données n'ont pas encore été enregistrées, comme les prospections de J.B. Vivet et de V. Le Quellec, qui ont permis la découverte de nombreux sites. De plus, un site ne peut être enregistré que sous deux thésaurus. Si, une forge est découverte dans un angle d'un enclos de l'Age du Fer, le site sera d'abord enregistré comme un enclos ou un habitat et la forge ne sera pas notifiée (ce n'est pas l'activité principale).

Après la consultation de la base PATRIARCHE, nous avons compris l'importance du dépouillement bibliographique pour le recensement des sites métallurgiques et des objets de l'Age du Fer connus en Bretagne pour l'Age du Fer.

Le service de la carte archéologique nous a également fournit une liste des habitats connus à l'Age du fer. De la même manière, des habitats recensés au cours du dépouillement bibliographique ne sont pas mentionnés dans la carte archéologique.

- CONSULTATION DES « CAG »

Les recherches bibliographiques ont été centrées sur la région Bretagne. L'investigation a débuté avec les « cartes archéologiques de la Gaule » (CAG). La « CAG » est une collection de l'institut de France et de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres. Elle a été créée en 1930. Elle a pour but d'effectuer un inventaire le plus complet et le scientifique possible de toute la documentation et connaissances acquises sur les sites archéologiques de l'Age du Fer au Haut Moyen-Age, sur un département. Ce bilan est dressé à partir de revues d'archéologie régionales et nationales, d'ouvrages et de rapports de fouilles et de prospections. Pour chaque commune, l'auteur fait un inventaire de tous les sites. Pour chaque site, est mentionné : la nature de la découverte, le nom des inventeurs (quand il est connu), la description du vestige ou du site et des indications bibliographiques.

Trois « CAG » sont disponibles aujourd'hui : le Finistère (GALLIOU 1989), l'Ille-et-Vilaine (LEROUX & PROVOST 1990) et les Côtes-d'Armor (BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002). Le « CAG » du Morbihan n'est pas encore éditée. Ceux des deux premiers départements sont relativement anciens. La thématique de la métallurgie était encore très méconnue. Les prospections sur la paléométallurgie du fer sont encore rares. Les sites métallurgiques sont donc peu nombreux. On retrouve souvent la mention « présence de scories », sans précision sur la nature, la datation ou la quantification. La carte archéologique des Côtes-d'Armor est beaucoup plus récente et donc plus riche en renseignements. Parue en 2002, elle recense notamment les vingt années de prospections du CeRAA et les prospections thématiques sur la sidérurgie dans la vallée de la Rance. Les données

pour chaque site sont plus précises, notamment la datation, l'inventeur et l'étendue des gisements de scories. Ces ouvrages ont permis de recenser plus de 200 sites sur les trois départements bretons.

- CONSULTATION DES REVUES ARCHEOLOGIQUES

Les revues archéologiques sont nombreuses. Toutes n'ont pas pu être dépouillées dans cette première étude. Seule une dizaine de revues ont été consultée. Parmi ces revues, une seule est de niveau national, les autres sont des publications régionales.

Gallia est une revue nationale, consacrée à l'archéologie en France. Elle est une référence pour le travail de dépouillement et de recherche de site. En effet, elle a pour mission de publier les recherches et les résultats de fouilles les plus significatifs dans le domaine de l'archéologie en France, de la Préhistoire à l'Antiquité tardive. La consultation de l'ensemble des tomes a été fructueuse. En plus du dossier-bilan sur la métallurgie paru en 2000 (DOMERGUE & LEROY 2000), de nombreux sites ont pu ajouter à notre corpus.

Les revues archéologiques bretonnes sont très nombreuses. Les plus anciennes sont souvent éditées par des sociétés savantes d'histoire et d'archéologie. Elle porte le nom de « sociétés » du fait de leur ancienneté. Avant 1901, « la société » était la seule forme juridique permettant à des personnes de se regrouper pour exercer des activités en commun. Ces sociétés rédigent des bulletins annuels, sur des thèmes historiques et archéologiques, concernant leurs zones respectives. Elle s'attache à répondre à l'engouement de nos contemporains, pour leur passé proche ou lointain et par les éléments d'un riche patrimoine architectural. On peut citer des exemples : la Société archéologique du Finistère, la Société polymathique du Morbihan, la Société d'émulation des Côtes d'Armor, la Société d'archéologie et d'histoire de Bretagne, la Société d'archéologie et d'histoire du pays de Lorient, la Société d'archéologie et d'histoire de l'Ille-et-Vilaine…

Certaines revues sont beaucoup plus récentes. La Revue Archéologique de l'Ouest a été créée en 1984. Elle regroupe chaque année une série d'articles sur des sites fouillés dans le Grand Ouest, de la préhistoire au Moyen-Age. Les « Dossiers du CeRAA » est une revue centrée autour de la région de Saint-Malo. La revue Archéologie en Bretagne a été créée dans les années 1970.

Tous ces périodiques se présentent sous la forme d'articles, traitant d'un thème ou d'un site récemment fouillé. Néanmoins, certains présentent également une rubrique « informations archéologiques ». Cette rubrique référence toutes les découvertes archéologiques faites sur un territoire donné. On retrouve cette chronique notamment dans Gallia et dans les bulletins de la société archéologique du Finistère.

La consultation de ces périodiques est un travail long et fastidieux. Les CAG ont été construits notamment à partir de ces périodiques. Il paraît donc normal, qu'au cours de la consultation des revues, de rencontrer des sites vus dans les CAG. Néanmoins, ce travail devient intéressant pour les

revues parues après la date d'édition des CAG. Ce travail permis de fournir au corpus un grand nombre de sites métallurgiques nouveaux et de nombreux sites ayant livré du mobilier en fer.

- CONSULTATION DES RAPPORTS DE FOUILLES ET DE PROSPECTIONS

Cette première approche permet d'obtenir des renseignements généraux concernant les sites repérés et donc d'approfondir la recherche. Les rapports de prospections nous apportent de nombreux sites supplémentaires et les rapports de fouilles apportent de nombreuses informations, tels que la description des bas-fourneaux, l'organisation de l'atelier, la quantification des déchets.

Ces rapports sont consultables au service régional de l'archéologie, à Rennes. Néanmoins, les rapports les plus récents sont indisponibles au public. Ce problème est en partie résolu, car les rapports de fouilles de l'INRAP sont disponibles à l'INRAP, à Cesson-Sévigné.

2.1.2. Enquêtes orales et écrites

Au cours de ces derniers mois, nous avons rencontré plusieurs archéologues, de différentes institutions. Le but est de présenter notre projet à la communauté archéologie de Bretagne, et ainsi, favoriser les contacts avec le plus grand nombre possible de personnes acceptant de collaborer à l'élaboration de ce corpus. Dans le cadre de ce travail, nous avons rencontré des archéologues d'une association locale, le « Cerapar » et de l'Inrap.

- LE CERAPAR

Le centre de recherche archéologique du pays de Rennes (Cerapar) est une association basée à Pacé, en Ille-et-Vilaine. Elle a été créée en 1987. Son but est de contribuer à l'étude du patrimoine archéologique du sud de l'Ille-et-Vilaine, d'en diffuser la connaissance et de favoriser sa protection. L'étude du patrimoine archéologique se fait par des prospections et des relevés de sites. Ces activités sont réalisées par des bénévoles, encadrés par des professionnels. Leurs études concernent différentes périodes, de la préhistoire au Moyen-Age. Le Cerapar est en liaison avec les autorités archéologiques, tels que le service régional de l'archéologie (SRA), l'Université, les musées et les collectivités territoriales. (SITE INTERNET DU CERAPAR).

Par leur activité de prospections, il nous semblait important de prendre contact avec eux. Au cours du sondage d'une voie romaine dans la forêt de Liffré, ils ont découvert une couche de drainage composée de scories gallo-romaines. Cette découverte n'a qu'une valeur limitée dans le cadre de ce mémoire (les interprétations sont limitées à l'Age du Fer), mais cette prise de contact avec l'association apportera peut-être de découvertes de sites métallurgiques protohistoriques dans le

Pays de Rennes.

- L'INRAP

L'Inrap (Institut National de Recherche Archéologique Préventive) été créé en 2002, pour succéder à l'Afan (Association Française des Antiquités Nationales). Il assure la détection et l'étude du patrimoine archéologique touché par les travaux d'aménagements du territoire. L'Inrap est un établissement public de recherche placé sous la tutelle des ministères de la Culture et de la Communication et de la Recherche. Il est chargé d'étudier les sites de toutes les périodes, de la préhistoire à la période contemporaine. Composé d'environ 1500 archéologues, il réalise plus de 2000 diagnostics et environ 300 fouilles par an. (SITE INTERNET DE L'INRAP).

Il est réparti sur le territoire national avec 8 directions interrégionales et 50 centres archéologiques. Nous avons rencontré Stéphane Blanchet et Sandra Sicard, archéologues à l'Inrap de Cesson-Sévigné. Ils nous ont présenté les scories qu'ils ont découvertes au cours des fouilles sur les secteurs respectivement, de la Tourelle à Lamballe et de la ZAC des Touches à Pacé.

L'Inrap est un interlocuteur précieux pour notre travail. Les archéologues réalisent de nombreux diagnostics et fouilles, au cours desquels ils trouvent régulièrement des scories. Mais ce matériel leur pose des problèmes, puisqu'ils ne connaissent pas les techniques de travail à adopter et ni même interpréter les indices présents. C'est pourquoi, il n'est pas rare que les scories soient uniquement mentionnées dans l'inventaire général, sans être lavées et étudiées.

Cette rencontre a été très enrichissante pour les deux parties. D'un côté, nous avons obtenu les noms de nouveaux sites à scories pour notre corpus, ainsi que l'autorisation de consulter les rapports de fouilles. Les scories des sites mentionnés ci-dessus sont incorporées à notre étude avec dans un premier temps une description macroscopique de celles-ci uniquement. Les données obtenues et les interprétations liées à ce dernier travail seront transmises à l'INRAP pour une meilleure description des sites dans les DFS.

Nous avons également pu apporter un éclairage aux archéologues présents lors de notre première venue, sur l'étude de la métallurgie, les techniques à adopter sur le terrain et les analyses possibles en laboratoire. Ainsi, les fouilles qui seront réalisées dans le futur apporteront toutes les données nécessaires à la constitution d'un corpus paléométallurgique parfaitement renseignés.

2.2. Approche informatique

2.2.1. Le répertoire sous EXCEL

L’ensemble des données recueillies, à partir du dépouillement bibliographique, va être répertorié sur une feuille de type Excel. Cette base de données permet de faire un inventaire de tous les sites de réduction et de forge et un inventaire tous les objets en fer connus. Elle a la capacité de traiter une grande quantité d’informations et permet d’effectuer un tri et un croisement des données très rapide.

Ce corpus ne s’inscrit pas uniquement dans le cadre de ce mémoire. Cette base de données est un travail, qui s’inscrit dans la durée, puisqu’elle s’intéresse à toutes les périodes et va constamment s’enrichir de nouvelles données correspondant soit à des précisions sur les sites déjà référencés, soit à de nouveaux sites trouvés au cours de prospections ou de fouilles.

- INVENTAIRE DES SITES METALLURGIQUES

Sur cette feuille de type Excel, chaque ligne correspond à un site. Et pour chaque site, sera mentionné : la commune, le lieu-dit (voire le numéro de la parcelle), le département, l’inventeur, la nature du site, la période concernée et les coordonnées géographiques. Néanmoins, cette étape de renseignement ne s’est pas faite facilement et plusieurs cases peuvent rester vides pour un bon nombre de sites. Lors des découvertes anciennes, les sources bibliographiques ne mentionnent pas toujours la localisation précise, le nom de l’inventeur et la nature exacte du site. Certains sont découverts uniquement en prospection tandis que d’autres ont été fouillés. Cette distinction est importante, car les sites fouillés présentent des informations plus précises que les sites repérés en prospection. C’est pourquoi, les sites fouillés sont marqués comme tel dans la base.

L’autre problème rencontré est l’interprétation des indications des sources écrites, notamment pour la nature, la datation du site, la localisation précise du site. On retrouve souvent des descriptions, telles que « présence de scories », qui ne nous permettent pas de déterminer s’il s’agit d’une activité de réduction ou de forge, les scories étant des déchets présents dans les deux activités. Il faut s’en tenir à des mots clés peu explicites tels que « scories » pour toute description.

La datation des sites est encore un autre problème. En effet, les scories sont des déchets qui ne peuvent pas être datés précisément par un simple coup d’œil. Seule la présence d’un vestige datable permet de dater l’amas de déchets métallurgiques. Par exemple, un ferrier peut être daté par la présence d’un tesson de céramique au milieu des scories.

Les coordonnées géographiques sont en Lambert II, afin de pouvoir confronter les données issues de cette base paléométallurgique et celles issues de la carte archéologique. Mais, il est parfois difficile de retrouver dans la bibliographie une localisation précise, comme des coordonnées géographiques ou un numéro de parcelle. Pour un site découvert depuis quelques décennies, la localisation se résume généralement au nom de la commune et au mieux lieu-dit. Cette différence

parait anodine, mais elle peut poser problème lors des superpositions spatiales des sites métallurgiques avec celles des habitats. Et il n'est pas possible alors en l'état de réaliser une étude spatiale très locale.

Il a fallu simplifier les données entrant comme paramètre dans le SIG. Les données de la datation et de la nature du site étaient très variées et correspondaient aux termes employés dans les sources écrites. Plusieurs mots correspondaient à une même étape de la chaîne opératoire ou à une même phase chronologique. Toutes les données ont été reprises et uniformisées pour faciliter le fonctionnement du SIG. Par exemple, les mots « fonderie » et « activité métallurgique » ont été renommés sous le terme « réduction ». Toutes les cases intitulées « premier Age du fer » ou « second Age du Fer » ont été transformées en « Hallstatt » ou « La Tène ».

Les sites intégrés dans la base PATRIARCHE du service régional de l'archéologie sont identifiés car au fur et à mesure du travail, les nouveaux sites identifiés comme « atelier métallurgique » seront transmis au service de la carte archéologique.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons choisi d'intégrer les sites antiques. En effet, certaines installations gallo-romaines sont installées sur des sites de l'Age du Fer. Les vestiges protohistoriques sont fragiles et peu visibles sur les sites, tandis que les installations gallo-romaines, laissent des traces archéologiques très visibles, avec de nombreux fragments de tegulae, d'imbrices, de céramiques communes ou sigillées. Ces vestiges peuvent masquer un site de l'Age du Fer.

- INVENTAIRE DES OBJETS EN FER A L'AGE DU FER

Les objets sont également répertoriés dans une feuille de type Excel. Chaque ligne correspond à un objet. Pour chaque objet, sera mentionné : le type de l'objet, le lieu de la découverte (le département, la commune, le lieu-dit, les coordonnées Lambert II étendu), l'inventeur, le contexte de découverte, la datation de l'objet et le lieu de conservation.

Ce corpus comporte des objets en fer et des objets composites, c'est-à-dire des objets composés de deux types de matériaux.

Nous avons rencontré quelques problèmes au cours de la création de la base de données, car comme précédemment, certaines données sont absentes de la base. Les données concernant les objets issus de découvertes anciennes sont parfois incomplètes, notamment concernant le nom de l'inventeur, la localisation exacte de la découverte et surtout le lieu de conservation actuel. Certains sites présentent simplement des fragments d'objets en fer, très érodés, qui n'ont pas pu être identifiés. Néanmoins, ces éléments ont été intégrés à la base.

Une mention spéciale est faite pour les lingots. Ce ne sont pas des objets au même titre que la

parure ou des armes. Ce sont des objets qui ont une relation directe avec la sidérurgie. Ce sont les produits de la sidérurgie. En Bretagne, ce sont surtout des lingots bipyramidaux qui ont été découvert en Bretagne.

Enfin, on peut se poser la question de savoir si ce corpus est complet. Sans doute non, les objets en fer et les fragments très érodés sont retrouvés dans tous les types de fouilles : Dans les souterrains, dans les sites d'habitats, dans les ensembles funéraires, dans les sanctuaires… le contexte de découverte est si vaste, qu'il aurait fallu consulter tous les rapports de fouille conservant les sites de l'Age du Fer. Il est donc difficile de pouvoir tous les répertorier en aussi peu de temps.

- INVENTAIRE DES HABITATS DE L'AGE DU FER

Les habitats sont répertoriés dans une feuille de type Excel. Chaque ligne correspond à un site. Pour chaque site, sera mentionné : la localisation (le département, la commune, le lieu-dit, les coordonnées Lambert II étendu), l'inventeur, la datation de l'occupation et le type d'habitat (rural ou urbain).
Cette liste d'habitat a été obtenue à partir de deux sources : le service de la carte archéologique du SRA de Rennes et par le dépouillement bibliographique. Ainsi, ce sont plus de 180 habitats de l'Age du Fer, qui ont pu être recensés.

Comme on l'a vu précédemment (voir 1.2.4. Présentation archéologique), les habitats sont révélés aux archéologues sous différentes formes : Habitats avec trous de poteaux, enclos fossoyés, souterrains.
Ici aussi, le répertoire est loin d'être complet. Par exemple, la carte de distribution des souterrains et des enclos (Figure 16) est bien plus dense que la nôtre (Figure 17).

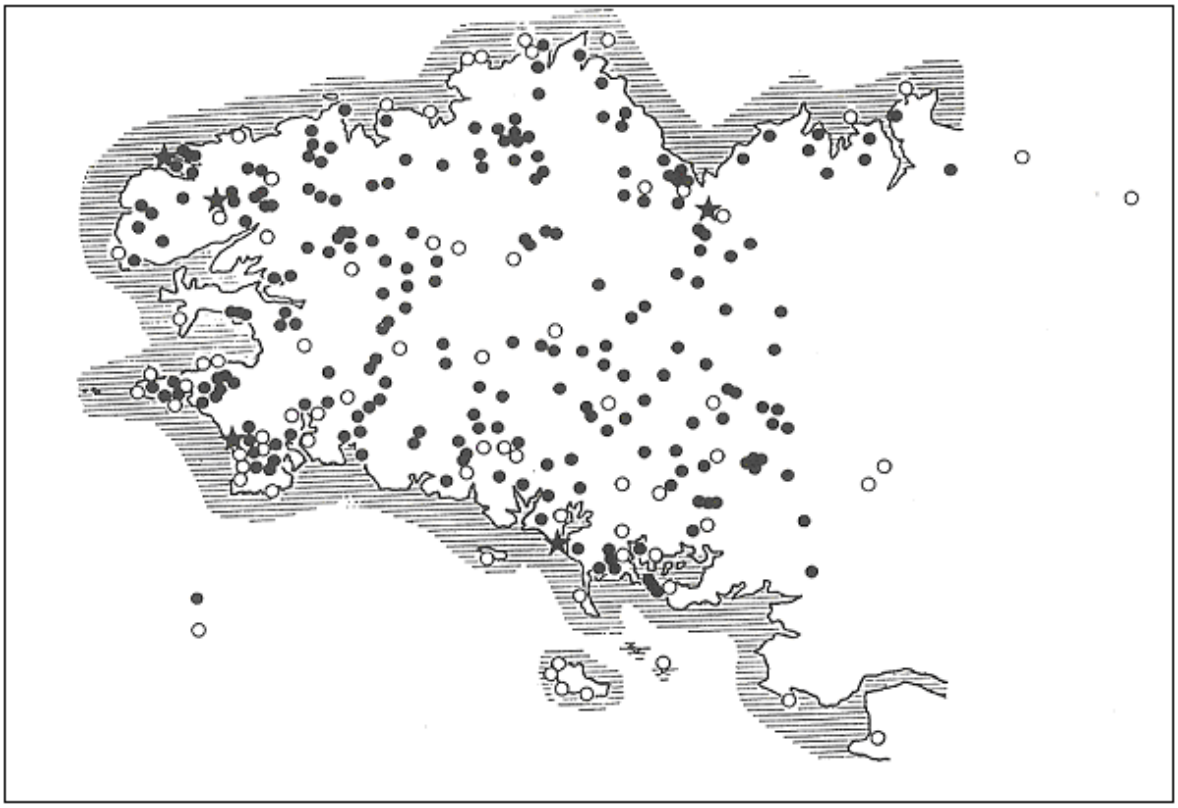

Figure 16: Carte de répartition des souterrains armoricains et des camps de l'Age du Fer
(Carte issue de GIOT, BRIARD & PAPE 1995)
(Rond noir : souterrain, cercle blanc : camp ou enclos connus avant les prospections aériennes, étoile : association d'un souterrain avec un camp ou un enclos).

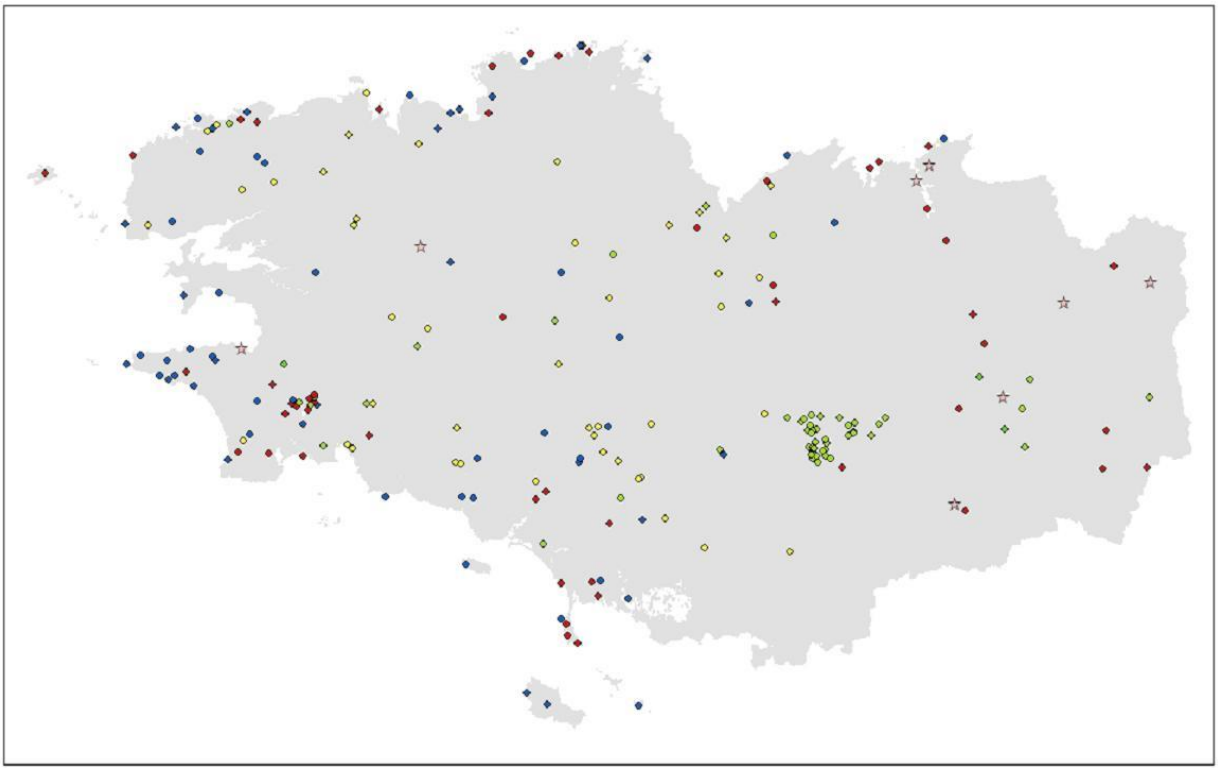

Figure 17 : Carte de répartition des indices d'habitats, obtenue à partir du dépouillement bibliographique et par la consultation de la carte archéologique
(Rond vert : enclos, rond bleu : enceinte fortifié, rond rouge : habitat, rond jaune : souterrain, étoile : oppidum)

2.2.2. Le Système d'information géographique (SIG)

Le système d'information géographique (SIG) est un outil informatique permettant d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et des cartes (DENEGRE SALGE 1996). Le SIG permet de définir et de structurer un ensemble de données dans un espace de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

- ROLE ET FONCTIONNEMENT DU SIG

Le but du système d'information géographique est de présenter une représentation le plus réaliste possible de l'environnement spatial en se basant sur des primitives graphiques (des points, des polygones, des arcs…), lesquels sont associés à des informations qualitatives (habitat, sites de réduction, forge…). La représentation est généralement en deux dimensions, mais un rendu 3D ou une animation présentant des variations temporelles sur un territoire est possible (DENEGRE SALGE 1996).

Un SIG doit répondre à quatre questions, et ce quel que soit le domaine d'utilisation (DENEGRE SALGE 1996) :

- Où : Où se situe la zone d'étude et quelle est son étendue géographique ?
- Quoi : Quels objets peut-on trouver sur l'espace étudié ?
- Comment : comment les objets sont-ils répartis dans la zone étudiée ? Quelle est la relation entre ces objets et la zone étudiée ? (C'est l'analyse spatiale)
- Quand : L'évolution des objets dans la zone étudiée. C'est l'analyse temporelle

L'utilisation du SIG en archéologie est de plus en plus courante car elle permet une analyse spatiale des sites et permet d'étudier les relations entre les différents éléments spatialisés. Dans notre cas, le SIG va nous permettre de mettre en relation les sites de métallurgie et les habitats de l'Age du Fer connus.

Le logiciel assure six fonctions, qui sont : la saisie des informations géographiques sous forme numérique (acquisition), la gestion de la base de données (archivage), la manipulation et l'interrogation des données géographiques (analyse), la mise en forme et la visualisation (affichage), la représentation du monde réel (abstraction) et la prospective (anticipation) (DENEGRE SALGE 1996).

- UTILISATION D'ARCGIS

Le traitement spatial des données a été réalisé par le logiciel ArcGis 9.2 Desktop, édité par la société ESRI. Cet instrument est mis à la disposition par l'UMR 6566 « Civilisations atlantiques et

Archéosciences » de l'université de Rennes 1. ArcGIS comprend une suite d'applications : ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox et ModelBuilder. Dans le cadre de ce mémoire, seul ArcMap a été utilisé, pour l'analyse spatiale.

Les informations de la base de données ont été simplifiées pour faciliter le fonctionnement du SIG. Certaines informations ont été réunies pour simplifier le code des couleurs et faciliter la lecture. Plusieurs mots-clefs peuvent être utilisés pour faire fonctionner le SIG. Ces mots-clefs différents selon l'étude que l'on veut faire de la carte. Par exemple, si on souhaite étudier la répartition des sites suivant la nature de l'activité métallurgique, plusieurs mots-clefs sont pris en compte :

- Les mines, le minerai et les minières sont réunies sous les mots clef de « Mines ».
- Le grillage et la réduction sont sous le mot-clef de « Réduction ».
- La forge et l'épuration ont été réunies sous le mot-clef de « Activité de post-réduction ».
- Les scories et les sites non déterminées ont été réunis sous le mot-clef « indéterminé ».

Ces mots-clefs peuvent être affinés, si la question pose est plus précise.

2.2.3. L'inventaire sur Files Maker

Deux inventaires ont été créés sur Files Maker Pro, un pour la description des sites et un autre pour la description des échantillons. Ce logiciel permet d'effectuer des recherches par mots-clefs, si bien que le vocabulaire descriptif doit correspondre à celui employé avec le SIG.

Le premier fichier Files Maker est un complément, plus détaillé, des feuilles Excel. Il comporte une description plus détaillée du site, parfois des photos et mentionne la présence de l'ensemble du de mobilier sidérurgique prélevé.

Le second correspond à une fiche détaillée pour chaque échantillon du mobilier sidérurgique. Cette fiche comprend : localisation du lieu de prélèvement (nom du site et localisation sur celui-ci), le type de manipulations effectuées (étude macroscopique, microscopique, chimique…), description du mobilier et des photos.

2.3. Approche de terrain : la prospection

Une journée de prospection a été organisée en forêt de Paimpont. Durant cette expédition, nous avons été guidés par Jean-Charles Oillic, doctorant de l'Université de Rennes I, qui étudie cette zone dans le cadre de sa thèse sur le paléoenvironnement et en particulier l'évolution de la forêt de Paimpont, notamment liée aux activités artisanales, et plus particulièrement la métallurgie aux

différentes époques.

Depuis le début des années 1980, l'association des amis du Moulin du Châtenay s'est intéressée au patrimoine local (LARCHER 1990). Riche de son passé sidérurgique, quelques vestiges subsistent encore, comme les forges de Paimpont. Ils ont cherché à comprendre leur passé à travers différentes opérations : Dépouillements d'archives, études toponymiques, prospections terrestres et aériennes, fouilles et même expérimentations.

Paimpont, ainsi que Plélan-le-Grand, la commune voisine, font l'objet d'une prospection thématique depuis plus de vingt-cinq ans (VIVET 2007). De nombreux prospecteurs, professionnels de l'archéologie et amateurs passionnés, sillonnent la région à la recherche de nouveaux sites paléométallurgiques. A ce jour, plus de 250 sites ont été répertoriés, de l'Age du Fer à l'époque moderne.

Cette sortie de terrain avait trois objectifs :

- Visite de sites déjà connus, voire déjà fouillés, de diverses époques, de manière à se familiariser avec les vestiges métallurgiques des différentes époques (pour bien discriminer les matériaux de l'Age du Fer, il faut pouvoir faire la différence avec ceux des autres époques). Nous avons par exemple visité les sites de Bois Jacob (Figure 18) et des Glyorels (figure 19).

- Récolte d'échantillons de minerais et de scories pour une étude macroscopique et microscopique en laboratoire.

- Recherche potentielle de nouveaux sites. Au cours de la prospection, on a rencontré un site près du lieu-dit des Glyorels (Figure 20).

La visite de sites déjà connus a permis voir la conservation des sites de différentes périodes dans la région de Paimpont. Outre les sites spectaculaires tels que les minières, les hauts fourneaux et les ferriers, de nombreux autres signes métallurgiques sont peu visibles comme les zones rouges (zones localisant les ateliers de réduction de l'Age du Fer). Cette journée m'a également permis de distinguer les déchets de la filière directe de ceux de la filière indirecte.

La prospection en forêt est plus difficile que d'inspecter les champs labourés. Le couvert forestier camoufle les vestiges et la couleur du sol. Les prospecteurs ont établi des contacts avec les propriétaires forestiers, les gardes et la population locale pour mener à bien leur recherche (LARCHER 1990). Ils profitent également des travaux et des coupes en forêts pour voir apparaître de

nouveaux sites (LARCHER 1993). En effet, de nombreux signes de métallurgie sont peu visibles, et encore moins sous un couvert forestier. Néanmoins, certains sont plus spectaculaires comme les minières et certains ferriers.

Figure 18 : Scorie de fond de four, Bois Jacob (Paimpont, Ille-et-Vilaine), daté du Hallstatt

Figure 19 : Les Glyorels 1 (Paimpont, Ille-et-Vilaine), daté de La Tène
En haut : bas fourneau vu en prospection
En bas : bas fourneau fouillé

Figure 20 : Les Glyorels 3 (Paimpont, Ille-et-Vilaine), daté de La Tène
En haut : Zone rouge vue de haut
En bas : Zone rouge vue en coup

La particularité, pour l'Age du Fer, de la région de Paimpont est la présence des « zones rouges à scories ». Il s'agit de zones à terre rouge, avec de petites scories (LARCHER 1990). Cette couleur tranche nettement avec la teinte brune environnante visible en particulier dans les champs labourés. Très tôt, les prospecteurs ont associé ces vestiges à la paléométallurgie. Ces zones sont connues depuis le début des années 1990, mais leur datation posait alors un réel problème. Aujourd'hui, nous savons que ces zones rouges représentent chacune un atelier de réduction de l'Age du Fer. Ces sites ont d'abord été repérés par des prospections pédestres. Puis, une prospection aérienne a permis de recenser les zones rouges présentes dans les champs labourés. Aujourd'hui, les prospecteurs cherchent les zones rouges dans la forêt, notamment dans les tranchées des travaux forestiers et à la tarière à main. Près d'une centaine de sites à zones rouges ont pu être découvert dans la région de Paimpont, actuellement.

De nouvelles prospections sont à prévoir dans la région de Paimpont et en Bretagne. En effet, elles seront nécessaires à la vérification des données bibliographiques obtenues cette année. Des prospections sur des zones actuellement « vides » seront également programmées, surtout lorsqu'elles se situent dans des environnements géologiques propices à la présence de gisements de minerais de fer. Ceci afin d'augmenter les données du corpus.

Elles auront plusieurs objectifs :

- Localisation précise des sites
- Relevés des dimensions du gisement
- Déterminer l'étape de la chaîne opératoire (réduction ou forge ?)et la datation, si possible
- Prélèvements de mobiliers métallurgiques pour analyses en laboratoire

2.4. Approche du laboratoire : L'étude macroscopique

Au cours de notre journée de prospection dans la forêt de Paimpont, le mobilier métallurgique a été ramassé et placé dans des sacs plastiques, comportant une numérotation arbitraire permettant de reconnaître le site de ramassage.

Le mobilier est composé d'échantillons de minerai et de déchets métallurgiques : parois de fours, scories, laitiers. Il a été examiné après avoir été lavé et photographié. Ce sont essentiellement des déchets liés à la réduction du fer. En l'absence d'analyses chimiques, le mobilier a fait l'objet d'une étude macroscopique. Cette phase permet l'identification, de l'étape de la chaîne opératoire via les la nature des vestiges.

Le matériel recueilli a été décrit. Cette phase d'étude nécessite l'acquisition d'un œil et d'un vocabulaire particulier. Dans notre cas, les échantillons sont classés en trois grands ensembles :

- Les fragments de parois (Figure A) sont des blocs de terre cuite informe provenant de la paroi du bas-fourneaux. Ces blocs peuvent porter des traces de vitrification sur la face située à l'intérieur du four. Elle peut également être scoriacée, c'est-à-dire qu'une scorie s'est accolée à la paroi et que les deux matériaux ont fondu ensemble. On peut aussi noter une graduation de la température de cuisson grâce à l'évolution de couleur sur la face transversale du fragment, allant de la couleur jaune beige pour la paroi intacte à rouge orangé puis rouge brique, puis grise pour les parties les plus chauffées.

- Le minerai (Figure B) se présente comme des fragments informes de roche naturelle de couleur brun-orangé. Une étude plus précise, notamment en microscopie optique et en chimique permettra de se rendre compte de la diversité génétique de ces minerais, ce qui n'est pas vraiment possible avec un seul examen macroscopique.

- Les déchets de réduction. On peut en distinguer 3 catégories principales :

Pour les bas-fourneau à scories piégées, on distingue un seul type de scories : Les scories piégées

- La scorie s'écoule dans une cuve creusée au fond du four, en dessous du niveau des arrivées d'air. Cette scorie (Figure C) peut peser plusieurs dizaines de kilogrammes. La partie supérieure est généralement plane, avec un « aspect de liquide figé ». La partie inférieure est caractérisée par des écoulements, semblables à de stalactites de longueur inégale (LEROY & MERLUZZO 2004). Ces scories de plusieurs kilogrammes peuvent se morceler et donner des scories de dimensions plus réduites (Figures D et E).

Pour les fours à scories écoulées, on peut distinguer deux grands types : les scories internes et les scories qui s'écoulent hors du four.

- <u>Les scories internes</u>

Les scories internes (Figure F) sont des scories qui se sont accolées à certains endroits de la cuve et qui ont refroidi lentement dans le bas-fourneau. Ces scories sont notamment présentes dans le cas de bas-fourneaux à scorie écoulée. Elles peuvent prendre différentes formes. Leur surface est irrégulière, avec des arêtes vives et formes plus ou moins saillantes. Elle peut contenir des charbons de bois, utile à la datation de l'utilisation du bas-fourneau. Généralement, les scories riches en charbons sont très fragiles.

- <u>Les scories écoulées</u>

Une certaine typologie chronologique a été globalement mise en place. Ainsi, on sait aujourd'hui que certains types de scories peuvent être attribués à la période gallo-romaine. Les scories en plaquettes à surface lisse ou en profil de cassure en « V », scories en canal, ayant pris la forme de la

rigole, scorie en tige cylindrique

Plusieurs années d'observations ont permis d'attribuer certains types de scories à une période chronologique. Par exemple, on sait aujourd'hui, que les scories en plaquette à surface lisse ou avec un profil de cassure en « V », les scories de canal (ayant pris la forme de la rigole) et les scories en tige cylindrique, sont des scories caractéristiques de l'époque gallo-romaine dans notre région (VIVET 2007).

- Les scories écoulées (Figure G) sont des scories, qui ont refroidit à l'extérieur du bas-fourneau. Elles prennent la forme de coulure en cordons ou une accumulation de coulures superposées. La forme de la scorie dépend de la viscosité et la quantité de matière à s'écouler. A la fin du Moyen-Age, les scories écoulées deviennent très bulleuses. C'est le cas sur des sites du Vert Pignon et des Peronnettes, amis également dans toute la Gaule.
- Le laitier est un déchet, qui se forme quand la température du four atteint le point de fusion du fer. Ce résultat est obtenu dans un bas-fourneau par l'ajout de calcaire dans la charge (MAHE-LE CARLIER, DIEUDONNE-GLAD ET PLOQUIN, 1998). Il existe différents types de laitiers, suivant leur « densité » et leur texture. Les laitiers peuvent être vitreux et / ou cristallisés, dense ou bulleux.
  - Les laitiers vitreux (Figure H) se présentent sous la forme de bloc vitrifié comme du verre. La surface est lisse, avec plus ou moins d'impuretés. Leur couleur varie du bleu vert au noir. On peut également voir l'écoulement de la scorie, figé dans la vitrification.
  - Les laitiers cristallisés (Figure I) sont de scories qui ont un aspect pierreux.
  - Les laitiers bulleux (Figure J) sont des scories macro-poreuses, c'est-à-dire présentant des vacuoles plus ou moins grandes. Ils portent parfois des inclusions de charbons de bois.

Il est important de connaître des scories de différentes périodes, car elles permettent de donner une fourchette chronologique à partir d'un simple examen visuel. Les spécialistes peuvent à partir de différents critères (morphologie, texture, dureté, consistance…) émettre des interprétations sur la datation et le stade de la chaîne opératoire (FLUZIN, PLOQUIN & DABOSI 2004). Cette interprétation permet également d'orienter globalement la réflexion.

La description et la photographie des échantillons sont réunies sur des fiches (Figure 8), créées sur Files Maker Pro.

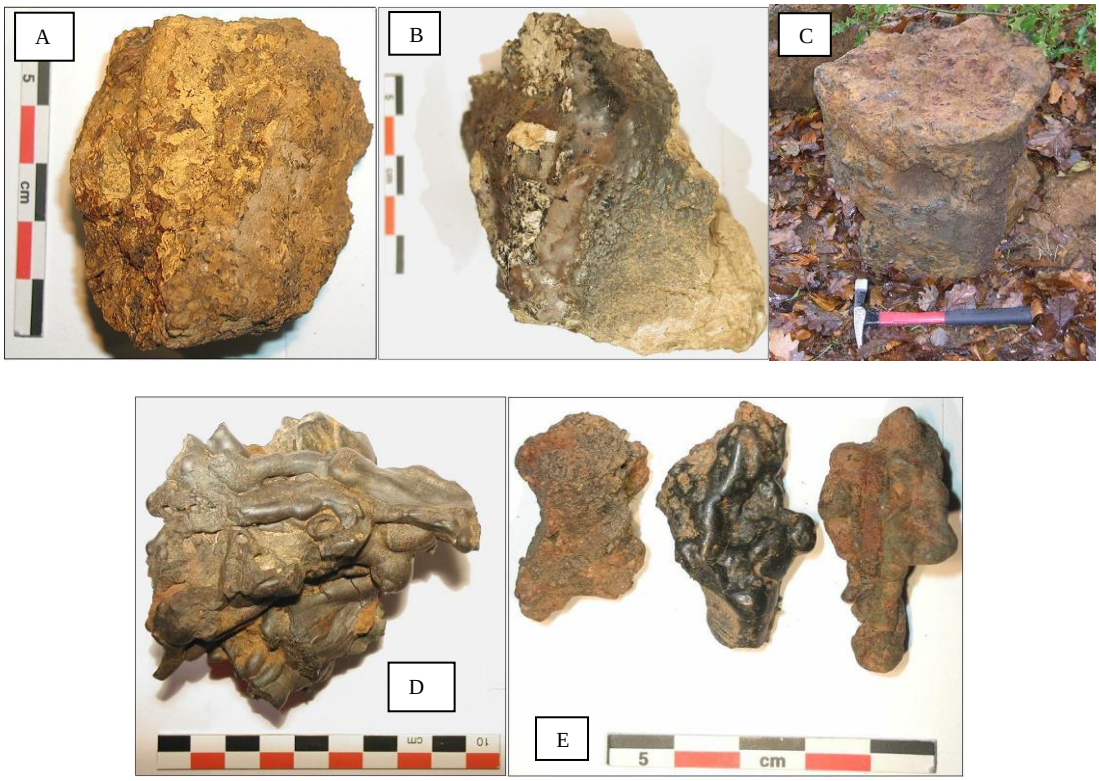

Planche de mobiliers sidérurgiques n°1 :

Figure A : Fragment de minerai ; **Figure B** : Fragments de paroi de four à scorie piégée ; **Figure C** : Scorie piégée dans la fosse du four ; **Figure D** : Ecoulement interne de scories dans un four à scorie piégée ; **Figure E :** Fragment d'écoulement de scories internes individualisé dans la fosse d'un four à scorie piégée

Planche de mobiliers sidérurgiques n°2 :

Figure F : Fragment de scorie interne accolée à un fragment de paroi, issue d'un bas fourneau à scorie écoulée **; Figure G :** Fragment de scorie écoulée **; Figure H :** Fragment de laitier vitreux écoulé hors du haut fourneau ; **Figure I** : Fragment de laitier cristallisé, éculée hors du haut fourneau ; **Figure J :** Fragment de laitier bulleux écoulé hors du haut fourneau

3. INTERPRETATION DES DONNEES

3.1. La base de données

Mon travail consiste à étudier la métallurgie en Bretagne à travers différentes questions, visant à préciser la relation entre les sites liés à la sidérurgie et les habitats à l'Age du Fer. La réflexion s'appuiera principalement sur deux étapes du travail du fer : l'obtention du métal brut par réduction directe et le travail du métal dans l'atelier de forge. Le mobilier métallique, « but ultime » de l'activité métallurgique, entre également dans le cadre de ce travail.

Au cours du dépouillement bibliographique, toutes les données, concernant la sidérurgie bretonne, ont été recensées. Elles seront étudiées dans le cadre d'une étude diachronique, menée par Cécile Le Carlier. En cette fin de mai 2008, ce premier corpus recense près de 900 sites de l'Age du Fer aux périodes plus récentes.

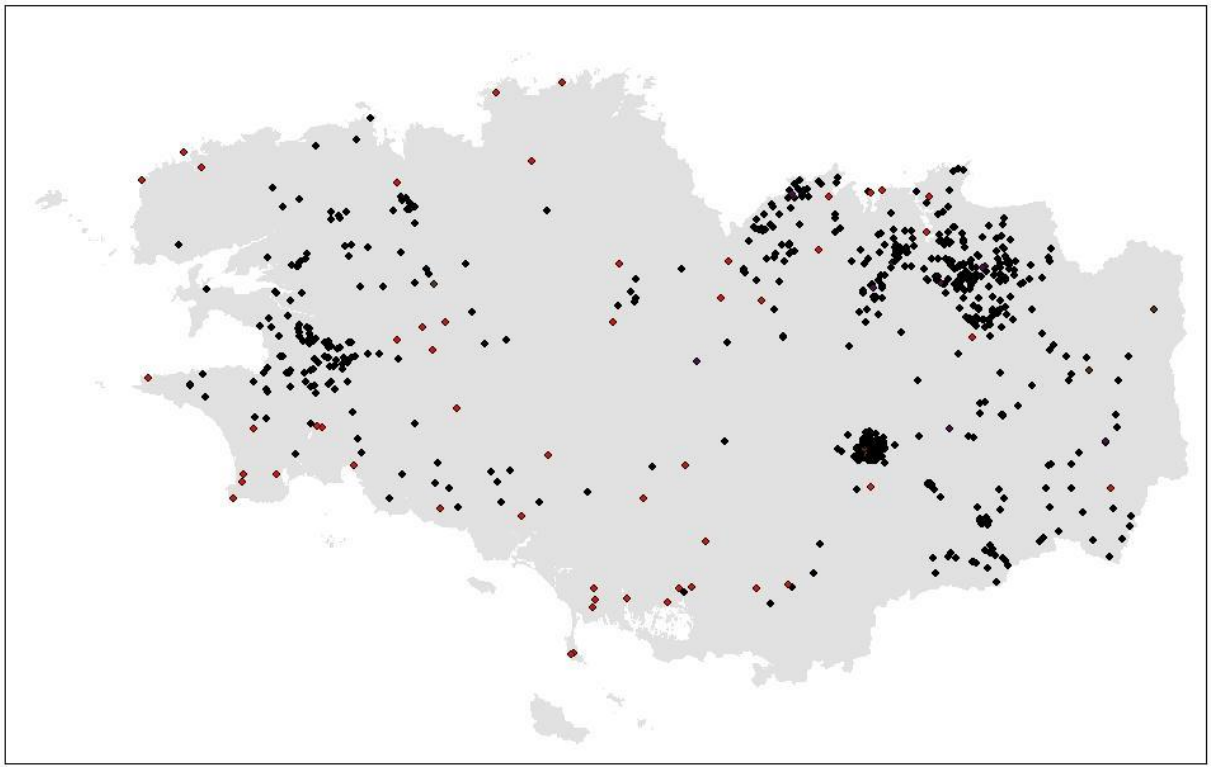

Figure 21 : Carte de répartition des sites de l'Age du Fer aux périodes récentes
(Point noir : sites sidérurgiques ; point rouge : sites à objets de fer gaulois).

Ces sites se répartissent sur l'ensemble du territoire breton (Figure 21). Néanmoins, on peut noter la présence de quatre zones de concentrations et des zones de vides. Le nord de la Haute-Bretagne et la région de Paimpont comptent un très grand nombre de sites, ainsi que le département du Finistère et le sud de l'Ille-et-Vilaine, dans une moindre mesure. Le Morbihan et l'ouest des Côtes-d'Armor sont des zones relativement vides, hormis quelques sites sidérurgiques et des objets en fer découverts en fouille. Cette répartition des sites ne correspond à aucune réalité. Cette carte est

surtout le reflet des zones d'étude des archéologues. La plupart des sites recensés sur cette carte proviennent de prospections thématiques dans le Bassin de la Rance, dans la région de Paimpont, dans le sud de l'Ille-et-Vilaine et plus récemment dans le Finistère.

- DATATION DES SITES

Ces cartes (Figures 22 et 23) témoignent du long passé sidérurgique de la Bretagne. Toutes les périodes y sont représentées, de l'Age du Fer aux périodes récentes.

Les vestiges les plus anciens remontent à l'Age du Fer, et plus particulièrement au Hallstatt. La datation de certains sites a été obtenue par des datations radiocarbone, à partir de charbons de bois, prisonniers dans des scories de fond de four. Une poignée de sites a pu être attribué au Premier Age du Fer, comme Les Remardières en Saint-Pierre-du-Plesguen (35) daté de –786 à –403 a.C, (VIVET 2007a), Le Bois-Jacob en Paimpont (35) daté de –780à –410 a.C (VIVET 2007b), et le site des plaintes en Paimpont (35), qui a sensiblement les mêmes datations (VIVET 2007a). Ces sites du Premier Age du Fer sont les plus anciens sites sidérurgiques de la Bretagne. Comme tous les vestiges archéologiques bretons, ces sites sont très peu nombreux. Ils deviennent plus fréquents au Second Age du Fer, et particulièrement à la Tène finale (Figure 23). Certains n'ont pas pu être datés plus précisément que « Age du fer ». Ces sites se répartissent sur l'ensemble de la Bretagne. On constate deux fortes concentrations de sites, correspondant aux nombreuses années de prospections dans la région de Paimpont et dans le Nord de la Haute-Bretagne. Le Morbihan et des Côtes d'Armor révèlent quelques sites, mais la majorité d'entre eux n'ont pas livré des scories, mais des objets en fer.

Les sites attribués à la période gallo-romaine sont assez nombreux et se répartissent sur tout le territoire breton. Ils sont surtout présents dans la partie orientale de la Bretagne. Quelques sites ont été identifiés dans le Finistère et dans le Morbihan, mais dans une moindre mesure.

Plusieurs sites du Moyen-Age ont été répertoriés. Certains sont dans la continuité avec un site gallo-romain, comme la forge de la Tullaye à Janzé (35) et les vestiges de réduction du site de Lessard en Plerguer (35). Quelques sites sont situés dans le Finistère et le Morbihan mais la plupart sont localisées dans le nord de la Haute-Bretagne.

Une dizaine de sites est datée de la période moderne, après le 15^{e} siècle. Parmi ces sites, on peut citer les anciennes forges de la commune des Forges (56) et Les Forges de Paimpont (35).

De nombreux n'ont pas pu être identifié. Les archéologues n'ont pas trouvé de mobiliers archéologiques, permettant la datation des vestiges sidérurgiques.

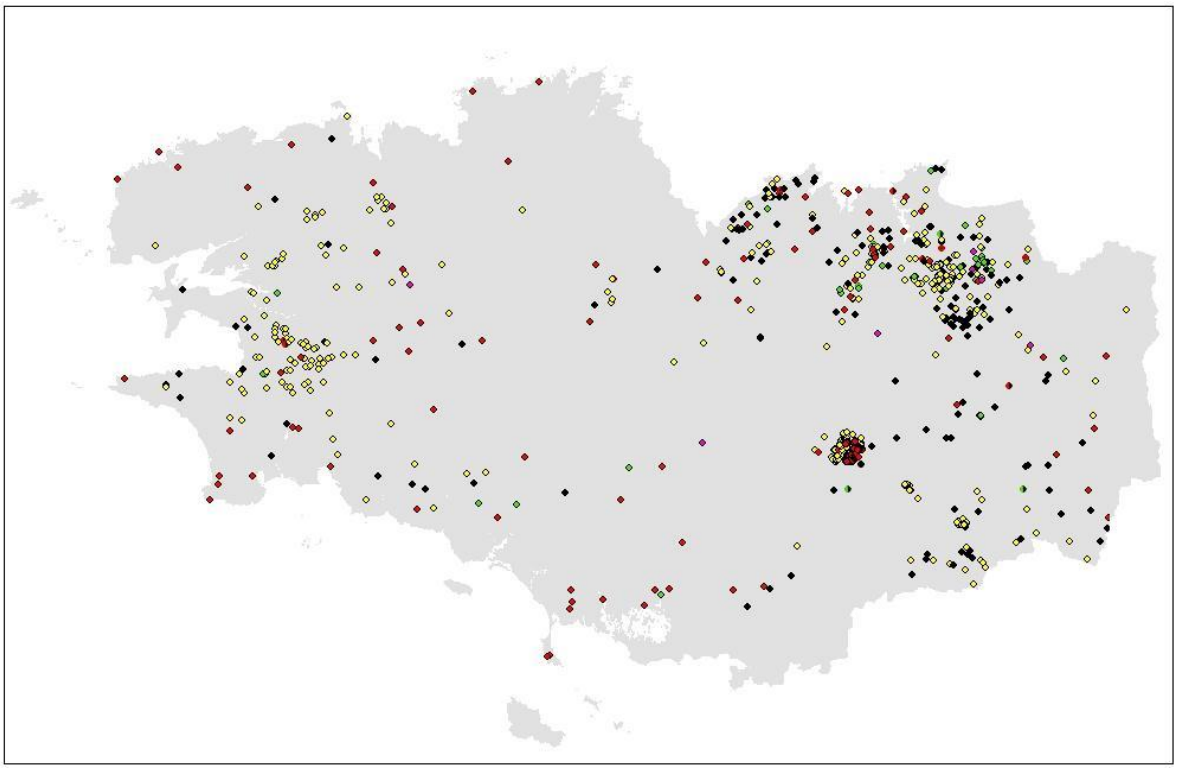

Figure 22 : Carte de répartition des sites, de l'Age du Fer à la période moderne, selon leur datation
(Point rouge : Age du Fer ; Point noir : Gallo-romain ; Point vert : Médiéval ;
Point rose : Période moderne ; Point jaune : Datation indéterminée)

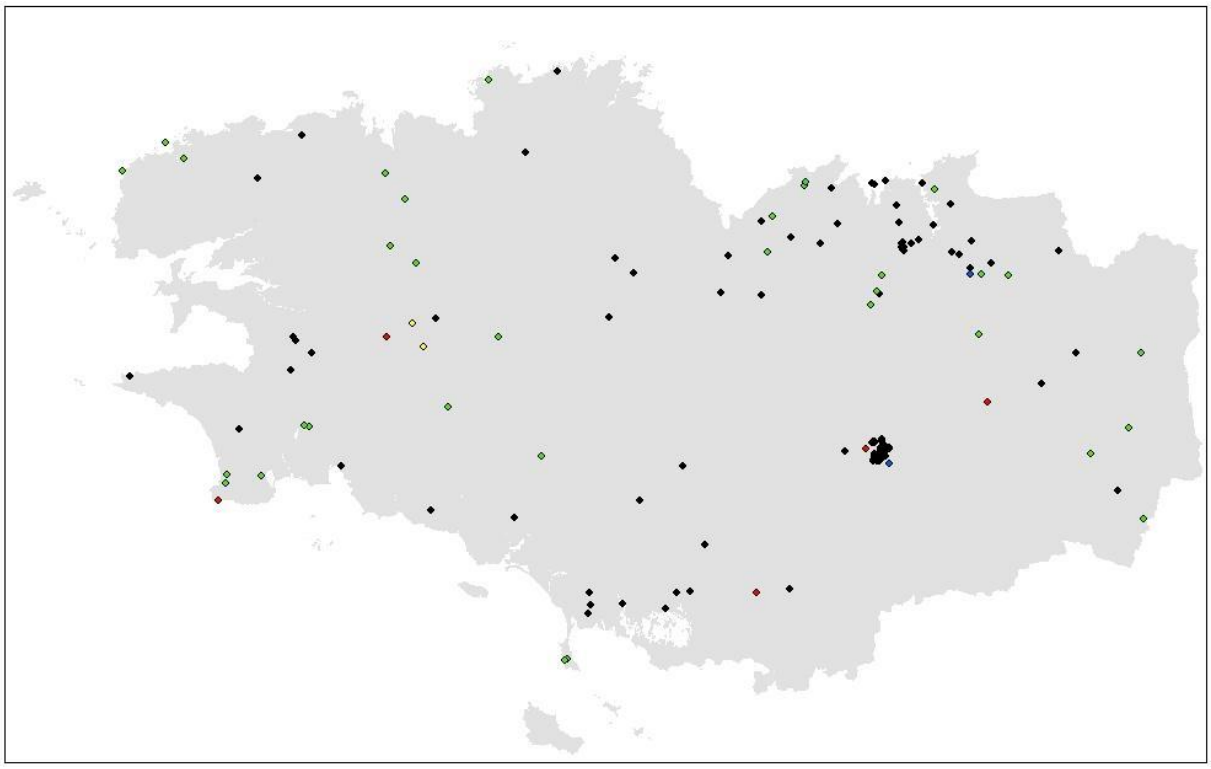

Figure 23 : Carte de répartition des sites de l'Age du Fer selon leur datation
(Point rouge : Hallstatt ; Point vert : La Tène ; Point noir : Age du Fer ; Point jaune : transition Hallstatt et La Tène ;
Point bleu : Transition Age du Fer et période Gallo-Romaine)

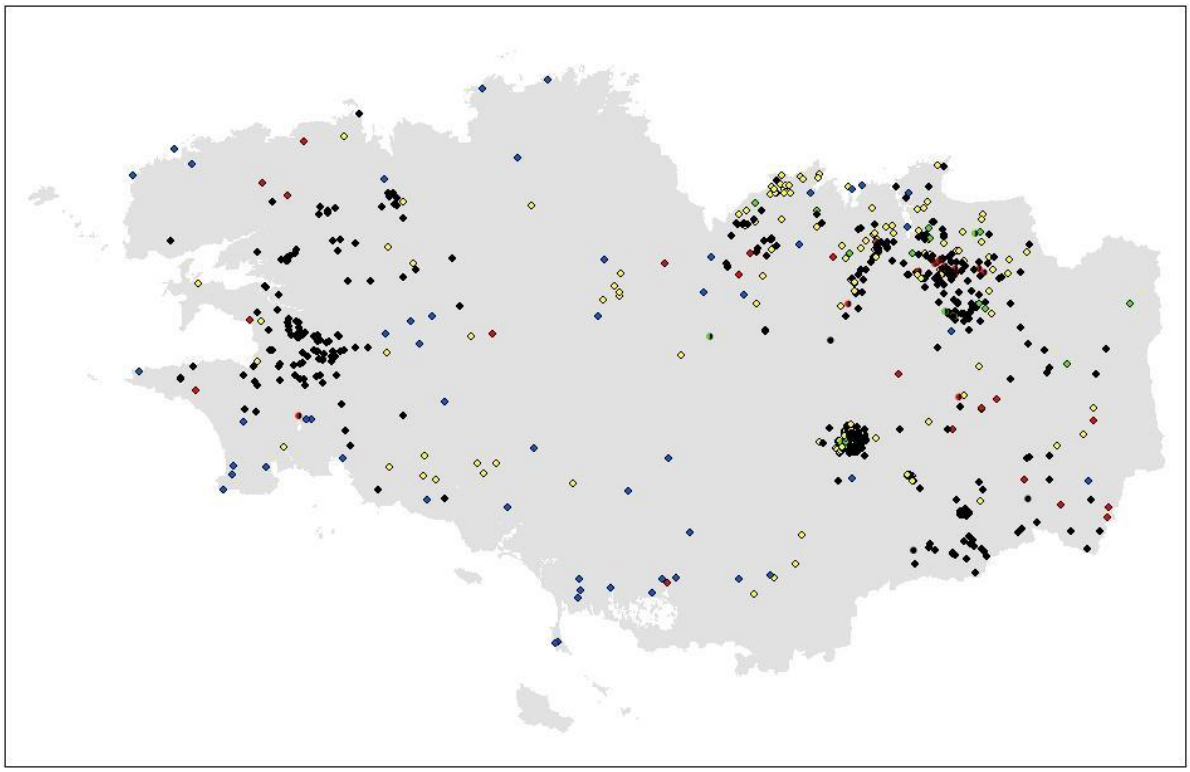

Figure 24 : Carte de répartition des sites, de l'Age du Fer à la période Moderne, selon la nature du site
(Point vert : mine ; point noir : réduction ; point rouge : forge et activité de post-réduction,
Point bleu : objets en fer de l'Age du Fer ; point jaune : indéterminé)

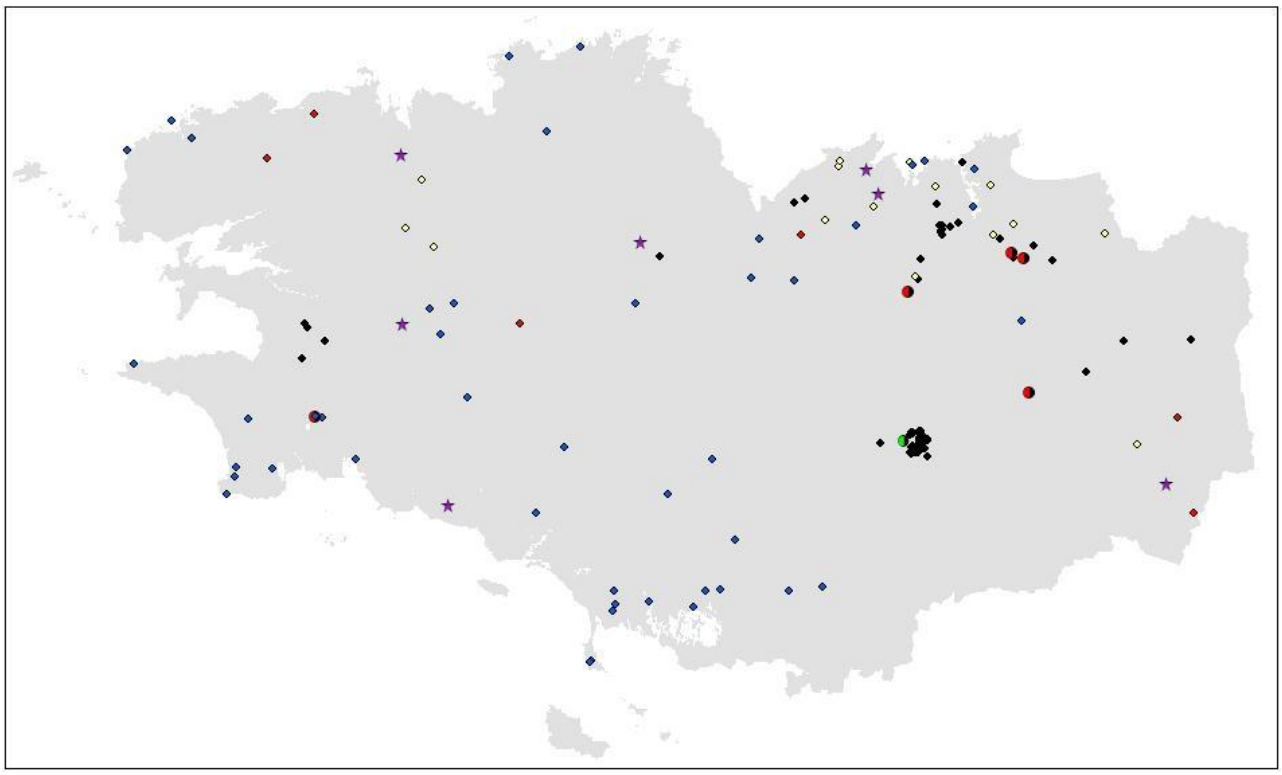

Figure 25 : Carte de Répartition des sites de l'Age du Fer, selon la nature du site
(Point vert : mine ; point noir : réduction ; point rouge : forge et activités de post-réduction ;
Point bleu : objets en fer ; étoile mauve : demi-produit ou « lingot» ; point jaune : indéterminé)

Toutes les étapes de la chaîne opératoire, de la mine d'extraction du minerai aux activités de forge, sont représentées en Bretagne (Figure 24 et 25).

3.2. La relation entre les forges et les habitats

Les activités de forge sont couramment appelées opérations de post-réduction. L'atelier de forge est le lieu de travail du fer. C'est le lieu où l'on transforme le métal brut issu de la réduction en objets manufacturés par de nombreux traitements à chaud ou à froid. L'activité de forge comprend également des travaux d'entretien, de réparation et de récupération.

Les sites de travail de post-réduction au sens large ont été identifiés sur une trentaine de sites sur la Bretagne : 18 ateliers de réductions-épurations, 4 ateliers de réduction-forge et 26 forges, pour les toutes les périodes confondues.

La plupart des forges, ainsi que quelques sites d'épuration, ont fait l'objet de fouilles, qui ont permis de dater l'occupation. On compte 8 forges et 3 sites d'épuration gaulois, 18 forges et 6 ateliers d'épuration gallo-romains, 4 forges médiévales, 1 site d'épuration moderne et plusieurs ateliers d'épurations n'ont pas pu être daté.

La majorité des sites est localisée dans la partie orientale de la Bretagne, d'autres sont situées dans le département du Finistère, le Morbihan et les Côtes d'Armor. Les forges gauloises sont localisées en Haute-Bretagne et dans le Finistère (Figure 25).

Pour la période gauloise, le corpus de sites de post-réduction comporte 6 forges, 2 forges associées à des activités de réduction et 3 sites d'épuration associés à de la réduction. Les forges et les sites de post-réduction sont relativement peu nombreux. Les vestiges de ces activités sont peu visibles lors de prospection, c'est pourquoi leur nombre de découvertes est aussi restreint.

On peut supposer que certains sites, classés dans la catégorie « indéterminé », peuvent correspondre à des activités de forge ou plus largement de post-réduction. C'est, notamment, le cas pour la scorie découverte durant la fouille de l'habitat de Plouer-sur-Rance (22). Ce vestige peut être le résultat d'un travail de forge anecdotique. De même, les archéologues mentionnent la découverte de scories découvertes dans un chablis sur l'oppidum du Camp d'Artus à Huelgoat (29). Après plusieurs passages sur le site, l'absence de vestiges constatés me laisse supposer qu'il peut s'agir de déchets de forge. Les scories de réduction auraient sans doute été plus visibles en prospection.

3.2.1. Localisation des forges par rapport aux habitats

Seuls onze ateliers de post-réductions sont connus en Bretagne, dont neuf forges. Mais, des scories de taille modeste sont mises au jour sur la plupart des habitats et les enclos de l'âge du fer, étudiés dans le cadre de fouilles préventives. Ce nombre de site restreint donne à cette étude une portée limitée. De plus, certains sites n'ont pas fait l'objet d'étude suffisamment précise.

Les ateliers de forge se situent généralement en contexte d'habitat. En Bretagne, huit sites de forges sont situés à proximité d'habitat. Certains sont même installés sur le site. Le neuvième site, Lanneunoc en Plonevez-Lochrist (29), ne peut pas être rapproché à un site d'habitat, du fait qu'il n'a livré qu'une pince de forgeron, lors d'une fouille clandestine au début des années 1950. Aucune mention de scorie ou d'habitat n'a été faite. Il serait raisonnable de penser que le nombre de forges de l'Age du Fer était bien plus élevé. En effet, les forgerons devaient être répartis sur l'ensemble du territoire breton, pour exercer leur activité auprès du plus grand nombre.

Peu de sites de type proto-urbains ont été fouillés en Bretagne. Deux sites peuvent néanmoins correspondent à des forges dites « urbaines ». Quelques scories ont été repérées dans la partie occidentale de l'oppidum du Camp d'Artus à Huelgoat (29). Tandis que le camp gaulois du site de Castel-Penledan à Ploudaniel (29) a livré les vestiges d'un bâtiment de forge et des scories, non loin du rempart (MAGUER 1995 ; MAGUER 1996).

Huit sites sont situés à proximité d'habitats ruraux. Plusieurs ateliers de forge sont localisés dans des enclos. Gilles Leroux (LEROUX 1994) a signalé la découverte de vestiges pouvant être une forge dans l'angle de l'enclos de la Baculais à Saint-Aubin-des-Landes (35). Malheureusement, il semblerait qu'aucun rapport de sondage n'ait été effectué pour nous informer davantage. Le site des Tourelles de Lamballe (22) a également livré une forge dans un enclos (Stéphane Blanchet, information orale). Il semblerait que l'activité sidérurgique a été l'activité principale des habitants. Deux autres enclos ont été découverts à quelques kilomètres de celui-ci. Ils ont livré quelques scories, signe d'une activité occasionnelle. On peut supposer que le forgeron s'occupait de la réparation et de l'entretien de l'outillage ferreux dans les habitats de la région.

Plusieurs sites d'habitats fouillés ont livré des indices de forge. Le premier site découvert est situé au Braden I à Quimper (29). Il a révélé une petite forge et une pince de forgeron (LE BIHAN 1974). Cette forge a fonctionné pendant une très courte période, peut-être pendant la restructuration de l'habitat (MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007). La ferme indigène de la Boisanne à Plouer-sur-Rance (22) et l'établissement rural de Keralio à Pont-L'Abbé (29) ont révélé quelques scories. Les publications (MENEZ 1996 ; HINGUANT & LE GOFF 1998) ne nous renseignent pas davantage. Le petit nombre de scories découvert et l'absence de bâtiment de forge peut indiquer qu'il s'agit d'une activité occasionnelle au sein de l'habitat ou l'intervention d'un forgeron itinérant. L'habitat aristocratique du Camp de Saint-Symphorien à Paule (22) a livré une forge d'environ 60 m² dans

l'angle nord-ouest du rempart du site de la Tène moyenne et finale (MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007). Cette forge a déjà une production plus importante que dans les autres sites.

3.2.2. Ampleur de la production des forges

L'ampleur du travail de forge est évaluée en fonction de la quantité des déchets trouvés sur le site. C'est un indice majeur, qui peut nous renseigner sur la quantité de fer travaillé sur le site. A partir de ces données, il peut voir s'il s'agit de grosses forges, liées à des activités commerciales avec exportation hors du site des objets fabriqués, ou s'il s'agit de petites forges, utiles pour la fabrication d'objets pour les besoins locaux uniquement.

La quantification des déchets nécessite la mise en place d'un protocole de fouille spécifique. Ces règles de fouilles sont fastidieuses, mais permettre de limiter la perte d'information. Il est très rarement mis en œuvre sur le site de fouille, car les archéologues ne connaissent pas les problématiques liés à ces vestiges et les méthodes de fouille à adopter. Seul le site du Camp Saint-Symphorien de Paule (22) a mis en place un protocole destiné à la quantification et à l'étude des déchets. Le site du Camp Saint-Symphorien de Paule (22) a été fouillé de manière assez méthodique et précise. La méthode de fouille a été décidée avant le début du chantier pour être adapté à certaines problématiques. Les autres sites de forge n'ont pas fait l'objet de fouilles suffisamment précises, pour permettre de quantifier des scories et donc d'évaluer la production. Nous ne pouvons donc pas faire de comparaisons entre les productions des différentes forges.

Le site de Paule a mis en place un protocole particulier. Un sceau de terre était prélevé dans chacun des mètres carrés du terrain fouillé. Ensuite, le contenu subi différents traitements afin de séparer la terre et les vestiges archéologiques : tamisage dans une colonne de tamis avec de l'eau (récupération des éléments les plus grossiers), passage dans une batée d'orpailleur dotée d'aimants (récupération des battitures), tri à l'aide d'un aimant des refus du tamis (MENEZ 2001, MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007). Enfin, la quantité de déchets par sceau est pesée et comparée au poids du sceau avant le tri. L'installation du carroyage et le prélèvement d'un sceau de terre par mètre carré permettent de constater les fortes concentrations de déchets de l'atelier. Cette observation permet de retrouver l'emplacement de l'enclume et de délimiter les différents espaces de travail au sein de la forge

L'atelier a subi plusieurs phases d'occupations. Il a été édifié au cours du 2^{e} siècle. Le bâtiment a été remanié à plusieurs reprises et il est détruit au 1er siècle avant JC. La forge a donc fonctionné pendant environ 200 ans. La forge a donc produit 58,5 kg de scories en 200 ans, soit 290 grammes par an environ. La question est de savoir si cela représente une petite ou une grosse production. Face à ces vestiges, l'auteur (MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007) suppose que la forge devait

produire des objets de petites dimensions et effectuer un travail d'entretien et de réparation des objets.

3.2.3. Diffusion de la production des forges armoricaines

Il est intéressant de connaître la diffusion du travail de forge dans les habitats au cours de l'Age du Fer. En effet, on peut se poser différentes questions : La production des forges armoricaines est-elle suffisante pour les besoins de la population ? Ou devait-elle importer des objets en fer d'ateliers extérieurs ? La distinction entre le Bronze final et le début de l'Age du fer est caractérisée par une intensification des échanges avec le monde méditerranéen. On connaît une grande variété d'objets en fer gaulois, mais il est difficile de certifier que tous ont été fabriqués dans les forges armoricaines. C'est pourquoi, il paraît pertinent d'évaluer l'importance des objets importés dans le territoire breton au cours du Hallstatt et de la Tène, par rapport aux objets qui ont pu être fabriqué dans les forges.

- LE PREMIER AGE DU FER

Il semblerait que les objets en fer étaient rares et précieux au cours du Hallstatt. Est-ce que les rares objets découverts en Bretagne et datés du Premier Age du Fer ont pu être fabriqués dans les forges armoricaines.

La découverte d'objets datés du Hallstatt est rare. Plusieurs sites ont livré des objets en fer : La nécropole de Boquidet à Sérent (56), le tumulus du Rocher du Bono (56), le site de kernavest en Quiberon (56) et le site de Tronoën à Saint-Jean-Trolimon (29). Ce sont des anneaux, des fibules, une épingle et une situle en bronze cerclé de fer. Tous ces objets proviennent de sites situés sur la côte sud de la Bretagne. Parmi ces objets, certains proviennent d'importation.

Le poignard de Kernavest a été découvert dans un tumulus à inhumation de Quiberon (56) daté de la fin du Premier Age du Fer. L'arme en fer était protégée par un fourreau couvert de feuilles de bronze décorées de bandes d'impressions de motifs très divers. C'est un des exemples d'objets les plus achevés.

Les quelques objets importés de territoires lointains relèvent sans doute d'une économie de biens de prestiges (GIOT, BRIARD & PAPE 1995 ; DANZE 2001). Ce sont des cadeaux de prestiges qui peuvent s'échanger de proche en proche et ainsi voyager fort loin. Leur découverte peut témoigner de la puissance et de la richesse de leurs propriétaires. Néanmoins, ces importations représentent bien peu de kilogrammes de matières.

- LE SECOND AGE DU FER

Les objets en fer semblent être plus fréquents au cours du Deuxième Age du Fer (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Les découvertes se font plus nombreuses. On peut également citer l'exemple des milliers de clous que peuvent contenir les remparts de type « murus gallicus » comme celui du Camp d'Artus, à Huelgoat. Néanmoins, le fer garde une certaine valeur aux yeux des Gaulois, malgré sa généralisation. Des objets ont été découverts enfouis dans le sol, des bandages de roues et de la coutellerie dans le sol d'un habitat de La Tène finale sur le site des Ebihens à Saint-Jacut-de-la-Mer (22) (LANGOUET 1990).

Les fragments d'un casque importé ont été découverts sur le site de Tronoën, à Saint-Jean-Trolimon (29) (Figure 26). Il est daté du 4^{e} siècle avant JC. Ce casque est en fer, recouvert d'une feuille en bronze ornée au repoussé de zones concentriques de motifs décoratifs, autour d'un bouton terminal en fer. L'objet était associé à un protège-joue en fer, également recouverte d'une feuille de bronze très décoré. Les travaux ont permis de reconnaître l'influence italo-celtique. Il proviendrait d'un atelier celtique du Nord de l'Italie. (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). La fabrication du fourreau montre les prouesses techniques et le savoir-faire du bronzier.

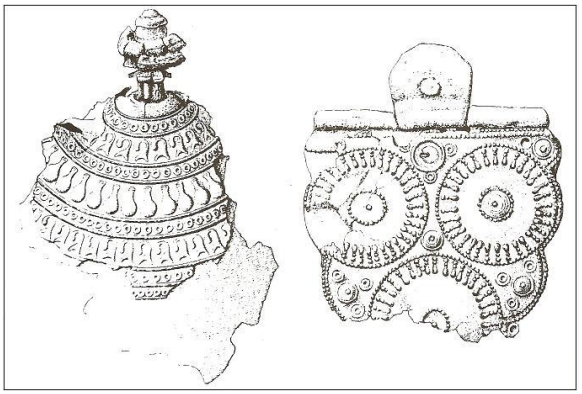

Figure 26 : Fragments du casque et d'un protège-joue, découvert à Saint-Jean-Trolimon (29)
(Dessin de : DUVAL 1990)

Certains objets proviennent de régions lointaines et relèvent d'une économie de biens de prestige. Ce sont des cadeaux que les élites se font entre eux (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Ce sont des objets de prestige, de grande qualité, qui démontre la technicité de leurs forgerons. Néanmoins, ces objets « exotiques » ne représentent quelques objets. Pour l'essentiel, le travail du fer a pu être régional. Les objets en fer courants devaient être fabriqués en Bretagne. Les importations devaient principalement concerner des objets de grande qualité que les forgerons locaux ne pouvaient pas fabriquer. Les importations du Second Age du Fer sont relativement moins nombreuses qu'au Premier Age du Fer. Par contre, elles deviennent plus nombreuses quelques décennies avant le début de la Conquête (LANGOUET 1990).

3.3. Relation des ateliers de réduction avec les habitats

La réduction du minerai est la phase de la chaîne opératoire au cours de laquelle on transforme le minerai en métal. La mise en relation entre les sites de réduction et les autres lieux de la chaîne opératoire est essentielle pour comprendre l'organisation du marché du fer. Il est probable que la localisation des ateliers de réduction soit conditionnée par la présence à proximité de ressources en combustibles, en minerai, en matériau de construction et en eau.

Les sites de réduction sont très nombreux. Ces sites sont localisés dans le département du Finistère, dans la région de Paimpont, dans le nord de la Haute-Bretagne et quelques sites dans le sud de l'Ille-et-Vilaine.

Ces sites prennent plusieurs aspects : ferrier, zones rouges à scories, gisement de scories et de parois de four. On peut également penser qu'un certain nombre de sites, que nous avons classé dans la catégorie « indéterminée », pourraient correspondre à de la réduction.

Les sites de réduction, attribués à l'Age du Fer, sont assez peu nombreux. Beaucoup ont été localisés dans la région de Paimpont sous la forme de zones rouges à scories. Quelques sites ont également été répertoriés dans le Finistère et dans le Nord de la Haute-Bretagne. Certains sites combinant plusieurs activités datent de l'Age du Fer. Sur certains sites, l'atelier de réduction est combinée avec la mine, le grillage du minerai, les opérations d'épuration de la masse de fer brute ou encore la forge.

236 sites gaulois ont été enregistrés. Ce nombre est relativement faible. La plupart des sites sont reconnus par la prospection. La céramique est le mobilier datant le plus couramment utilisé. L'absence de tessons protohistorique n'est alors pas significative. La céramique gauloise est fragile et résiste mal aux sols acides de la Bretagne. Par contre, les occupations gallo-romaines laissent des vestiges plus importants, qui peuvent couvrir une éventuelle occupation gauloise du site. C'est pourquoi, il est intéressant de prendre en compte les sites à la datation indéterminée et les sites gallo-romains pour notre étude des sites de l'Age du Fer. En outre, ce choix nous permet d'avoir un corpus plus fourni.

3.3.1. Localisation des ateliers de réductions par rapport aux minerais de fer

Le minerai est, avec le charbon de bois, l'élément indispensable à l'obtention du fer. Ces deux éléments peuvent être transportés et l'implantation d'un site de réduction ne se fait donc pas obligatoirement à, proximité du minerai. Il est par conséquent intéressant de voir si la répartition des sites liés à la réduction directe de la Bretagne est attachée à celle des gîtes métallifères.

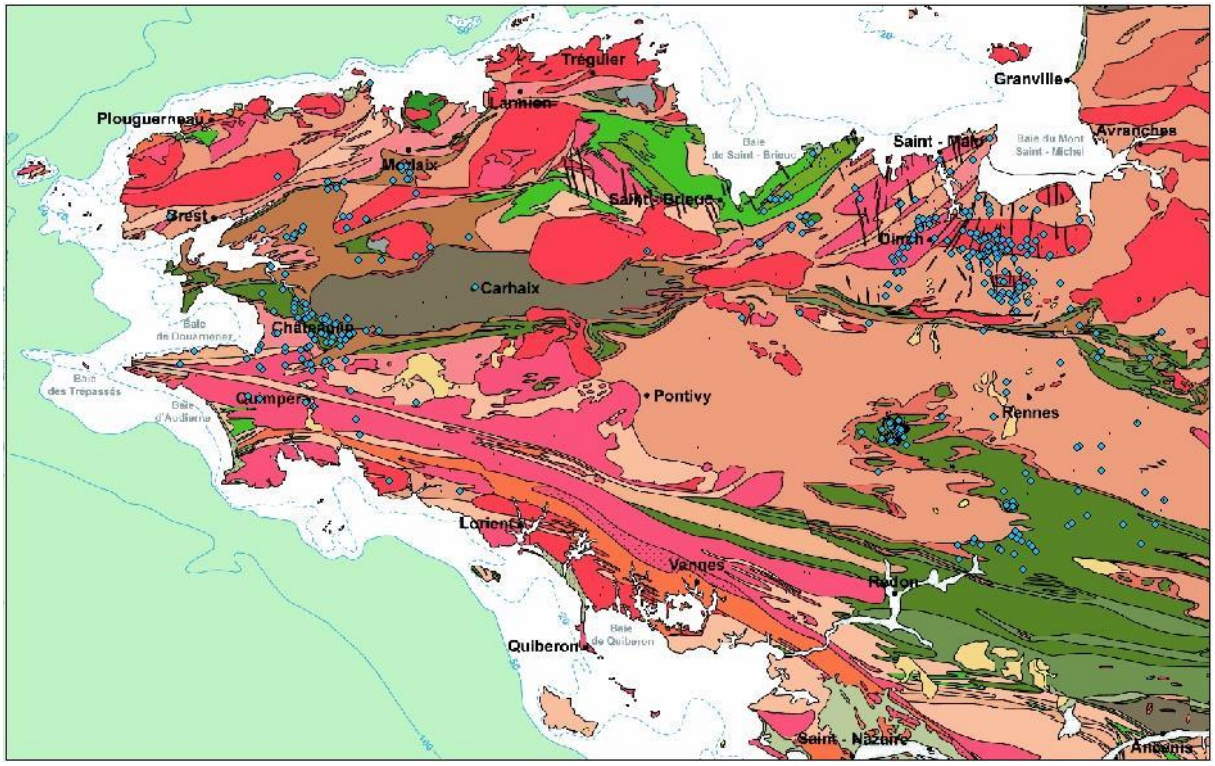

Figure 27 : Carte de répartition des sites de réduction potentiellement gaulois, appliquée sur la carte géologique (Point bleu : site de réduction).

La majorité des sites est située au niveau des gisements de fer sédimentaire, notamment dans l'est de la Bretagne, dans la région de Paimpont et dans le sud de l'Ille-et-Vilaine et dans l'ouest, dans le bassin de Châteaulin (figure 27). D'autres sites sont situés dans le nord de la Bretagne. Aucun gisement de fer n'est mentionné pour cette zone dans la carte géologique, car leur exploitation n'est pas jugée rentable. Pourtant, le fer est présent sous la forme de fer issu de l'altération des filons de roches ferrugineuses, comme la dolérite (VIVET 1997). Enfin, d'autres sites sont situés sur des zones granitiques, où l'on ne trouve pas de gisements de fer.

Le minerai de fer est donc un facteur déterminant dans l'installation des sites de réduction dans la région. Néanmoins, ce sont les sites qui ne se situent pas au voisinage du minerai qui posent le plus de question. On peut imaginer plusieurs hypothèses, la première étant que le minerai pouvait être transporté du site d'extraction au site de réduction à quelques kilomètres plus loin ; la deuxième étant que ces ateliers ont pu exploiter des gîtes de roches ferrugineuses, qui ne sont mentionnées sur la carte, ou des gisements aujourd'hui disparus. Enfin, même si les sites de réduction se trouvent en majorité proche d'un gisement de fer, ils ne couvrent pas la totalité des zones possédant du minerai. Peut-être qu'ils n'étaient pas accessibles aux Gaulois pour des raisons techniques.

Des sites d'extraction et des mines ont également été découverts par les archéologues. A ce jour, une vingtaine de sites a été répertoriée. Ces sites sont principalement localisés dans la région de

Paimpont, dans le Nord de la Haute-Bretagne et dans l'Est de l'Ille-et-Vilaine. Seuls trois sites ont pu être daté : le site du Bois-Jacob à Paimpont (35) daté du Premier Age du Fer, le site de la Cassière à Langast (22) daté de la période gallo-romaine et le site de Camblan à Plouyé (29) daté de la période moderne. Les autres sites n'ont pas pu être datés.

Certaines de ces mines présentent des vestiges liés à la réduction du minerai de fer : le site de Bois-Jacob en Paimpont (35), le site de Bouillante à Dol-de-Bretagne (35) et le site de la Cassière à Langast (22).

3.3.2. Localisation des ateliers de réductions par rapport aux forges

La localisation des forges n'est pas déterminée par la présence de matière première, comme les ateliers de réductions, mais par la proximité d'une « clientèle » et, donc de débouchés pour la production. Néanmoins, il important de connaître la relation entre les ateliers de forge et les ateliers de réduction, car il est logique que les forges se fournissent en fer dans les ateliers de réduction les plus proches. La reconnaissance des lieux d'approvisionnement en fer des forges permettrait de comprendre l'organisation partielle du marché du fer.

Certains sites associent des activités de réduction avec des activités de post-réduction, comme la forge (Figure 28). On peut citer les exemples du site du Braden I à Quimper (29) et le site des Touches à Pacé (35). Dans ce type de site, il paraît logique que le fer, produit dans les bas-fourneau du site, ait servi de matière première pour la forge.

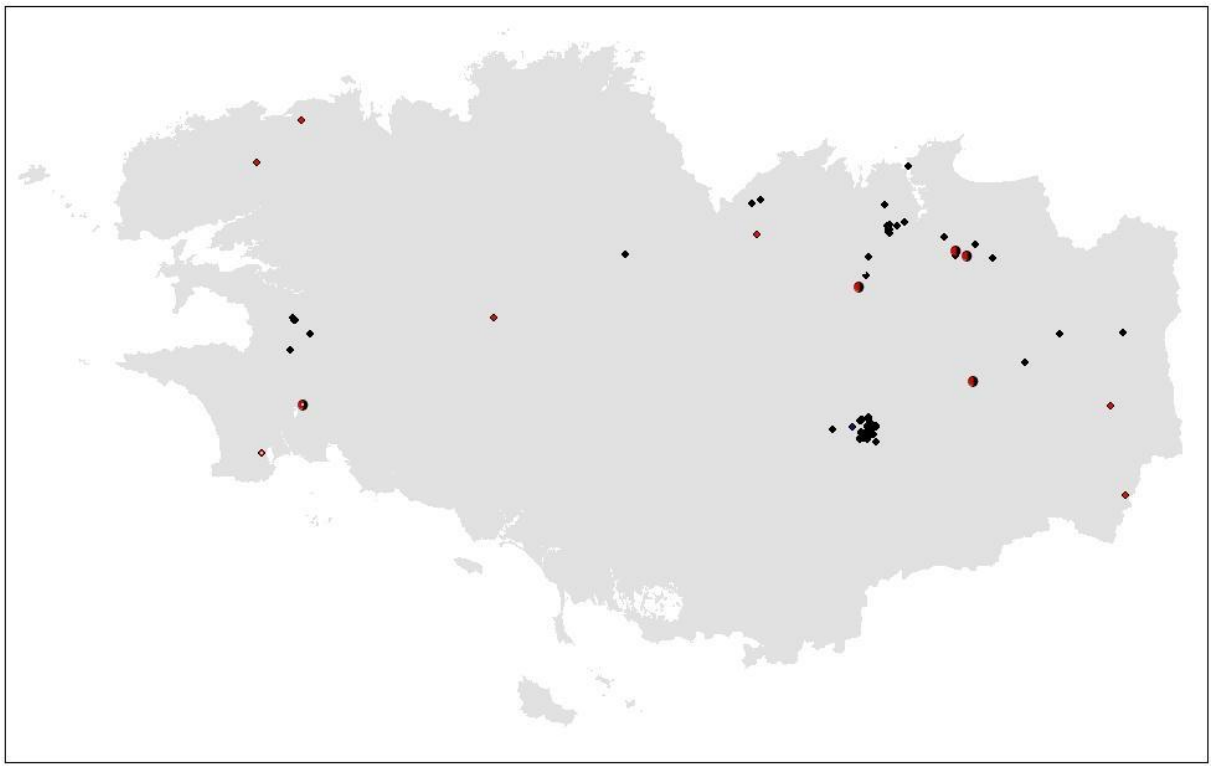

Figure 28 : Carte de répartition des ateliers de réductions et des forges gauloises.
(Point noir : atelier de réduction ; point rouge : forge ; point noir et rouge : atelier de réduction et de forge

Certaines zones, intensément prospectées depuis de nombreuses années, ont livré de très nombreux ateliers de réduction, mais de rares forges, voire aucune. On peut mentionner l'exemple de la région de Paimpont, qui a livré plus d'une centaine d'ateliers de réduction, amis aucune forge (Figure 28). Pourtant, les ouvriers et la population locale devaient avoir besoin des services de forgerons. Il est donc raisonnable de penser que cette absence de forge soit le résultat l'invisibilité de ces sites en prospection.

Certaines forges sont situées dans des régions vides d'ateliers de réduction (Figure 28). Plusieurs facteurs sont à prendre en considération : le manque de fouille de certaines zones, les difficultés de datation des sites de réduction (cette carte ne prend en compte que les sites datés de l'époque gauloise, pas les sites indéterminés ni les sites gallo-romains) ou peut-être l'absence d'ateliers de réduction du fait de l'absence de gisement de fer.

3.3.3. Localisation des ateliers de réductions par rapport aux habitats

La mise en relation entre les sites de réduction et les habitats est essentielle. Les forges sont principalement installées dans les lieux d'habitat, près des « clients ». Donc, à défaut d'avoir les forges, la carte de répartition des habitats peut nous aider à comprendre l'organisation du marché du fer. Ces deux cartes vont nous apporter un éclairage complémentaire sur la relation entre les ateliers de réduction et les forges.

Dans la partie précédente (3.3.2.), on s'étonnait de l'absence de d'atelier de forge, malgré les nombreuses années de prospections dans le secteur de Paimpont. Ces cartes montrent que des habitats ont été découverts dans le secteur, et qui pourrait être potentiellement des forges. Néanmoins, certaines régions restent sont en sites d'habitats, comme la région du Porzay (29), le sud-est de l'Ille-et-Vilaine. Le nord de la Haute-Bretagne présente quelques sites d'habitats, mais ils sont très peu nombreux. Ce sont des régions, où de nombreux sites de réductions ont été découverts et où les forges et les habitats brillent par leur absence.

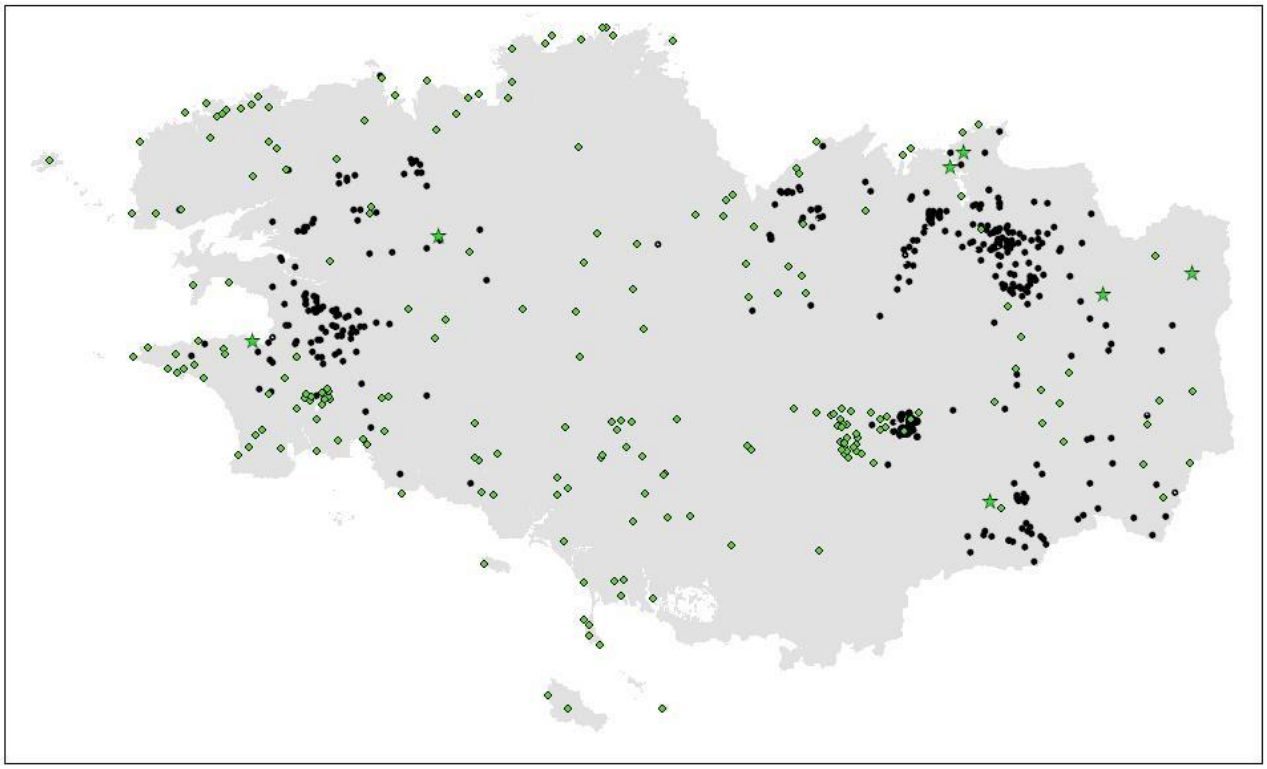

Figure 29: Carte de répartition des habitats gaulois et des ateliers de réductions potentiellement gaulois
(Point noir : Atelier de réduction ; Point vert : habitat, étoile verte : oppidum)

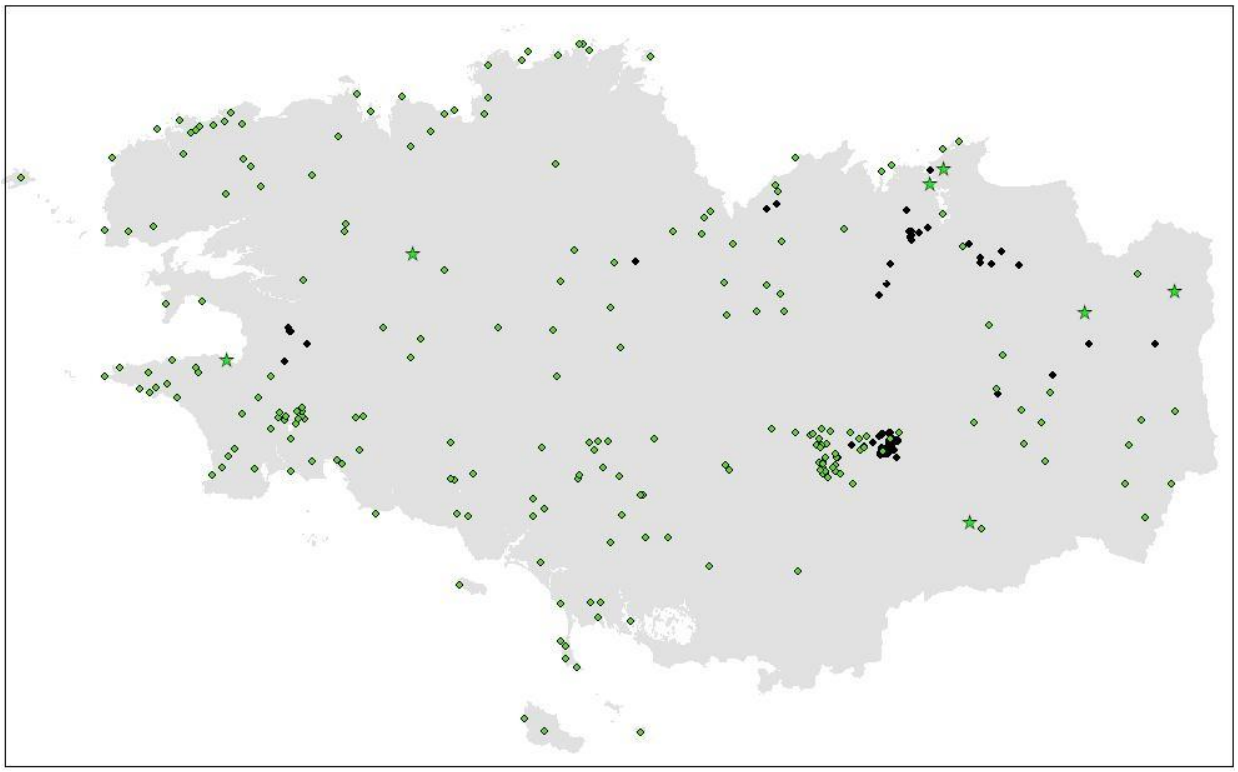

Figure 30 : Carte de répartition des habitats gaulois et des ateliers de réduction gaulois
(Point noir : Atelier de réduction ; Point vert : habitat, étoile verte : oppidum)

3.3.3. Evolution des bas fourneaux au cours de l'Age du fer

La réduction du minerai est la phase de la chaîne opératoire au cours de laquelle on transforme le minerai en métal. L'opération a lieu dans un four nommé « le bas-fourneau ». Au cours de l'Age du Fer, des progrès technologiques ont fait évoluer la morphologie des bas fourneaux. Ainsi, on connaît l'existence d'une dizaine de bas fourneaux de type différents découverts en Europe. Ils diffèrent selon différents critères : les dimensions, les matériaux de construction, le mode d'évacuation de la scorie, le mode d'aération… Il est possible de voir l'évolution technique des bas fourneaux au travers des sites déjà fouillés. Cependant, leur nombre restreint ne permet pas toujours de comprendre l'évolution générale. Ils permettront de voir quels sont les types de bas fourneaux dominants, et peut-être comprendre l'évolution des bas fourneaux durant l'Age du Fer.

Les bas fourneaux du Hallstatt et du début de La Tène sont peu nombreux et bien mal connus. En revanche, les découvertes de la 2e moitié de La Tène sont nettement plus nombreuses.

- LES DIMENSIONS DU BAS FOURNEAU

Généralement, seule la partie inférieure du bas fourneau est conservée. Les parties supérieures se sont effondrée et rendent toute reconstitution difficile.

L'ethnographie montre des bas fourneaux de hauteurs très variés, aussi bien par leur hauteur, le plan de la cuve et leurs dimensions (LEROY & MERLUZZO 2004). En ce qui concerne les bas fourneaux gaulois, on peut supposer qu'il était à hauteur d'homme, pour permettre le chargement de la cuve.

Deux méthodes ont été utilisées pour connaître les dimensions des cuves des bas fourneaux en Bretagne : soit on mesure la cuve du bas fourneau au cours de la fouille, soit on mesure les dimensions des scories piégées de fond de four.

Ces observations indiquent que la cuve des bas fourneaux est circulaire ou subcirculaire. On constate également que le diamètre des fours a évolué au cours de la période gauloise.

Les plus anciens bas fourneaux datent du Premier Age du Fer. Les nombreux exemplaires de scories piégées de fond de four du site du Bois-Jacob, ainsi que ceux des Remardières en Saint-Pierre-du-Plesguen et des Plaintes, ont un diamètre compris entre 26 et 42 cm (VIVET 2007a ; VIVET 2007b).

Les sites de La Tène ancienne, du Bas-Chesnais en Taden (22) et de la Ville-Pierre II en Quévert (22), ont un diamètre bien plus grand, compris entre 71 et 80 cm (VIVET 2000 ; VIVET 2007a). La scorie du site du Bas-Lannouée, de la même période, est à u peu grande. Elle mesure 84 cm.

Le diamètre des bas fourneaux des sites de La Tène moyenne est immense. Les deux bas fourneaux

du Rocher Abraham en Saint-Pierre-le-Plesguen mesure 91 et 97 cm de diamètre (VIVET 1999a ; VIVET 2001), tandis que celui de l'Etang du Perray mesure 125 cm (LARCHER 1991b ; ANDRIEUX et alii 1994 ; VIVET 2007a).

Le site de Kermoisan est daté de la fin de l'Indépendance gauloise et du 1er siècle de notre ère Il a livré un bas fourneau, qui mesure entre 80 et 110 cm de diamètre, soit un diamètre équivalent à ceux de la Tène moyenne (LE BIHAN 1974 ; VIVET 2007a). Il semblerait que le diamètre des fours gallo-romains soit plus réduit (VIVET 2007a).

Au cours de l'Age du Fer, les bas fourneaux ont connu une croissance spectaculaire. On ne connaît pas vraiment les raisons de ce changement. Mais on peut se demander si la demande accrue du fer durant La Tène peut être un facteur dans l'accroissement des cuves des fours ? Ce changement peut être vu comme le signe de progrès technique, dans la mesure où il doit être plus difficile d'atteindre la température souhaitée dans un fourneau aussi grand.

- LES PAROIS DE FOUR

Les parois ont un rôle fondamental dans la tenue mécanique de la structure. Elles sont soit retrouvées en cours de prospection ou en fouilles. Il est courant que les parois se soient effondrées à l'intérieur de la cuve après l'abandon de l'atelier. Leur étude est importante car elles nous apportent des informations importantes, aussi bien sur l'architecture des fourneaux que sur la mise en place des matériaux (LEROY & MERLUZZO 2004).

Les éléments de construction varient selon les ressources locales disponibles, mais les matériaux argileux sont prédominants. Ils sont prélevés directement sur le site, à l'emplacement même où va être construit le bas fourneau. Les différents sites fouillés, ainsi que les parois de fours rencontrées en prospection, ont tous une construction du bas fourneau en moellons d'argile (VIVET 2007a). L'exemple du bas fourneau de l'Etang du Perray est un bel exemple. Il a livré plusieurs rangées de moellons d'argile, étroitement jointifs et sans liants apparents (ANDRIEUX et alii 1994). Le four était construit en moellons d'argile crue. Cette argile a cuit avec la chaleur dégagée par le four pendant la réduction. On constate souvent la graduation de couleur sur les fragments de parois, suivant la chaleur et la cuisson qu'elle a subie.

Les parois ont un rôle fondamental dans la tenue mécanique de la structure. Elles assurent le maintien thermique et l'étanchéité des gaz, nécessaires à la réalisation des réactions chimiques de la réduction au sein du bas fourneau (LEROY & MERLUZZO 2004). Les moellons de la surface externe ne sont pas toujours jointifs. En revanche, ils sont soudés par leurs parois scoriacées à l'intérieur du bas fourneau. Les parois de fours les moins crevassées par la chaleur montrent un lissage interne. Il peut correspondre à un chemisage, c'est-à-dire une couche d'argile enduite, afin d'assurer

l'étanchéité et de protéger les parois (ANDRIEUX et alii 1994).

Les parois sont en contact direct avec le feu. Elles doivent donc être construites avec des matériaux de bonne qualité, résistants à la chaleur (LEROY & MERLUZZO 2004). Le site du Rocher Abraham a livré un gros pain d'argile malaxée, non loin des bas-fourneaux (VIVET 1999a ; VIVET 2001 ; VIVET 2007a). Il est compact et mesure 30 cm de long. L'analyse en diffraction X a montré la présence de nombreux grains de quartz. Ils ont pu être intégrés à l'argile comme dégraissant. Leur présence peut expliquer la résistance des parois aux hautes températures (VIVET 1999a ; VIVET 2001 ; VIVET 2007a).

Les différentes fouilles ont indiqué deux dispositions des moellons au sein des parois. Ils sont disposés à plat, soit tangents au cercle (Rocher Abraham en Saint-Pierre-du-Plesguen, La Ville-Pierre II en Quévert), soit dirigés vers le centre du cercle (Etang du Perray en Plélan) (VIVET 2007a).

Les parois des fours quelques centimètres. La paroi d'un des bas fourneaux du Rocher Abraham mesurait entre 3.5 et 5 cm.

Enfin, l'orientation des parois de four découvertes en prospection nous fournit une idée de la forme des bas fourneaux. Le four a pu être agencé sous forme de bouteille et non pas sous la forme cylindrique ou conique comme on l'imaginait auparavant. La disposition des parois du fourneau de l'étang du Perray en Plélan (35) et la découverte de prismes d'argile à base rectangulaire suggèrent que le tout était monté sous forme de voûte (ANDRIEUX et alii 1994 ; VOVET 2007a).

- L'EVACUATION DE LA SCORIE

Deux modes d'évacuation de la scorie sont connus, qui ont donné naissance à de grandes familles de bas fourneaux. La première est constituée par le bas fourneau à scorie piégée. La scorie vient s'accumuler dans la fosse creusée sous le bas fourneau. La seconde est caractérisée par les bas fourneaux à scorie écoulée. La scorie est écoulée à l'extérieur du four par un orifice situé dans la paroi (LEROY & MERLUZZO 2004).

L'ensemble des bas fourneaux fouillés de la période gauloise, est issu de la première famille, celle des scories piégées. Trois scories écoulées ont été découvertes sur le site du Camp Saint-Symphorien de Paule (22). Mais elles ne constituent pas la preuve que des bas fourneaux à scories écoulées aient fonctionnés au cours du 2^{e} siècle avant notre ère. En effet, ce procédé semble apparaître au cours de la période gallo-romain et coexisté avec la première technique pendant de nombreux siècles (VIVET 2007a)

- LE MODE D'AERATION

La ventilation des bas fourneaux est destinée à envoyer de l'air dans la cuve pour activer la combustion. Cette ventilation peut être naturelle ou artificielle. (LEROY & MERLUZZO 2004).

Plusieurs vestiges peuvent témoigner de l'utilisation de la ventilation naturelle. Ce sont les évents et

les bouchons d'argile.

Certaines parois de four, découvertes dans le cadre de prospections, présentent des évents. Ce sont de simples orifices, traversant la paroi. Ils sont généralement situés en bas de la colonne, dans le but d'aérer la cuve. Un grand nombre de ses édifices a été découvert en Bretagne. Le diamètre interne des évents varie entre 26 et 50 mm. Le site des Remardières en Saint-Pierre-du-Plesgen a livré l'un de plus petit évent connu. Il mesurait 27 mm. (VIVET 2007a). Le diamètre des évents varie d'un site à un autre, voire sur un même site. Il semblerait que les évents, dont le diamètre varie entre 30 et 45 mm, peuvent aussi bien servir en ventilation naturelle qu'en ventilation forcée (VIVET 2007a). Les bas fourneaux peuvent disposés de nombreux évents. Ainsi, 12 orifices de ventilation ont été recensés sur un même fourneau sur le site fourneau de la Ville-Pierre en Quévert (22) (VIVET 2000 ; VIVET 2007a).

Les bouchons d'argile sont des cônes, en terre cuite modelée et cuits par la chaleur du four. Ils servent à contrôler la ventilation par les évents. La plupart des bouchons d'argile ont été découvert en Ille-et-Vilaine, aussi bien dans le Nord de la Haute-Bretagne que dans la région de Paimpont. Il semblerait que ce soit une caractéristique propre aux Riedones et aux Coriosolites (VIVET 2007a).

La question du fonctionnement des bas fourneaux sous ventilation naturelle, forcée ou mixte est encore ouverte. Néanmoins, certains systèmes tendent à nous faire penser à l'utilisation de la ventilation forcée, comme les blocs-tuyères (VIVET 2007a). Les blocs-tuyères sont des conduits cylindriques en terre cuite destinés à être insérés dans la paroi. Deux blocs-tuyères ont été découverts sur le site du Rocher Abraham en Saint-Pierre-du-Plesguen (35). Ils présentent des creusements et des crevasses, situés sur l'orifice de soufflage, qui plaident en faveur d'une ventilation forcée (VIVET 1997 ; VIVET 2007a).

3.4. Les Objets en fer gaulois

La fabrication des objets est le but ultime de cet artisanat (MANGIN 2004). Ces objets sont importants et leur étude ne doit pas être uniquement centrée sur leur apparence extérieure. Ils peuvent nous apporter des données importantes, susceptibles de développer la connaissance du système économique et social (organisation du travail, localisation des filières, circulation des hommes et des produits).

Malheureusement, les objets en fer sont sensibles à la corrosion (LANGOUET 1990). La conservation des objets en fer est mauvaise en Bretagne, et particulièrement le long des côtes. Les objets prennent alors la forme de paquet de rouille informe et de nombreux fragments de fer n'ont pas pu être identifiés.

3.4.1. Les différentes catégories d'objets

Pline Le Naturaliste (1er siècle de notre ère) exprime bien l'évolution essentielle provoquée par l'arrivée du fer : « Ce métal est le meilleure et le pire serviteur de l'humanité puisque c'est avec lui que nous ouvrons la terre, que nous plantons des arbres (…), mais c'est le fer qui est l'instrument de la guerre, du meurtre et du brigandage ». (Pline, *Histoire Naturelle*, XXXIV, 138-139. Traduction H. Le Bonniec). Le fer est une matière essentielle pour les sociétés anciennes (MANGIN 2004b). Il a été utilisé dans la fabrication de nombreux objets : des outils, des armes, de la parure, des clous de charpente…

- LA PARURE

Peu d'objets de parure ont été découverts en Bretagne. P-R. Giot (GIOT, BRIARD & PAPE 1995) pense qu'il s'agit d'un problème lié à la conservation des sites et non un indice de la pauvreté économique des Gaulois armoricains. Néanmoins, cette rareté a des conséquences archéologiques ; les objets, comme les fibules, ont une évolution rapide, qui permettent de dater des sites et d'élaborer des chronologies (KRUTA 2000). Les objets de parure se présentent sous différentes formes : épingles, fibules, torques, anneau, jambières…

Une épingle de fer à col en cygne a été découverte dans une urne cinéraire parmi les restes d'os brûlés, dans la nécropole hallstattienne de Boquidet en Sérent (56) (HALDEMANN & LE GOFF 2007).

Une dizaine de fibules en fer ont été répertoriée en Bretagne. La fibule est une sorte d'épingle de sûreté, utilisée pour fermer un vêtement (KRUTA 2000). C'est l'un des objets de parure les plus fréquents chez les Celtes durant tout l'Age du Fer. La forme des fibules évolue rapidement suivant les modes vestimentaires et son usage. Au Premier Age du Fer, les fibules étaient en bronze comme la fibule du site de Kérity en Penmarch (29) et les deux fibules des sites de Tronoën en Saint-Jean-Trolimon (29). Lors de la transition du premier au second âge du fer, les fibules sont également fabriquées en fer. Un exemplaire a été trouvé dans une des urnes de Kerancoat en Ergué-Armel (29), deux autres dans les urnes de Roz-an-Tromen en Plomeur (29).

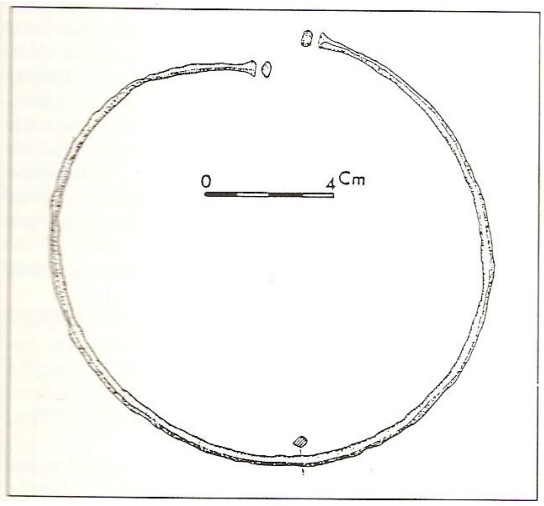

Figure 31 : Torque en fer de la pointe du Perron en Saint-Briac-sur-Mer (22)
(Dessin issu de : GIOT 1980)

A l'image de la statuette du joueur de lyre de Saint-Symphorien en Paule (22), le torque est un ornement caractéristique des Gaulois (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Malgré tout, leur découverte est très rare en Bretagne. Seules deux torques en fer ont été découverts : l'un à la Pointe du Perron à Saint-Briac-sur-Mer (35) (Figure 31) et l'autre à Menez Kerveyen en Plogastel-Saint-Germain (29). Le torque de Saint-Briac-sur-Mer est un collier rigide ouvert filiforme à section polygonale, rectangulaire ou losangique, d'un diamètre maximum de 4 millimètres (GIOT 1980). La dimension de ses extrémités varie de 125 à 130 millimètres. Le torque est porté par les femmes et les hommes. C'est un objet de prestige et un insigne du rang de la personne qui le porte (KRUTA 2000). Les torques en fer sont rares et ils sont généralement datés du Premier Age du Fer, quand le fer était rare et précieux (GIOT 1980). Deux autres torques, en or, ont été découverts, à Brech (56) et à Loqueffret (29).

Diverses sépultures ont fourni des bracelets ou des fragments de bracelets. Ils peuvent se porter au bras ou à la cheville, selon le diamètre du bracelet. Le bracelet se présente sous la forme d'une parure annulaire. Son diamètre intérieur maximal dépasse rarement les 6 cm. Il est porté aussi bien par les femmes que par les hommes (KRUTA 2000). Il est porté au bras ou à la cheville. Les formes de bracelets et les décors sont variés. Une dizaine de bracelets et une vingtaine d'anneaux ont été découverts en Bretagne. Les bracelets et les anneaux peuvent être en fer ou en bronze.

Une boucle de ceinture a également été découverte sur le site des Grandes Routes à Plaudren (56) (MILCENT 1992).

- LES OUTILS

Les Celtes ont développé très tôt un outillage en fer parfaitement adapté aux différentes activités

agricoles et artisanales. La Bretagne n'a livré que peu d'outillage en fer, contrairement au reste de la Gaule. On peut supposer que les outils usagés aient été récupérés et recyclés.

Les outils agricoles

Les Gaulois sont connus pour être des défricheurs et de cultivateurs (GIOT, BRIARD & PAPE 1995). Le fer leur a permis d'accroître la productivité de la ferme en améliorant l'outillage agricole (MANGIN 2004b). Les outils découverts en Bretagne sont majoritairement des outils à douille, permettant d'être emmancher sur une hampe en bois. Quelques exemples d'outils à vocation agricole découverts en Bretagne: Une hache à douille dans le dépôt du Clos-Maugendre à Visseiche (35), une serpe à douille dans la forêt de Guerche à Rannée (35). Les outils les plus découverts sont des couteaux et des petites lames. Leur emmanchement est se fait par la fixation d'un manche en matière périssable sur une soie, tige qui termine le fer de la lame. Des couteaux et des lames ont été découverts : le site de Kerven Teignouse à Inguiniel (56), de Pemharo à Lannilis (29), dans l'habitat des Ebihens à Saint-Jacut-de-la-Mer (22), dans le souterrain de Kervignac à Plussulien (22)…

Les outils artisanaux

Les Gaulois disposaient de nombreux outils dans le cadre de leur activité artisanale. D'ailleurs, certains artisanats sont plus connus par leur outillage que par la production en elle-même, comme le travail du bois (KRUTA 2000). Néanmoins, peu d'outils à vocations artisanales ont été découverts en Bretagne. Une pince de Forgeron a été découverte près de structures métallurgiques sur le site du Braden I à Quimper (29) (Figure 32) (LE BIHAN 1984). Récemment, une nouvelle pince de forgeron a été mise au jour sur le site de Kerven Teignouse à Inguiniel (56) (MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007). Des ciseaux ont également été retrouvés sur le site de la Tène Finale de Kerné à Quiberon (56).

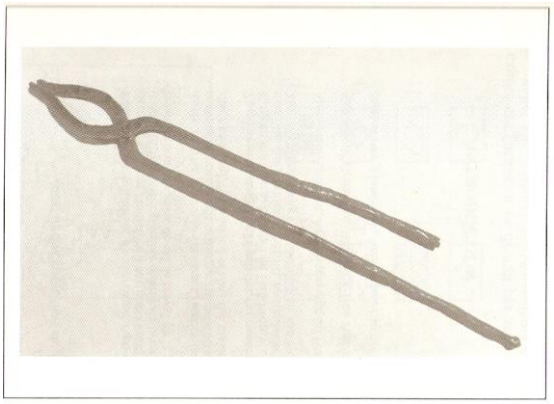

Figure 32 : Pince de forgeron découverte sur le site du Braden I à Quimper
(photo issue de LANGOUET 1990)

- LES ARMES

D’après les auteurs antiques, les Gaulois vivaient que par ou pour la guerre (BRUNAUX & LAMBOT 1987). Les Gaulois étaient un peuple au caractère belliqueux. Nombre d’entre eux se font engager comme mercenaires notamment dans les armées carthaginoises (KRUTA 2000). En Gaule, les armes ont une place particulière dans la société. Elles interviennent dans les rapports de force et participent ainsi à la stratification de la société. Le nombre d’armes découvert en Bretagne n’est pas énorme, mais il est varié.

Deux types d’armes défensives ont été découverts: le boulier et le casque.

Le bouclier est la principale arme défensive des Gaulois. Il s’agit d’une innovation du Second Age du Fer (BRUNAUX & LAMBOT 1987). Le bouclier est une arme composite comprenant différentes pièces : le plat en bois et l’umbo en fer. En Bretagne, aucun bouclier n’a été retrouvé complet, mais les archéologues ont découvert un umbo de bouclier sur le site des Grandes Routes à Plaudren (22) et des fragments d’orles de bouclier sur le site de Tronoën, à Saint-Jean-Trolimon (29) (DUVAL 1990).

Le casque est des objets rares. Leur usage n’est pas véritablement justifié chez les Gaulois. Il a surtout une fonction d’apparat. Deux casques sont connus en Bretagne : le casque de Castel-Meur en Cléden-Cap-Sizun (29), les fragments du casque de Tronoën (voir description en 3.2.3. La diffusion de la production).

Des armes offensives ont été découvertes en Bretagne : des épées, des pointes de lances et un poignard.

L’épée est la pièce maîtresse de l’armement offensif gaulois. Elle évolue tout au long de l’Age du Fer, notamment sa longueur. Elle est constituée d’une longue lame et d’une soie de fer, emmanchée. Plusieurs épées ont été découvertes en Bretagne. Les sites de Castel-Meur en Cléden-Cap-Sizun (29) et de Tronoën en Saint-Jean-Trolimon (29) (DUVAL 1990) ont livré de nombreuses épées, tandis que les sites des Grandes Routes à Plaudren (22) et de la Grée Minguet en Questemberet (56) ont livré qu’une seule épée chacune (MILCENT 1992).

Les lances sont des armes de jet. C’est une arme très fréquente chez les Gaulois (BRUNAUX & LAMBOT 1987). Elle est composée d’une pointe emmanchée sur une hampe de bois. De nombreuses pointes de lances ont été découvertes sur les sites de Tronoën à Saint-Jean-Trolimon (29) sur le site de Castel-Meur à Cléden-Cap-Sizun (29), et une seule sur le site de Kerven Teignouse, à Inguiniel

(56).

Le poignard est une épée très courte, qui s'accompagne d'un fourreau (BRUNAUX & LAMBOT 1987). Un bel exemplaire a été découvert dans un tumulus sur le site de Kernavest à Quiberon (56) (voir description en 3.2.3. Diffusion de la production).

- LES DEMI-PRODUITS OU « LINGOTS »

Les demi-produits sont des masses de fer standardisées, utilisées dans le cadre d'échanges. Leur forme peut varier selon les régions. En Bretagne, ils prennent la forme de lingots bipyramidaux, également appelés doppelspitzbarren. Ce sont des lingots fusiformes, formés d'un corps central bipyramidal, d'une longueur moyenne de 25 à 30 cm, se prolongeant à chaque extrémité par une tige de section carrée ou aplatie, plus ou moins longue. Le poids se situe entre 5 et 6 kg. Ces objets sont connus dans toute l'Europe, et surtout dans le sud de l'Allemagne, l'Autriche, la Suisse et les régions voisines. Quelques exemplaires ont été rencontrés en Normandie, dans le sud de l'Angleterre. Les demi-produits ont fait l'objet de plusieurs découvertes en Bretagne : 38 lingots à Moellan-sur-Mer (29), 11 à Pléboulle (22), près de 50 à Saint-Connan (22), 1 à Saint-Martin-des-Champ et 18 à Saint-Pôtan (22). L'ensemble des lingots est généralement enfoui au Second Age du Fer. Les lingots de Saint-Connan représentent une réserve de près de 300 kg de fer (Figure 33). Cela prouve que la Bretagne a pu s'affranchir très tôt des importations de fer. (GIOT 1964).

Figure 33 : Lingots bipyramidaux de Saint-Connan (22)
(photo de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)

Localisation des dépôts par rapport aux ateliers de réduction

Les ateliers de réduction produisent des masses de fer brutes. Elles sont ensuite épurées et conditionnées sous forme de demi-produits standardisés, les lingots.

Tout d'abord, on constate qu'aucun dépôt n'a été découvert sur un site de réduction. Néanmoins, on peut constater que la majorité des dépôts de lingots sont situés dans des régions où l'on trouve de nombreux ateliers de réductions (Figure 34). Les dépôts de Pléboulle et de Saint-Pôtan sont situés

dans le nord de la Haute-Bretagne, zone prospectée depuis plus de vingt ans. Les données des prospections permettent de situer deux ateliers de réduction sur la même commune que le dépôt de Saint-Pôtan (22) : Le site de la Noë et le site de La Ville des Chets à Saint-Pôtan. Ces sites ont été datés de la période gallo-romaine. Mais ils peuvent avoir eu une occupation pré-romaine et fournissent le fer présent dans ces lingots.

La présence des lingots semble liée à la localisation des ateliers de réduction du minerai de fer. Ce sont des objets précieux, dotés d'une valeur marchande. On peut imaginer que les ouvriers de l'atelier enfouissent leur production dans le sol, à l'abri des vols, en attendant qu'un forgeron se porte acquéreur. Dans cette hypothèse, les dépôts doivent être situés non loin des ateliers de réduction ou d'épuration. Le dépôt de Saint-Connan (22) est un exemple intéressant. Aucune activité sidérurgique n'est mentionnée dans les environs. Ce résultat peut être la conséquence du manque de prospections dans le secteur. Néanmoins, les archéologues, dans les années 1960, ont pu constater que la présence d'un habitat et l'absence de minerai de fer dans l'environnement du site (GIOT 1964). On peut également supposer que le site ne présentait pas de vestiges signalant une activité de réduction (l'auteur l'aurait sans doute signalé dans la publication !). Mais qu'en est-il des vestiges d'épuration plus discrète sur les sites archéologiques ?

Localisation par rapport aux forges

Les demi-produits sont la matière première utilisée dans les ateliers de forge (MANGIN 2004). On aurait pu imaginer que le forgeron dépose sa réserve de fer dans le sol en attendant leur utilisation, à la manière des dépôts de fondeur de l'Age du Bronze. Mais on constate que les forges gauloises sont toutes situées à distance de ces dépôts (figure 35). Cette hypothèse ne peut pas totalement être écartée, du fait que les forges connues représentent qu'un échantillon très réduit de l'activité sidérurgique gauloise. De plus, on peut également supposer que ces dépôts, dont certains contiennent plus d'une centaine de kilogrammes de fer, doivent alimenter de grosses forges.

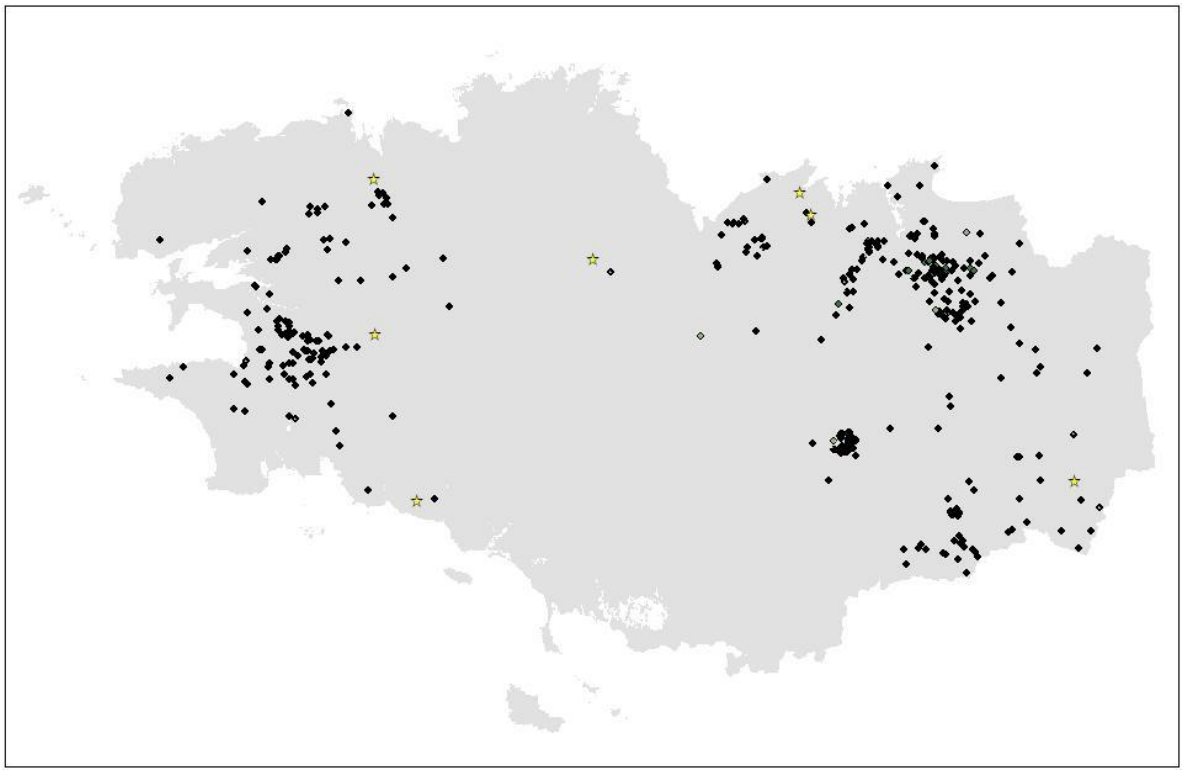

Figure 34 : Carte de répartition des sites de réduction gaulois et gallo-romain et des demi-produits
(Point noir : atelier de réduction ; étoile jaune : dépôt de lingots)

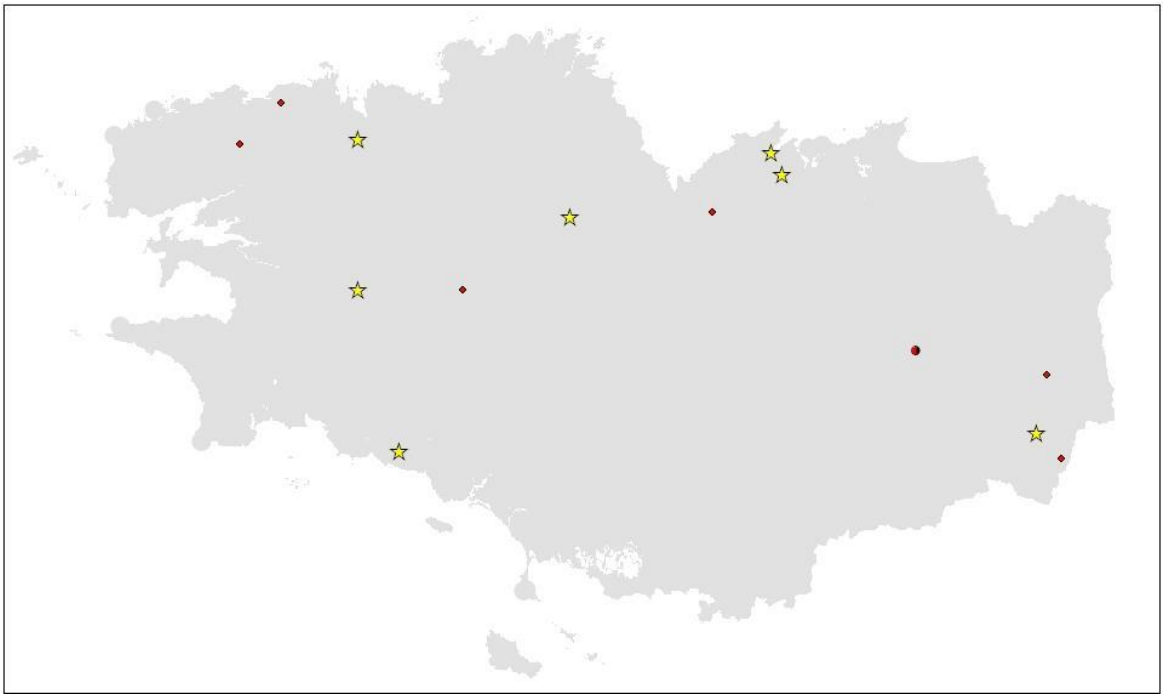

Figure 35 : Carte de répartition des forges gauloises et des demi-produits
(Point rouge : forge ; étoile jaune : dépôt de lingot)

- AUTRES OBJETS EN FER

D'autres objets ont été découverts dans le cadre d'opérations de fouilles : un bandage de roues sur le site des Ebihens à Saint-Jacut-de-la-Mer (22), des mors à cheval sur les sites de Kerven Teignouse en Inguiniel (56) et de l'île d'Yock en Landunvez (29), des crochets sur le site de l'île

Guennoc en Landéda (29) (LANGOUET 1990).
Par ailleurs, de nombreux clous de fer sont retrouvés sur les sites. On peut citer les exemples du site de Alet (35), du site de l'Homme Mort en Saint-Pierre-du-Plesguen (35), sur le site de l'île d'Yock en Landunvez (29), sur le site des Ebihens en Saint-Jacut-de-la-Mer (22), … (LANGOUET 1990).

3.4.2. Les contextes de découvertes

On les retrouve en général hors des sites d'ateliers métallurgiques. Sur les sites d'atelier, ne seront retrouvés que quelques rares outils, des ébauches et des ratés de fabrication, à confronter ensuite avec les objets retrouvés sur les autres sites archéologiques. Ces derniers que l'archéologue retrouve correspondent à des objets qui ont été perdus, abandonnés ou volontairement déposés.

On les retrouve dans différents contextes : habitats, sépultures, sanctuaires, isolés ….

- LE CONTEXTE FUNERAIRE

Les sépultures, tant les inhumations que les incinérations ont livré des objets en fer, plus ou moins bien conservé. Certains de ces objets ont été réduits à l'état de fragments de fer non identifiables. (BRUNAUX & LAMBOT 1987).

Les incinérations sont moins favorables à l'étude du mobilier, dans la mesure où les objets ont subi l'action du feu et que les dimensions réduites de l'urne cinéraire sélectionne les objets accompagnant le défunt.

L'inhumation est une structure archéologique idéale pour les archéologues. Les objets découverts permettent l'étude des objets en eux-mêmes et de la société en générale. Mais, il ne faut pas oublie que l'inhumation est avant tout une mise en scène. Les objets, qui accompagnent le défunt, sont ne sont pas nécessairement des objets quotidiens, ce peut également être des objets précieux, réservé pour cet instant.

En Bretagne, les défunts étaient accompagnés d'objets de parures (bracelet, anneau, jambière), d'arme (poignard, épées), de vaisselle (situle, ciste), de couteaux et d'objets moins courants (une clavette).

- LE SANCTUAIRE

Les sanctuaires livrent principalement des armes. La parure et l'outillage sont généralement peu représentés. En France, les sanctuaires sont devenus l'une des principales sources d'informations pour l'étude de l'armement (BRUNAUX & LAMBOT 1987). Ces sites livrent des objets, aussi nombreux que variés, en un seul lieu. Ils offrent un échantillon représentatif de la production d'armes en une

période donnée, permettant ainsi de faire des chronologies et des typologies des objets.
Les sanctuaires de Tronoën en Saint-Jean-Trolimon (29) (DUVAL 1990) et des Sept-Perthuis à Saint-Malo (22) ont livré de nombreuses armes et également des outils.

- LES HABITATS

Il n'est pas rare que les souterrains livrent des fragments de fer d'objets non identifiables. Les habitas gaulois ont livré quelques objets en fer. Ce sont des outils (pinces de forgeron, serpe à douille, ciseau à bois, couteau), de la parure (fibule, anneau), des objets liés à l'activité agricoles comme les mors à cheval, des bandages de roue…

La découverte d'armes en contexte d'habitat est très rare. Néanmoins, une pointe de lance a été découverte sur le site de Kerven Teignouse à Inguiniel (56).
On peut également noter la découverte d'un dépôt d'environ cinquante lingots, près d'un habitat, sur le site de la Belle Etoile à Saint-Connan (22)

- LES DECOUVERTES ISOLEES

Certains objets ont été découverts en dehors de tout contexte archéologique. Par exemple, le Torque de la pointe du Perron en Saint-Briac-sur-Mer (22) a été découvert dans une dune.

3.4.3. L'étude des objets

L'observation précise des objets peut apporter deux types de renseignements.

Elle apporte de précieuses informations sur le travail du forgeron. L'objet est le résultat du travail de l'artisan forgeron. Il emploie tout son savoir-faire et ses compétences techniques dans l'élaboration d'un objet. L'étude des objets permet notamment de connaître les différents modes d'emmanchement (rivetage, utilisation de languette ou de soie), certaines techniques de décoration comme le repoussé. L'étude des bandages de roues découverts sur le site des Ebihens en Saint-Jacut-de-la-Mer (22) a permis de noter l'utilisation du rivetage, technique utilisée d'assemblages au moyen de rivets. Le casque de Tronoën (29) a montré la présence d'un corail, assemblé au casque par sertissage, c'est-à-dire fixé par des bords de la pièce en fer. Les décors du poignard et du fourreau de Kernavest de Quiberon (56) ont été réalisés au repoussé, méthode de mise en forme de la matière par déformation plastique d'une feuille métallique. L'emploi de cette technique montre la compétence et la technicité des artisans.

Les objets apportent également des informations sur la vie de l'objet. Au cours de son utilisation, il va s'user, s'abîmer, se casser. Les différentes réparations faites par les forgerons vont laisser des traces sur l'objet. L'usure de l'objet peut permettre de déterminer par exemple la fonction d'un

objet. Puis, il va être recyclé ou abandonné. Parmi les dégradations les plus visibles, ce sont les sacrifices d'objets. Lorsque l'on découvre les objets dans un sanctuaire, ils sont rarement complets et présentent parfois des traces de coups. Dans certains cas, ils sont complètement déformés et pliés. Une épée ployée a été découverte dans le comblement d'un fossé de la première enceinte des Sept-Perthuis, à Saint-Malo (35). Dans le cadre de l'offrande, le fragment de la lame d'épée a été intentionnellement ployé. (SANTROT 1999)

Conclusion

Les prospections et les fouilles ont mis au jour de nombreux vestiges sidérurgiques en Bretagne. Ces scories de fer révèlent le potentiel archéo-sidérurgique de cette région. En effet, elle possède les deux ingrédients obligatoires au développement de cette activité : le minerai de fer et le combustible. Les vestiges correspondent à toutes les étapes de la chaîne opératoire, de l'extraction à la forge. Mais les sites de réduction dominent largement du fait qu'ils sont plus faciles à repérer en prospection pédestre. La base de données reflète également le long passé sidérurgique de la Bretagne. En effet, toutes les périodes sont représentées, de l'Age du Fer à l'époque moderne. Les sites gallo-romains sont dominants, car leur présence est bien visible en prospection sur les sites. Néanmoins, de nombreux sites souffrent du manque de précisions tant au niveau chronologique que technique.

L'étude sur la relation entre les différents ateliers de la chaîne opératoire se révèle compliquée, du fait du nombre restreint de sites de forges connus. Néanmoins, toutes les forges recensées sont situées sur un habitat rural, peu de sites proto-urbains ayant fait l'objet de fouilles en Bretagne. Les forges semblent peu connecter aux ateliers de réductions. Mais cette interprétation est sans doute faussée par le nombre de site t le contraste de nombre de découvertes suivant les régions. La région de Paimpont est prospectée depuis plus de vingt ans et aucune forge gauloise ou gallo-romaine n'a été recensée.

L'étude de la relation entre les ateliers de réduction et les habitats apportent un nouvel éclairage des filiations entre les forges et ateliers de réduction.

Les objets en fer étaient rares au Premier Age du Fer et plus fréquents à La Tène.

L'ampleur du travail de forge n'a pas pu être étudiée du fait de l'absence de données. On ne connaît pas l'ampleur du travail effectué dans les forges armoricaines, mais on peut supposer qu'elle se chargeait de la fabrication des objets courants, ainsi que de l'entretien et des réparations. Quelques objets d'importations sont également arrivés sur la côte sud de la Bretagne. Ce sont des objets de prestige de grande qualité, qui entrent dans le cadre d'une économie de cadeaux de prestige entre les élites. Les objets sont assez peu nombreux pour l'ouest de la Gaule. Doit-on y voir la pratique systématique de la récupération et du recyclage des objets usagés comme le suggère JC Meuret ?

Ce travail a permis de faire un état de la connaissance de la sidérurgie ancienne en Bretagne. Il

apparaît que la Bretagne a un fort potentiel-archéosidérurgique. Les prospections menées dans le Nord de la Haute Bretagne et dans la région de Paimpont livrent un grand nombre de sites, alors que certaines zones ne sont pas étudiées comme le Morbihan et l'ouest des Côtes d'Armor. Il serait intéressant, dans les prochaines années, d'aller vérifier les données sur le terrain et étudier les zones délaissées, afin d'avoir une image plus fidèle des relations entre les différents sites sidérurgiques.

Table des illustrations

Figure 1 : La Chaîne opératoire de la sidérurgie (SERNEELS 1998)……9

Figure 2 : Représentation schématique du fonctionnement d'un bas fourneau à air pulsé et de la réduction du minerai durant sa descente (dessin issu de LEROY & LERLUZZO 2004)…….…….….14

Figure 3 : Représentation schématique des différents types de produits bruts de réduction (LEROY & MERLUZZO 2004)……...…….……16

Figure 4 : Représentation schématique des étapes de la transformation du produit brut en produit forgeable (LEROY & MERLUZZO 2004)……..…..17

Figure 5: Centre de Réduction en Gaule à la fin de l'Age du Fer (Carte: DOMERGUE 2007)……..…….....20

Figure 6 : Forge de l'oppidum de Bibracte (Plan issu de : FICHTL 2000)…….…….....21

Figure 7 : Carte de la Bretagne (carte issue des Editions Atlas)……...27

Figure 8 : Carte simplifiée de la géologie de la Bretagne……28

Figure 9 : Echelle chronostratigraphique (carte issue de : CUCARELL 1991 ……..….....29

Figure 10 : Ensemble structuraux de la Bretagne (Carte issue de : ANDRE 2007)…….……31

Figure 11 : Carte des cités gauloises armoricaines au 1er siècle a.C (carte issue de : GIOT, BRIARD & PAPE1995)…….....37

Figure 12 : Eperon du Yaudet, en Ploulec'h (Côtes d'Armor) (Photographie issue de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)……...…...42

Figure 13 : « Murus Gallicus » de l'oppidum osisme du Camp d'Artus, Huelgoat (Finistère) (illustration issue de : GIOT, BRIARD & PAPE 1995)…… 43

Figure 14 : Enclos courbe de l'Age du Fer de La Ville Halle, à Plénée-Jugon (Photographie aérienne issue de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)……..…46

Figure 15 : Souterrain du bourg de Plessix-Balisson, Ploubalay (Côtes d'Armor) (Photographie issue de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)……47

Figure 16 : Carte de répartition des souterrains armoricains et des camps de l'Age du Fer (Carte issue de GIOT, BRIARD & PAPE 1995)……58

Figure 17 : Carte de répartition des indices d'habitats, obtenue à partir du dépouillement bibliographique et par la consultation de la carte archéologique……..……58

Figure 18 : Scorie de fond de four, Bois Jacob (Paimpont, Ille-et-Vilaine), daté du

Hallstatt…….…….62
Figure 19 : Les Glyorels 1 (Paimpont, Ille-et-Vilaine), daté de La Tène……...65
Figure 20 : Les Glyorels 3 (Paimpont, Ille-et-Vilaine), daté de La Tène…….……...…64
Fiches files maker sites……64 bis
Planche de mobilier sidérurgique n°1…….……..…68
Planche de mobilier sidérurgique n°2…….……...69
Fiches files maker minerai…….……70
Fiches files maker scorie……...71
Fiches files maker parois……...72
Figure 21 : Carte de répartition des sites de l'Age du Fer aux périodes récentes……73
Figure 22 : Carte de répartition des sites, de l'Age du Fer à la période moderne, selon leur datation……..75
Figure 23 : Carte de répartition des sites de l'Age du Fer selon leur datation……..…75
Figure 24 : Carte de répartition des sites, de l'Age du Fer à la période Moderne, selon la nature du site……..…76
Figure 25 : Carte de Répartition des sites de l'Age du Fer, selon la nature du site……...…76
Figure 26 : Fragments du casque et d'un protège-joue, découvert à Saint-Jean-Trolimon (29) (Dessin de : DUVAL 1990)……...81
Figure 27 : Carte de répartition des sites de réduction potentiellement gaulois, appliquée sur la carte géologique…….……83
Figure 28 : Carte de répartition des ateliers de réductions et des forges gauloises…….……85
Figure 29 : Carte de répartition des habitats gaulois et des ateliers de réductions potentiellement gaulois…….……...86
Figure 30 : Carte de répartition des habitats gaulois et des ateliers de réduction gaulois……87
Figure 31 : Torque en fer de la pointe du Perron en Saint-Briac-sur-Mer (22) (Dessin issu de : GIOT 1980)……92
Figure 32 : Pince de forgeron découverte sur le site du Braden I à Quimper (photo issue de LANGOUET 1990)……....94
Figure 33 : Lingots bipyramidaux de Saint-Connan (22) (photo de : BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002)……96
Figure 34 : Carte de répartition des sites de réduction gaulois et gallo-romain et des demi-produits……..…97
Figure 35 : Carte de répartition des forges gauloises et des demi-produits…….……98

Bibliographie

Liste des abréviations :

AB : Annales de Bretagne
AFEAF : Association Française pour l'étude de l'Age du Fer
BRGM: Bureau de recherches Géologiques et Minières
Ce.R.A.A.: Centre de Recherches Archéologiques d'Alet
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
DAF : Document d'Archéologie Française
PUF : Presse Universitaire Française
RAO: Revue archéologique de l'Ouest
SRA : Service Régional de l'Archéologie

Liste des périodiques dépouillés :

Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest
Archéologie en Bretagne
Bulletin scientifique du SRA
Bulletin de la Société Archéologique du Finsitère
Bulletin de la Société Archéologique de l'Ille-et-Vilaine
Bulletin de la Société d'Emulation des Côtes-du-Nord
Bulletin de la Société Polymatique du Morbihan
Les Dossiers du Ce.R.A.A.
Gallia
Mémoire de la Société d'Histoire et d'Archéologie de Bretagne
Patrimoine, Bulletin de la Société Archéologique de Corseul
Revue Archéologique
Revue Archéologique de l'Ouest

Liste de sites Internet consultés

http://cerapar.free.fr/go.php, page consultée le 25 mai 2008

http://www.inrap.fr/archeologie-preventive/p-7-Accueil.htm, page consulté le 25 mai 2008

http://www2.ac-rennes.fr/cst/doc/Dossiers/routefer/minerais/carte.htm, consultée le 27 mai 2008

http://perso-sdt.univ-brest.fr/~jperrot/planeteterre/bret-web.pdf, page consultée le 25 mai 2008

ANDRE 1989 :
ANDRE B., 1989 – *La naissance d'une métallurgie du bois sous la restauration dans le Morbihan: les fondateurs et leurs intentions*. AB, tome 96, n°2, p. 171-182

ANDRE 2007 :
ANDRE J-P., 2007 – *Regard sur la géologie du Massif Armoricain*, 18 p., http://tec.le-cheval-d-odin.net/document/massif%20armoricain.pdf (page Internet consultée le 27 mai 2008)

ANFRIEUX 1988 :
ANDRIEUX J-Y., 1988 – *La métallurgie en Bretagne du Moyen-Age à nos jours*, Ar Men, n°18, décembre 1988, p.2-19

ANDRIEUX & BRULE 1989 :
ANDRIEUX J-Y. Et BRULE A., 1989 – *Introduction. Une histoire minière et métallurgique inscrite sur le terrain*. AB, tome 96, n°2, p.115-122

ANDRIEUX et alii 1994:
ANDRIEUX Ph., DOMERGUE Cl., JARRIER C., PIERAGGI B. et TOLLON F., 1994 – *La sidérurgie antique*, Archéologia, 301, p. 58-63

ARRAMOND & LE POTIER 1990 :
ARRAMOND J-C. Et LE POTIER C., 1990 – *Paule, Saint-Symphorien, habitat de l'Age du Fer.* In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 153-155

AZEMA 1911 :
AZEMA L., 1911 – *Quelques minerais de fer et scories ferrugineuses du Finistère*, Bulletin de la Société de Sciences Naturelles de l'Ouest, 3^{e} série, T. 1, p. 119-138

BARDEL 1991 :
BARDEL J-P., 1991 – *La dépose de deux fours de métallurgie au lieu-dit Couédan, en Plélan-le-Grand*, Glanes en Pays Pourpré, n°28, 4^{e} trimestre 1991, p.12-14

BIZIEN-JAGLIN, GALLIOU & KEREBEL 2002:
BIZIEN-JAGLIN C., GALLIOU P., KEREBEL H., 2002 – *Les Côtes D'Armor*, Coll. Carte Archéologique de France, Académie des Inscriptions et Belles Lettres, Paris, 406 p.

BRÛLE 1988 :
BRÛLE A., 1988 – *Les mines métalliques bretonnes au XVIIIe et XIXe siècle: inventaire et typologie*. Mémoire d'Archéologie et d'Histoire de Bretagne, tome LXV, p. 125-145

BRULE-GACON & Alii 1993 :
BRULE-GACON A-F., ANDRIEUX J-Y., COIGNARD J., FONTUGNE H., HERBAUT C., LARHER G., LOYER S., MOINERAIS M. et PLAINE J., 1993 – *Fouilles d'un bas-fourneau et de ses structures annexes à l'étang du Perray en Plélan-le-Grand (Ille-et-Vilaine),* Revue Archéologique de l'Ouest, 10, p. 101-114

BRUNAUX 2005 :
BRUNAUX J-L., 2005 – *Les Gaulois.* Éditions Les Belles Lettres, Paris, 314p.

BRUNAUX & LAMBOT 1987 :

BRUNAUX J-L. Et LAMBOT B., 1987 – *Guerre et armement chez les Gaulois (420-52 av. JC).* Editions Errance, Paris, 219p.

CABBOI, DUBOIS, DUNIKOWSKI & LEROY 2004
CABBOI S., DUBOIS C., DUNIKOWSKI C. et LEROY M., 2004 – *La fabrication du charbon de bois*. In : MANGIN M. (dir.), Le fer, Editions Errance, p. 52-53

BUCHSENSCHUTZ 2007 :
BUCHSENSCHUTZ O., 2007 – *Les Celtes de l'Age du Fer*, Editions Armand Colin, Paris, 278p.

CABBOI & Alii 2007 :
CABBOI S., DUNIKOWSKI C., LEROY M. et MERLUZZO P., 2007 - *Les systèmes de production sidérurgique chez les Celtes du Nord de la France*. In : MILCENT P-Y. (dir.), 2007 – *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*. XXVIII[e] Actes de colloques de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, p.35-62

CARCOPINO 1957 :
CARCOPINO J., 1957 – *Promenades historiques au pays de la dame de Vix*, Paris, 114 p.

CASTEL & GIOT 1969 :
CASTEL G. et GIOT P-R., 1969 – *Le souterrain de l'Age du Fer de Kersulvez en Pluzunet (Côtes du Nord)*. AB, tome 76, n°1, p.97-107

CESAR *Guerre des Gaules :*
CESAR C.J. – *La Guerre des Gaules*, trad. Franç. Par L-A. Constans, Paris, Les Belles Lettres, 1950, rééd. Folio Classique, 461 p.

CHAURIS & GUIGUIS 1969 :
CHAURIS L. et GUIGUES J., 1969 – *Gîtes minéraux de la France*. I. Massif Armoricain, Mémoires du B.R.G.M., n°74, pagination

CHAUVEL , VIVET & BONNIOL-JARRIER 1999 :
CHAUVEL J-J., VIVET J-B. et BONNIOL-JARRIER C., 1999 – *Etude minéralogique préliminaire du mobilier paléosidérurgique dans le nord de la Bretagne.* Les Dossiers du CeRAA, 27, p. 87-100

CHAUVEL 2000 :
CHAUVEL J-J., 2000 – *Saint-Pierre-de-Plesguen, site de la Pilleverte II: minerai et scorie*. SRA Bretagne, inédit, 28 p. + 3 p. d'annexes

CHAUVEL & VIVET 2001 :
CHAUVEL J-J. et VIVET J-B., 2001 – *Le bassin paléosidérurgique de l'est de la Rance. Caractérisation et étude comparative de ressources minières et des minerais de fer grillés à l'Age du Fer et à l'époque Gallo-romaine.* Les Dossiers du CeRAA, 29, p. 59-72

COLLECTIF 1987 :
COLLECTIF, 1987 – *Les Mines et la métallurgie en Gaule et dans les provinces voisines*. Actes du colloque des 26 et 27 avril 1986, Caesarodunum, tome XXII, Editions Errance, Paris, 334p.

COLIN 1998 :
COLIN A., 1998 – *Chronologie des oppidas de la Gaule non méditerranéenne.* Documents de l'Archéologie Française. Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 195p.

CUCARULL 1991 :
CUCARULL J., 1991 – Une industrie à la campagne : les Forges de Paimpont, Glanes en Pays de Pourpré, n°28, 4e trimestre de 1991, p.15-23

CUNLIFFE 2001 :
CUNLIFFE B., 2001 – *Les Celtes.* Éditions Errance, Paris, 336p.

DAIRE 1991 :
DAIRE M-Y., 1991 – *L'Armorique*. In: MOSCATI S. (Coord.), *Les Celtes*, Catalogue d'exposition. Editions Bompiani, Milan, p. 237-242

DAIRE & alii 2001 :
DAIRE M-Y. et alii, 2001 – *Un complexe artisanal de l'Age du Fer à Enez Vihan en Plomeur-Bodou, (Côtes d'Armor*), Revue Archéologique de l'Ouest, 18, p. 57-93

DANZE 2001 :
DANZE J., 2001 – *Bretagne pré-celtique. Aux origines du peuplement armoricain*, Editions Coop Breizh, 308 p.

DAUBREE 1868 :
DAUBREE A., 1868 – *Aperçu historique sur l'exploitation des métaux en Gaule*. Revue archéologique, 17, p.289-313

DAUBREE 1881 :
DAUBREE A., 1881 – *Notice supplémentaire*. Revue archéologique, 41, p. 201-221, 261-284, 327-353

DENEGRE & SALGE 2004 :
DENEGRE J. et SALGE F., 2004 – *Les systèmes d'information géographiques*, coll. Que sais-je ?, n°3122, Paris, PUF, 128 p.

DENIS 1957 :
DENIS M., 1957 – *Grandeur et décadence d'une forêt: Paimpont au 16e-19e siècle*. AB, tome 64, n°3, p. 257-273

DOMERGUE 1982 :
DOMERGUE C., 1982 – *Mines et fonderie antiques de la Gaule*. Table ronde du CNRS, université de Toulouse-Le Mirail, 21-22 Novembre 1980, Paris, éditions du CNRS, 329p.

DOMERGUE & LEROY 2000 :
DOMERGUE Cl. Et LEROY M., 2000 – *Dossier mines et métallurgies antiques : recherches récentes*, Gallia, 57, CNRS, Paris, p.3-158

DOMERGUE 2000 :
DOMERGUE C., 2000 - *L'état de la recherche sur les mines et les métallurgies en gaule, de l'époque romaine au haut Moyen Age*. In: DOMERGUE C. et LEROY M. (Dir.), 2000 – Mines et métallurgie en Gaule: recherches récentes. Gallia, tome LVII, p.3-10

DOMERGUE 2004:
DOMERGUE Cl., 2004 – *Fer et société*. In : MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer,* Coll. « archéologique », Editions Errance, p. 175-212

DOMERGUE 2007 :
DOMERGUE C., 2007 – *La sidérurgie extractive en Transalpine et dans la Gaule indépendante à la fin de l'âge du Fer. Essai de mise en parallèle*. In : MILCENT P-Y. (dir.), 2007 – *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal.* XXVIII[e] Actes de colloques de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, p.17-34

DUNIKOWSHI & CABBOI 1995 :
DUNIKOWSHI C. et CABBOI S., 1995 – *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne),* DAF n°51, Editions de la Maison de Sciences et de l'Homme, Paris, 183 p.

DUVAL 1952 :
DUVAL P-M., 1952 – *Vulcain et les métiers du métal*, Gallia, tome X, p.43-57

DUVAL, LE BIHAN & MENEZ 1990 :
DUVAL A. (éd.), LE BIHAN J.-P. (éd.), MENEZ Y. (éd.). , 1990 - *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII[e] colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, 314 p.

DUVAL 1990 :
DUVAL A., 1990 – *Quelques aspects du mobilier métalliques en fer anciennement recueilli à Tronoen en Saint-Jean-Trolimon (Finistère)*. In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII[e] colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 23-45

DUVAL 2000:
DUVAL J-F., 2000 – *Métallurgie et défrichement en forêt de Paimpont au Moyen-Age*. AB, tome 107, n°3, p.7-24

FEUGERE & SERNEELS 1998 :
FEUGERE M. et SERNEELS V. (Dir.), 1998 – *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale,* Monographie Instrumentum 4, Monique Mergoil, Paris, 216 p.

FICHTL 2000 :
FICHTL S., 2000 – *La Ville Celtique. Les oppida: 150 av. JC à 15 ap. JC.* Éditions Errance, Paris, 190p.

FICHTL 2004 :
FICHTL S., 2004 – *Les peuples gaulois III[e]-I[er] siècle avant JC.* Éditions Errance, Paris, 180 p.

FLUZIN, PLOQUIN & SERNEELS 2000 :
FLUZIN P., PLOQUIN A., SERNEELS V., 2000 – *Archéométrie de production sidérurgique. Moyens et Méthodes d'identifications des différents éléments de la chaîne opératoire directe*. In: DOMERGUE & LEROY 2000, p.101-121

FLUZIN, PLOQUIN & DABOSI 2004:
FLUZIN Ph., PLOQUIN A. et DABOSI F., 2004 – *Approches métallurgiques et archéométriques*. In : MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer,* Coll. « archéologique », Editions Errance, p. 113-173

GALLIOU & LE BIHAN 1974 :
GALLIOU P., LE BIHAN J.-P., 1974 - *Les forges antiques de Quimper-Kermoysan, Archéologie en Bretagne*, n°4, p7-20

GALLIOU 1980 :
GALLIOU P., 1980 – *Mines et métaux dans l'Ouest de la Gaule,* In : *Mines et fonderies antiques de la Gaule*, Université de Toulouse-Le Mirail, 21-22 novembre 1980, Editions du CNRS, Paris, p. 21-32

GALLIOU 1989 :
GALLIOU P., 1989 – *Le Finistère*, Coll. Carte Archéologique de la Gaule, Académie des Inscriptions et des Belles Lettres, Paris, 229 p.

GALLIOU 1990 :
GALLIOU P., 1990 - *Commerce et société en Armorique à l'âge du Fer.* in : COLLECTIF. *Les gaulois d'Armorique, la fin de l'âge du Fer en Europe tempérée*. Actes du XIIème colloque de l'AFEAF, Quimper, 12 au 15 mai 1988, Revue Archéologique de L'Ouest, p.47-52

GAUDIN 2004 :
GAUDIN L., 2004 – *Transformations spatiaux temporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin du de la dernière glaciation. Reconstitution paléo-paysagères*. Université de Rennes 1. Thèse, 763 p. 4 p. d'annexes

GIOT , BRIARD & L'HELGOUAC'H 1958 :
GIOT P-R., BRIARD J., L'HELGOUAC'H J., 1958 – *A propos des affinités hispano-armoricaines à l'Age du Fer*. AB, tome 65, n°1, p.15-32

GIOT 1964:
GIOT P-R., 1964 – *Les lingots de fer bipyramidaux de Bretagne*. AB, tome 71, n°1, p.51-60

GIOT, LEROUX, LECERF & LECORNEC 1976 :
GIOT P-R., LEROUX C-T., LECERF Y. Et LECORNEC J., 1976 – *Souterrains armoricains de l'Age du Fer,* Travaux du laboratoire « d' Anthropologie- Préhistoire et protohistoire-quaternaire armoricain », Université de Rennes, 130 p.

GIOT 1980 :
GIOT P-R., 1980 – *Aperçus sur l'Age du Fer du Nord-Est de la Bretagne*. In : COLLECTIF, *Eléments pour une préhistoire du Nord-Est de l'armorique bretonne,* Les Dossiers du CeRAA, n°C, Saint-Malo, p.99-112

GIOT 1990:
GIOT P-R., 1990 – *Souterrains et habitats à l'Age du fer en Armorique.* In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 53-61

GIOT, BRIARD & PAPE 1995:

GIOT P-R., BRIARD J., PAPE L., 1995 – *Protohistoire en Bretagne*, Editions Ouest France Université, Rennes, 423 p.

GIOT, MONNIER & L'HELGOUAC'H 1998 :
GIOT P-P., MONNIER J-L. et L'HELGOUAC'H J., 1995 - *Préhistoire en Bretagne*, Editions Ouest France, 443 p.

GOUDINEAU & PEYRE 1993 :
GOUDINEAU C. et PEYRE C., 1993 - *Bibracte et les Eduens. A la découverte d'un peuple gaulois.* Editions Errance, Paris, 208 p. et 15 pl.

GOULETQUER 1969 :
GOULETQUER P-L., 1969 – *Le souterrain de l'Age du Fer de Bel-Air en Trébry (Côtes du Nord*). AB, tome 76, n°1, p.37-47

GRENIER 1994 :
GRENIER A., 1994 – *Les Gaulois,* Éditions Payot et Rivages, Paris 363 p.

GRUEL & VITALI 1998 :

GRUEL K. et VITALI D., 1998 – *L'oppidum de Bibracte: un bilan de onze années de recherche (1984-1995*). Gallia, tome LV, p.1-140

GUERIN 1993 :
GUERIN O., 1993 – *Mines et métal en Armorique romaine*., Patrimoine, Bulletin de la Société Archéologique de Corseul, n°VII, Avril 1993, p. 59-63

GUERISSE 1993a :
GUERISSE P., 1993 – *Sondage d'un site sidérurgique ancien sur la commune de Plélan-le-Grand (Ille-et-Vilaine)*. Journée de Préhistoire et de Protohistoire e Bretagne, 6 Novembre 1993, Rennes, p. 39-40

GUERISSE 1993b :
GUERISSE P., 1993 – *Rapport de fouilles. Site sidérurgique ancien. Plélan-le-Grand (35*), SRA Bretagne, 24 p.

GUERISSE 1994 :
GUERISSE P., 1994 – *Sites métallurgiques anciens du Massif de Paimpont*, Université de Rennes, Mémoire de maîtrise, 229p.

GUILLAUMET 1996 :
GUILLAUMET J-P., 1996 – *L'artisanat chez les Gaulois*, Editions Errance, Paris, 378 p.

GUYADER 1969 :
GUYADER Y., 1969 – *Fouille d'un souterrain de l'Age du Fer à Grohan en Quessoy (Côtes du Nord).* AB, tome 76, n°1, p.61-84

HALDEMANN & LE GOFF 2007 :
HALDEMANN M. et LE GOFF I., 2007 – *Etude d'une nécropole de la fin du Premier Age du Fer en Bretagne : Le cimetière de Boquidet à Sérnt (Morbihan*), Revue Archéologique de l'ouest, 24, p. 55-72

HERBAUT 1988 :
HERBAUT C., 1988 – *Exploitation minière dans la forêt de Quintin*. Mémoire d'Archéologie et d'Histoire de Bretagne, tome LXV, p. 93-104

HERBAUT 1989 :
HERBAUT C., 1989 – *Le renouvellement de la sidérurgie bretonne à la Renaissance: l'exemple de la forge d'Avaugour dans son environnement*. AB, tome 96, n°2, p. 161-170

HINGUANT & LE GOFF 1998 :
HINGUANT S. et LE GOFF E., 1998 – *Un site de l'Age du Fer stratifié en milieu rural : l'établissement de Kersalio à Pont-L'Abbé*, Revue Archéologique de l'Ouest, 15, p. 56-114

HYVERT 1990 :
HYVERT J., 1990 - *Les habitats côtiers armoricains à l'Age du Fer*. In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 71-94

JOCKEY 1999 :
JOCKEY Ph., 1999 – *L'archéologie*. Editions Belin, Paris, 399p. : p.278, p.313-314

KRUTA 2000 :
KRUTA V., 2000 – *Les Celtes, histoire et dictionnaire, des origines à la romanisation et au christianisme*, Editions Robert Laffont, Paris, 1005 p.

LANGOUET 1985 :
LANGOUET L., 1985 – *Une occupation de La Tène Finale sur l'île des Ebihens en Saint-Jacut (Côtes d'Armor)*. Journée de préhistoire et de protohistoire en Bretagne, 16 Février 1985, Rennes, p.25-27

LANGOUET 1987 :
LANGOUET L., 1987 – *Les Coriosolites. Un peuple armoricain, de la période gauloise à l'époque gallo-romaine*, Editions du CeRAA, Saint-Malo, 279 p.

LANGOUET, FAGUET & ANDLAUER 1990 :
LANGOUET L., FAGUET G., ANDLAUER L., 1990 – *Chronique de prospection archéologique 1990 en Haute-Bretagne*, Les Dossiers du CeRAA, 18, p. 40-60

LANGOÜET 1990 :
LANGOÜET L., 1990 – *Les artisanats armoricains au deuxième Age du Fer*. In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 85-95

LANOS 1984 :
LANOS Ph., 1984 - *La métallurgie ancienne du fer dans le nord de la Haute-Bretagne*. In : *La prospection archéologique en Haute-Bretagne. Ses apports à l'histoire du milieu rural dans l'Antiquité.* Les Dossiers du CeRAA, n°G, Saint-Malo, p. 147-170

LARCHER 1990 :

LARCHER G., 1990 – *Sites métallurgiques de la région de Paimpont. Rapport de prospection*, SRA Bretagne, inédit, 103 p.

LARCHER 1991a :
LARCHER G., 1991 - *Sites métallurgiques de la région de Paimpont. Rapport de prospection*, SRA Bretagne, inédit, 84p.

LARCHER 1991b :
LARCHER G., 1991 - *Sites métallurgiques de la région de Paimpont. Le Perray en Plélan*, SRA Bretagne, inédit, 33 p.

LARCHER 1991c :
LARCHER G., 1991 - *Sites métallurgiques de la région de Paimpont. Couedouan en Plélan*, SRA Bretagne, inédit, 52 p.

LARCHER 1992 :
LARCHER G., 1992 – *Sites métallurgiques de la région de Paimpont. Fouille programmée. Couedouan en Plélan*, SRA Bretagne, 74 p.

LARCHER 1993a :
LARCHER G., 1993 - *Sites métallurgiques de la région de Paimpont. Rapport de prospection*, SRA Bretagne, inédit, 11 p. + 45 p. d'annexes

LARCHER 1993b :

LARCHER G., 1993 – *Région de Paimpont. Sites métallurgiques*. Bilan scientifique du SRA 1993, p. 93

LARCHER 1994 :

LARCHER G., 1994 – *La zone sidérurgique de la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine) Bilan diachronique*. In : MANGIN M. (dir.), 1994 – *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen: archéologie et archéométrie.* Actes du colloque international de paléométalurgie de Besançon, 9-13 Novembre 1993, Annales littéraires de l'université de Besançon, 536, Paris, Les Belles Lettres, p. 113-119

LE BIHAN & GALLIOU 1974 :

LE BIHAN J.-P., GALLIOU P., 1974 - *Un groupe de bas-fourneaux antiques découverts près de Quimper*, Bulletin de la Société Archéologique du Finistère, 52, p17-30

LE BIHAN 1974 :
LE BIHAN J-P., 1974 – *Rapport de sondage archéologique. Quimper, Kermoisan*. SRA Bretagne, 4p et 3 p. de planches

LE BIHAN 1984a :

LE BIHAN J-P., 1984 – *Le village de la Tène Finale du Braden I à Quimper*. Journée de Préhistoire et de Protohistoire en Bretagne, 25 février 1984, Rennes, p. 33-34

LE BIHAN 1984b :

LE BIHAN J-P., 1984 – *Quimper, Le Braden*, SRA Bretagne, 102 p.

LE BIHAN & MENEZ 1986 :

LE BIHAN J-P. et MENEZ Y., 1986 – *L'habitat gaulois en Armorique au second Age du Fer*, Ar Men, n°73, p.18-35

LE BIHAN, BARDEL, MENEZ & TANGUY 1990 :

LE BIHAN J-P., BARDEL J-P., MENEZ Y. et TANGUY D., 1990 – *Établissements ruraux du deuxième Age du Fer en Armorique*. In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 97-113

LE BIHAN & LE ROBIC 1990 :

LE BIHAN J-P. Et LE ROBIC J-Y., 1990 – *Le village de l'Age du Fer de Mez-Notariou, île d'Ouessant (Finistère).* In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 157-162

LE BIHAN 1991 :

LE BIHAN J-P., 1991 – *Le village protohistorique de Mez Notariou à Ouessant*. Journée de préhistoire et de protohistoire en Bretagne, 19 Octobre 1991, Rennes, p. 31-33

LE BIHAN 2002 :

LE BIHAN J-P., 2002 - *Habitats et territoires, deux exemples armoricains: l'Ile d'Ouessant au premier Age du Fer, Quimper à La Tène.* In: GARCIA D. et VENDRIN F. (dir.) – Territoires celtiques: Espaces ethniques des agglomérations protohistoriques d'Europe Occidentale. Actes du XXIVe colloque international de l'AFEAF, Martigues, le 1-4 juin 2000, Edition Errance, Paris, p.213-225

LE CARLIER, LEROY & MERLUZZO 2007 :

LE CARLIER C., LEROY M. et MERLUZZO P., 2007 – *L'apport de l'analyse morphologique, microscopique et chimique des scories en forme de culot à la restitution des activités de forge*, Archéosciences, Revue d'archéométrie, 31, p.23-35

LE GALLO 1991 :

LE GALLO Y. (dir.), 1991 – *Le Finistère, de la Préhistoire à nos jours*, Editions Bordessoules, Saint-Jean d'Angely, p.20-26

LE GOFFIC 1989 :

LE GOFFIC M., 1989 – *Le site de l'Age du Fer de Rubiou à Spézet (Finistère*). Journée de préhistoire et de protohistoire en Bretagne, 25 novembre 1989, Rennes, p. 23-25

LANGOÜET 1988 :

LANGOÜET L., 1988 – *Les Coriosolites, un peuple armoricain de la période gauloise à l'époque gallo-romaine.* Editions Centre Régional d'archéologie d'Alet, Saint-Malo, 279p.

LE QUELLEC 2007 :

LE QUELLEC V., 2007 – *La paléométallurgie du fer dans le Porzay et ses environs*. Rapport de

prospection thématique. SRA Bretagne, 62 p., inédit

LEROI-GOURHAN 2005 :
LEROI-GOURHAN A., 2005 – *Dictionnaire de la Préhistoire*, Editions Quadrige / PUF, 1277 p.

LE ROUX 1964 :
LE ROUX C-T., 1964 – *Deux cimetières à incinérations armoricains du versant septentrional*. AB, tome 71, n°1, p.35-49

LE ROUX & GIOT 1965 :
LE ROUX C-T. Et GIOT P-R., 1965 – *Fouille d'un souterrain de l'Age du Fer à Pendreff, en Commana (Finistère).* AB, tome 72, n°1, p. 95-113

LE ROUX 1967 :
LE ROUX C-T., 1967 – *Le souterrain de l'Age du Fer de Stang-Vihan en Concarneau (Finistère).* AB, tome 74, n°1, p.127-145

LE ROUX 1969 :
LE ROUX C-T., 1969 – *Le souterrain de l'Age du Fer de Kervignac en Plussulien (Côtes du Nord).* AB, tome 76, n°1, p.85-96

LEROUX 1988 :
LEROUX G., 1988 – *Un nouveau souterrain de l'Age du Fer à la Crochais en Ploubalay (Cotes du Nord),* Les Dossiers du CeRAA, 16, p. 7-10

LEROUX & PROVOST 1990 :
LEROUX G., PROVOST A., 1990 – *L'Ille-et-Vilaine*, Coll. Carte Archéologique de la Gaule, Académie des Inscriptions et Belles Lettres, Paris, 304 p.

LEROY & MERLUZZO 2004 :
LEROY M. et MERLUZZO P., 2004 – *La réduction : du minerai au métal*. In : MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer*, Coll. « archéologique », Editions Errance, p. 49-80

MAHE-LE CARLIER, DIEUDONNE-GLAD & PLOQUIN 1998 :
MAHE-LE CARLIER C., DIEUDONNE-GLAD N. et PLOQUIN A., 1998 – *Des laitiers obtenus dans un bas-fourneau ? Etudes chimiques et minéralogiques des scories du site d'Oulche (Indre).* Revue d'Archéométrie, 22, p.91-101

MAGUER 1995 :
MAGUER P., 1995 – *Sondages sur la fortification du Castel-Penledan au Moulin du Flogoët (Ploudaniel).* Prospections thématiques des enceintes fortifiées dans le Finistère, SRA Bretagne, 53 p.

MAGUER 1996 :
MAGUER P., 1996 - *Les enceintes fortifiées de l'Age du Fer dans le Finistère*. Revue Archéologique de l'Ouest, 13, p. 103-121

MANDY & DE SAULCE 2003 :
MANDY B. et DE SAULCE A., 2003 – *Les Marges de l'Armorique à l'Age du Fer. Archéologie et Histoire: culture matérielle et sources écrites*. Actes du XXIIIe colloque de l'AFEAF, Musée Dobrée, Nantes, 13-16 mai 1999, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°10, 418p.

MANGIN, COURTADON, FLUZIN & al. 2000 :

MANGIN M., COURTADON J-L., FLUZIN P. et al., 2000 – *Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia (Haut-Auxois, Côte d'Or) (1er av.-8e siècle après JC).* Monographie du CRA (Valbonne), 22, Paris, CNRS Editions, 508 p.

MANGIN 1994:

MANGIN M. (dir.), 1994 – *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen: archéologie et archéométrie.* Actes du colloque international de paléométalurgie de Besançon, 9-13 Novembre 1993, Annales littéraires de l'université de Besançon, 536, Paris, Les Belles Lettres, 424 p.

MANGIN 2004a :

MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer,* Coll. « archéologique », Editions Errance, Paris, 239 p.

MANGIN 2004b :

MANGIN M., 2004 – *Introduction*. In : MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer,* Coll. « archéologique », Editions Errance, p. 5-23

MARGUERIE 1990 :

MARGUERIE D., 1990 – *L'environnement à l'Age du Fer en Armorique*. In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 115-120

MASSON 1997 :

MASSON S., 1997 – *Les traces d'occupation humaine de la basse vallée du Blavet du Néolithique à la fin de la période gallo-romaine*. Université de Haute-Bretagne- Rennes II Mémoire de maîtrise, inédit, 144 p.

MENEZ & alii 1990 :

MENEZ Y. et alii, 1990 – *Les bâtiments de l'Age du Fer en Armorique.* In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII^{e} colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 121-137

MENEZ 1991 :

MENEZ Y., 1991 – *Paule (Côtes-D'Armor). Camp Saint-Symphorien.* Journée de préhistoire et de protohistoire en Bretagne, 19 Octobre 1991, Rennes, p. 28-30

MENEZ 1996 :

MENEZ Y., 1996 – *Une ferme de l'Armorique gauloise La Boisanne à Ploüer-sur-Rance (Côtes d'Armor).* Documents d'Archéologie Française n°58, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 267p.

MENEZ 2001 :

MENEZ Y., 2001 – *Le Camp de Saint-Symphorien. Forteresse aristocratique du second âge du Fer*. SRA Bretagne, 76p. et 80 p. de planches

MENEZ 2002 :

MENEZ Y., 2002 – *Le Camp de Saint-Symphorien à Paule (Côtes d'Armor).* Journée de Préhistoire et de Protohistoire en Bretagne, 9 mars 2002, p. 55-57

MENEZ & BERANGER 2006:
MENEZ Y. et BERANGER M., 2006 – *L'environnement de la forteresse aristocratique de Paule. Bilan des fouilles effectuées en 2005 (Côtes d'Armor).* Journée de préhistoire et de protohistoire en Bretagne, 8 avril 2006, Rennes, p. 30-32

MENEZ & BERANGER 2007:
MENEZ Y. et BERANGER M., 2007 – *Le site de Paule : Nouvelles découvertes (Côtes d'Armor).* Journée de préhistoire et de protohistoire en Bretagne, 17 Mars 2007, Rennes, p. 13-17

MENEZ, VIVET, CHANSON & DUPRE 2007 :
MENEZ Y., VIVET J-B., CHANSON K. et DUPRE M., 2007 – *La forge de Paule (Côtes d'Armor).* In : MILCENT P-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*. XXVIII^{e} Actes de colloques de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, p. 213-237

MEULEAU 2004 :
MEULEAU M., 2004 – *Les Celtes en Europe.* Éditions Ouest-France, Rennes, 127p.

MEURET 1986 :
MEURET J-C., 1986 - *Peuplement à l'est de l'Ille-et-Vilaine, entre Vilaine et Semnon*. Université de Haute-Bretagne –Rennes II. Mémoire de maîtrise, 185 p.

MEURET 1989a :
MEURET J-C., 1989 – *Le paysage métallurgique minier ancien du Sud-est de l'Ille-et-Vilaine*. AB, tome 96, n°2, p. 145-160

MEURET 1989b :
MEURET J-C., 1989 – *La métallurgie ancienne au Sud-est de l'Ille-et-Vilaine.* Mémoire d'Archéologie et d'Histoire de Bretagne, tome LXVI, p.355-375

MEURET 2007 :
MEURET J-C., 2007 – *Le fer, le pouvoir et la forêt, entre Anjou et Bretagne du XIe au XVe siècle*. Mémoires de la Société d'Histoire et d'Archéologie de Bretagne, p.101-176

MEYER 1958 :
MEYER J., 1958 – *Les forges de la région de Châteaubriant à l'époque révolutionnaire (1789-1801).* AB, tome 65, n°3, p.361-394

MILCENT 1992 :
MILCENT P-Y., 1992 – *L'Age du Fer dans l'Ouest armoricain à travers les ensembles funéraires (IX ^{e}– III^{e} siècle avant JC),* Université de Paris IV-Sorbonne, Mémoire de maîtrise, 197 p. et annexes

MILCENT 2007 :
MILCENT P-Y. (dir.), 2007 – *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal.* XXVIII^{e} Actes de colloques de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, Editions Aquitania, Bordeaux, 434 p.

MINOIS 1987 :
MINOIS G. (dir.), 1987 – *Les Côtes du Nord : de la Préhistoire à nos jours,* Editions Bordessoules,

Saint-Jean d'Angely, p. 38-44

MORZADEC-KERFOURN 1974 :
MORZADEC-KERFOURN M-T., 1974 – *Variations de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire. Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux*. Mémoire de la Société géologique et minéralogique de Bretagne, 17, Rennes, 208 p.

MORZADEC-KERFOURN 1982 :
MORZADEC-KERFOURN M-T., 1982 – *Apport de l'analyse pollinique à l'archéologie du paysage armoricain*. In : GIOT P-R., BATT M. Et MORZADEC M-T, *Archéologie du paysage agraire armoricain*, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie, Rennes, p.61-78

MOSCATI 1991 :
MOSCATI S. (coord.), 1991 – *Les celtes*, Catalogue d'exposition. Editions Bompiani, Milan, 796p.

NAAS 1986 :
NAAS P., 1986 – *L'extrémité occidentale des Landes de Lanvaux et la région de Baud. Inventaire archéologique et histoire du peuplement du Néolithique à la fin du Moyen-Age*. Université de Haute-Bretagne-Rennes II, Mémoire de maîtrise, 226 p.

OILLIC 2007:
OILLIC J-C., 2007 – *Approches paléo-environnentale du site de Trécélien (Paimpont, Ille-et-Vilaine) : Premiers éléments d'étude des relations Sociétés / Végétation sur le massif forestier de Paimpont au cours des derniers millénaires*, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Mémoire de Master 2, 75 pages et 30 page d'annexes

ORENGO 2003 :
ORENGO L., 2003 – *Forges et forgerons dans les habitats laténiens de la Grande Limagne d'Auvergne. Fabrication et consommation de produits manufacturés en fer en Gaule à l'Age du Fer*, Monographie Instrumentum, 26, Montagnac, Monique Mergoil, 325 p.

OTTE 2002 :
OTTE M.,2002 – *La Protohistoire*. Éditions De Boeck Université, Bruxelles, 396 p.

PERNOT 1998 :
PERNOT M., 1998 – *Des ateliers métallurgiques près de la porte du Rebout*. In: GRUEL K. et VITALI D. – *L'oppidum de Bibracte: un bilan de onze années de recherche (1984-1995)*. Gallia, tome LV, p.52-60

PLAINE 1991:
PLAINE J., 1991 – *Géologie du Massif de Paimpont*, Glanes en Pays de Pourpré, n°28, 4e trimestre de 1991, p.2-7

PIGEAUD 2007 :

PIGEAUD R., 2007 – *Des mammouths aux menhirs. La préhistoire dans l'ouest. Bretagne, Pays de la Loire*. Editions Ouest France, Rennes, 127 p.

PION 2006 :
PION P., 2006 – *Celtes et Gaulois*. Groupe Fleurus, paris, 80p.

PUZENAT 1939 :
PUZENAT L., 1939 – *La sidérurgie armoricaine*, Mémoires de la société Géologique et minéralogique de Bretagne, t. IV, Rennes, 385 p.

RAPIN 1990 :
RAPIN A., 1990 – *L'armement, fil conducteur des mutations du second Age du fer*. In: DUVAL A., LE BIHAN J-P. Et MENEZ Y., *Les Gaulois d'Armorique: la fin de l'Age du fer en Europe tempérée*. Actes du XII[e] colloque de l'AFEAF, Quimper, mai 1988, Revue Archéologique de l'Ouest, supplément n°3, Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'ouest de la France, Rennes, p. 287-297

RISHINE 1994:
RISHINE A-E., 1994 – *La préhistoire : de la pierre aux métaux*. In : *Le Morbihan : de la Préhistoire à nos jours*. Saint-Jean d'Angely, Bordessoules, p. 26-62

SANTROT 1999:
SANTROT M-H., 1999 – *Nos ancêtres les Gaulois aux marges de l'Armorique.* Catalogue d'exposition. Musée Dobrée, Nantes, 159p.

SCHNAPP 1997:
SCHNAPP A. (dir.), 1997 – *Préhistoire et Antiquité*, Editions Histoire de l'art, Flammarion, Paris, p. 90-99

SERNEELS 1998 :
SERNEELS V., 1998 – *La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne*. In : FEUGERE M. Et SERNEELS V. (dir.), *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale,* Monographie Instumentum 4, Monique Mergoil, Paris, p. 7-44

SERNEELS 2004 :
SERNEELS V., 2004 – *Le fer et ses minerais.* In : MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer*, Coll. « archéologique », Editions Errance, p. 25-48

SERNEELS, MERLUZZO & LEROY 2004:
SERNEELS V., MERLUZZO P. Et LEROY M., 2004 – *Les activités de forge: le travail du métal*. In : MANGIN M. (dir.), 2004 – *Le Fer*, Coll. « archéologique », Editions Errance, p. 81-112

SIEVERS, PLEINER, VENDOVA & GEILENBRÜGGE 1991 :
SIEVERS S., PLEINER R., VENDOVA N. et GEILENBRÜGGE U.,1991 - *L'artisanat.* In: MOSCATI S. (coord.), *Les Celtes*, Catalogue d'exposition. Editions Bompiani, Milan, p.442-444

TANGUY 2000 :
TANGUY D., 2000 – *Le site d'habitat de l'Age du Fer de Keven-Teignouse à Inguiniel (Morbihan),* Revue Archéologique de l'Ouest, 17, p. 143-173

THOMAS 2005 :
THOMAS E., 2005 – *Géologie succincte du Massif Armoricain (Bretagne),* BRGM, 6 p., http://www.bretagne-environnement.org/telecharger/1159881056-geologie-succincte-du-massif-armoricain-bretagne-.pdf, page consultée le 25 mai 2008

TYLECOTE 1962:
TYLECOTE R-F., 1962 – *Metallurgy in Archaeology*, Esward Arnold publishers, London, 368 p.

TRYON-MONTALEMBERT 1955 :
TRYON-MONTALEMBERT R., 1955 – *La sidérurgie en Gaule et aux époques primitives, gauloises et gallo-romaine jusqu'à la fin de l'Empire romain*. In: Techniques et Civilisations, 4, p.28-43, 57-76, 98-113, 153-172, et 187-208.

VAN ZEIST 1964:

VAN ZEIST W., 1964 – *A paleobotanical study of some bogs in western Brittany (Finistère), France*, Paleohistoria, X, p. 157-180

VILARD & LE BIHAN 2006 :
VILARD J-F. et LE BIHAN J-P., 2006 – *La nécropole à crémation du Hallstatt final- La Tène ancienne de Kerjaouen en Quimper (Finistère)*, Revue Archéologique de l'Ouest, 23, p. 171-198

VIVET 1997 :
VIVET J-B., 1997 – *Paléométallurgie du fer à l'Est de la Rance dans le Combournais. Bilan interprétatif des données de prospection*. Les Dossiers du CeRAA, 25, p. 57-90

VIVET 1999a :
VIVET J-B., 1999 – *Prospection thématique (1/3). Paléométallurgie du fer dans le bassin de la Rance: le Rocher Abraham en Saint-Pierre-du-Plesguen*. Ministère de la Culture, inédit, 36 p. + 5 planches

VIVET 1999b :
VIVET J-B., 1999 - *Prospection thématique (3/3), Paléométallurgie du fer dans le Bassin de la Rance, Pilleverte II en Plesder,* Ministère de la Culture, 32 p.

VIVET 1999c :
VIVET J-B., 1999 – *Prospection thématique (3/3). Caractéristiques des gisements métallurgiques.* Ministère de la Culture, inédit, 36 p. + 5 planches

VIVET 2000 :
VIVET J-J., 2000 – *Prospection thématique (½). Paléométallurgique du fer dans le bassin de la Rance 2000: la Ville Pierre II en Quévert (Côtes-d'Armor)*, SRA Bretagne, Inédit, 41p. + 9 p. d'annexes

VIVET & CHAUVEL 2000 :
VIVET J-B. Et CHAUVEL J-J., 2000 – *Paléométallurgie du fer dans le bassin de la Rance.* Journée de Préhistoire et de Protohistoire en Bretagne, 18 Novembre 2000, Rennes, p. 38-40

VIVET 2001 :
VIVET J-B., 2001 – *Le Rocher Abraham, Saint-Pierre-de-Plesguen (Ille-et-vilaine) : un témoin essentiel de l'activité sidérurgique gauloise du nord de la Haute-Bretagne*, Les Dossiers du CeRAA, 29, p. 79-94

VIVET, CHAUVEL & NICOLLIN 2003 :
VIVET J-B., CHAUVEL J-J. et NICOLLIN F., 2003 – *Production de fer à la Tène ancienne en vallée de la Rance : la Ville Pierre II en Quévert (22)*, Les Dossiers du CeRAA, 31, p. 17-99

VIVET 2007a :
VIVET J-B., 2007 – *La production du fer protohistorique en Haute-Bretagne d'après les résultats*

des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques. In : MILCENT P-Y. (dir.), 2007 – *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal.* XXVIII[e] Actes de colloques de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, p. 63-84

VIVET 2007b :
VIVET J-B., 2007 – *Le Bois-Jacob en Paimpont (35). Activité minière et réduction directe. Les Glyorels I et II en Paimpont (35). Ateliers et bas fourneau du second Age du Fer. Paléométallurgie du fer en Haute-Bretagne,* SRA Bretagne, 89p.