

Université Paris I Panthéon-Sorbonne

UFR 03

Master 2 Archéologie spécialité environnement

OILLIC Jean-Charles

Approche paléo-environnementale du site de Trécélien

(Paimpont ; Ile-et-Vilaine) :

**Premiers éléments d'étude des relations Sociétés/végétation sur le massif
forestier de Paimpont au cours des derniers millénaires**

Volume I : texte



Sous la direction de Joëlle BURNOUF

Tuteur : Dominique MARGUERIE (CNRS, UMR 6566, Rennes)

Juin 2007

Photographie du Val-sans-Retour (Paimpont, Ille-et-Vilaine)
(J.-C. OILLIC)

Remerciements

A l'heure de boucler ce mémoire, je pense à tous ceux qui, par leurs présence, conseils et soutien scientifique ou moral, ont permis sa réalisation.

*En premier lieu je tiens à remercier **Dominique Marguerie**, chercheur au CNRS, qui par deux fois m'a vu débarquer dans son bureau avec ma seule envie d'étudier les environnements passés. Lors de la première, il y a de ça quatre ans, il a bien voulu m'initier aux joies de la palynologie. Puis il y a maintenant un an, il a accepté de m'encadrer dans ce projet de débroussaillage des idées reçues sur l'histoire de la mythique forêt de Brocéliande.*

*Je pense également à **Jean-Bernard Vivet**, responsable de diverses campagnes de fouilles archéologiques à Paimpont, pour sa disponibilité et l'intérêt qu'il a su susciter chez moi pour les questions paléométallurgiques.*

*Je tiens aussi à remercier **Alain Le Gualès**, propriétaire du terrain où se trouve le site de Trécélien, pour l'autorisation qu'il nous a donné de faire quelques sondages dans la zone humide.*

*Mes remerciements vont également à **Christine Oberlin**, responsable du Centre de Datation par le Radiocarbone de l'Université Claude Bernard de Lyon, sans qui l'interprétation des résultats auraient été tout autre, car la datation entre les niveaux 57 cm et 59 cm a été effectuée dans des délais extrêmement courts : trois mois.*

*Que soit aussi remercier **Nancy Marcoux** pour le temps qu'elle a accordé à la relecture de ce rapport et les remarques constructives qui en ont découlé ; **David Aoustin** pour l'aide qu'il m'a fournit dans l'identification des pollens lors de mon retour à la palynologie et **Manon Cabanis** pour ses précieux conseils lors de l'analyse anthracologiques.*

*Je remercie également **Nicolas Girault** pour ses remarques qui m'ont fait explorer de nouvelles hypothèses dans l'analyse de mes résultats et souhaite que notre collaboration sur l'étude de ce massif forestier se poursuive encore de nombreuses années.*

*Je n'oublie pas non plus les autres doctorants et membres du laboratoire : **Quentin, Muriel, Axel, Rodrigue, Véro...** (je suis désolé pour les autres mais la liste est longue), qui par leur bonne humeur savent égayer les longues journées de microscopie. Je leur souhaite une grande réussite dans leurs travaux et bon courage pour les soutenances qui approchent.*

*Enfin je tiens à remercier l'ensemble des prospecteurs qui arpentent les chemins de la forêt de Paimpont. Puissent-ils encore longtemps nous apporter par leurs découvertes les éléments nécessaires à la compréhension de l'histoire de ce massif. Je pense plus particulièrement à **Guy Larcher** pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer et ses bons mots.*

Sommaire

Introduction	5
I. Contexte actuel de l'étude.....	7
1.1.Contexte naturel	7
1.1.1. La géographie	7
1.1.2. Le climat.....	7
1.1.3. La géologie	8
1.1.4. La topographie.....	9
1.1.5. La pédologie	9
1.1.6. La végétation actuelle.....	10
1.2. Contexte économique et culturel.....	11
1.2.1. La sylviculture.....	11
1.2.2. L'agriculture.....	12
1.2.3. Le tourisme : de Brécilien à Brocéliande	12
II. Le site de Trécélien.....	14
III. Etude archéobotanique	16
3.1. Méthodologie	16
3.1.1. Anthracologie	16
3.1.2. Palynologie.....	21
3.1.3. Complémentarité des résultats anthracologiques et palynologiques.....	29
3.2. Résultats	30
3.2.1. Anthracologie	30
3.2.1.1. Les échantillons médiévaux	30
3.2.1.2. LM 34-35.....	35
3.2.2. Palynologie.....	38
3.2.3. Synthèse	49
IV. Discussion	51
Conclusion.....	65
Bibliographie	68

Introduction

«*La Bretagne était à l'origine couverte d'une immense forêt. Le climat doux et humide et un bon ensoleillement avait favorisé l'implantation d'une grande variété d'arbres : chênes, hêtres, charmes, châtaigniers, résineux. Mais peu à peu les colons romains puis les moines des abbayes dégagent l'espace pour les exploitations agricoles. Plus tard, se sera pour construire les navires de la marine et produire du charbon de bois pour alimenter les forges de Paimpont, Quénécan, Châteaubriant et n'épargner finalement que 10% de la surface totale. Aujourd'hui les massifs forestiers, privés pour la plupart, dépassent rarement les 2 000 ha ... Brocéliande est le nom mythique de l'actuelle forêt de Paimpont, située au cœur de la Bretagne. Cette forêt, qui s'étend aujourd'hui sur 7 000 hectares, recouvrait l'Armorique jusqu'au Moyen-âge...* ». Cet extrait d'une brochure touristique édité par le conseil régional de Bretagne est assez représentatif de la vision que le grand public se fait de la végétation bretonne passée. Le littoral, appelé Armor (la mer en breton), au paysage ouvert s'opposait au territoire intérieur dont le nom breton (Argoat) serait dû à l'immense forêt impénétrable qui l'occupait. Ce gigantesque massif forestier, appelé Brocéliande, serait resté vierge de toute présence humaine au moins jusqu'à l'époque gallo-romaine. Mais c'est à l'époque médiévale qu'auraient débuté les grandes phases de déboisement, sous l'influence des moines bretons arrivant d'outre-Manche. Ce recul n'aurait été qu'en s'amplifiant et il ne resterait plus aujourd'hui de cette « mère-forêt » que quelques reliques telles que les massifs forestiers de Paimpont en Ille-et-Vilaine ou de Huelgoat en Finistère.

Si cette vision de l'évolution de la flore bretonne était partagée par, au moins, une partie de la communauté scientifique jusqu'au milieu des années 1980, ce n'est actuellement plus le cas (Busnouf, 1983). Les résultats obtenus depuis une vingtaine d'années lors de travaux de prospection archéologique ont, en effet, permis de mettre en évidence de nombreux sites d'installation humaine dans le secteur de Paimpont. De plus, quelques travaux archéobotaniques ponctuels, menés suite à des campagnes de fouilles archéologiques, semblent indiquer la présence de paysages ouverts au cours des périodes pré- et protohistoriques (Marguerie, 1992).

Afin de mieux comprendre la réelle évolution de cette forêt « impénétrable et hostile », il paraissait inévitable de s'intéresser au massif forestier de Paimpont, souvent considéré comme le plus grand vestige de cette « mère-forêt ». La présence de zones humides sur ce territoire a permis d'envisager la réalisation d'un prélèvement tourbeux afin d'effectuer

une étude palynologique. Le choix du lieu de carottage a été orienté par la présence, à proximité d'une de ces zones tourbeuses, du site de paléo-métallurgie médiévale de Trécélien, fouillé de 2002 à 2004 (Vivet et Chauvel, 2002, 2003 ; Vivet 2004). Il devenait alors possible de croiser les résultats issus de l'approche palynologique avec ceux de l'analyse anthracologique des éléments issus des fouilles, dans l'espoir de dépasser les limites propres à chacune de ces deux disciplines.

Au cours de cette étude, nous nous interrogerons sur la présence de phases d'évolution de la végétation régionale, sur la nature de ces changements, sur leur composante temporelle et sur les facteurs pouvant en être à l'origine (anthropiques ou climatiques). Mais nous nous intéresserons également aux évènements ayant pu se produire à une échelle plus locale à travers les questions suivantes : quelles ont été les phases d'occupations humaines à proximité du site de Trécélien ? Quelles activités ont pu y avoir cours ? Comment se déroulaient-elles ? Quelles relations pouvaient exister entre les sociétés et la végétation durant chaque occupation ? Enfin, quelles influences la présence de ces activités a pu avoir sur les modifications floristiques à court et long terme ?

I. Contexte actuel de l'étude

1.1. Contexte naturel

1.1.1. La géographie

Le massif forestier de Paimpont, aussi appelé forêt de Brocéliande, se situe dans l'Ouest de la France, à la limite des départements bretons du Morbihan et de l'Ille-et-Vilaine (fig. 1). Il s'étend sur une superficie d'environ 7 500 hectares, ce qui en fait la plus grande surface boisée de Bretagne. Dans sa majeure partie, il couvre la commune éponyme de Paimpont, dont les limites administratives suivent grossièrement celles de la forêt. Il occupe aussi une partie du territoire des communes avoisinantes (fig. 2) de façon légère (Muel, Saint-Malon-sur-Mel, Saint-Péran, Plélan-le-Grand) ou beaucoup plus importante (Campénéac, Tréhorenteuc, Néant-sur-Yvel, Mauron).

Au sud de la commune de Paimpont, il existe une zone boisée qui n'est pas considérée comme appartenant à proprement dit au massif forestier de Paimpont. Il s'agit en fait du camp militaire de Coëtquidan, d'une superficie de plus de 5 000 hectares située sur les communes de Campénéac, Augan, Porcaro, Saint-Malo-de-Beignon, Beignon et Guer. L'absence d'exploitation du sol de ce territoire a conduit à la mise en place de la lande, dans une dynamique de reconquête végétale.

1.1.2. Le climat

L'ensemble du Massif armoricain connaît un climat de type tempéré océanique, caractérisé par une répartition régulière des pluies au cours de l'année, des températures moyennes annuelles de l'ordre de la dizaine de degrés (fig. 3) et une faible amplitude thermique (étés tièdes : 17°C de moyenne et hivers doux : température moyenne de 4 à 5°C).

La présence de la forêt de Paimpont, de superficie importante et sur une zone au relief marqué, crée un obstacle aux vents dominants et installe un climat spécifique au sein du massif forestier. Ce climat local a pour caractéristique principale de plus importantes

précipitations en comparaison aux zones environnantes (800 à 1 000 mm au lieu de 600 à 800 mm) (fig. 4) et peut entraîner, au niveau des crêtes, une baisse des moyennes annuelles des températures de 1°C (Corillon, 1971).

1.1.3. La géologie

Le massif armoricain (fig. 5) est une structure géologique formant approximativement un triangle entre les villes de Brest, Nantes et Le Mans. Il est composé de deux plateaux formés de séries de synclinaux et d'anticlinaux orientés ouest-est. Le premier, méridional, s'étend de la ville de Brest jusqu'à la Loire et se compose principalement de zones granitiques le long de la faille sud-armoricaine, et de gneiss. Le second, également de nature granitique, se trouve au nord de la péninsule bretonne entre les villes de Huelgoat et de Lamballe, le long de la faille nord-armoricaine. Entre ces deux plateaux, une succession de zones à schistes et d'autres à grès est observée dans la partie centrale de la Bretagne (Corillon, 1971).

Le massif forestier de Paimpont prend place au sein de cette alternance, et se situe plus exactement à l'extrémité nord-ouest du synclinal de Martigné-Ferchaud. Cette grande structure géologique (fig. 6a) est composée d'un socle précambrien sur lequel reposent des dépôts sédimentaires ayant connu des transformations au cours de l'ère primaire : schistes briovériens gris et verdâtres. Sur cet ensemble, un niveau de roche rouge est visible. Ces roches, caractéristiques de la région, se sont formées il y a environ 480 millions d'années et portent le nom de « schistes pourprés » (formation de Pont-Réan). Dans une grande partie du massif forestier de Paimpont, ce niveau de schistes est recouvert par une formation de grès blancs armoricains datant de l'Ordovicien (470 millions d'années). Dans la partie inférieure de ce niveau, des couches de minerai de fer peuvent être observées. Enfin, il existe au nord-ouest du bourg de Paimpont des dépôts argileux datant du Tertiaire à l'intérieur desquels se forment les gisements de minerai de fer.

Le site de Trécélien se trouve sur le niveau géologique formé des grès blancs ordoviciens (fig. 6b).

1.1.4. La topographie

La topographie du massif forestier de Paimpont (fig. 7) peut être décrite comme étant formée de deux zones issues du soulèvement des parties occidentale et centrale de la Bretagne entre la fin du Mésozoïque et le début du Cénozoïque. Ainsi, à l'ouest, se trouve un espace dont l'altitude moyenne est de 225 mètres. Cette zone du massif, appelée Haute-Forêt, voit ses pentes s'abaisser lentement au nord, plus franchement à l'est et très fortement au sud et à l'ouest. La partie est du massif porte le nom de Basse-Forêt et possède une altitude moyenne de 150 mètres. Elle recouvre une zone très étirée tant en longueur qu'en largeur, de Paimpont jusqu'aux communes de Plélan-le-Grand, Saint-Péran et Saint-Malon, et est parcourue par de très nombreux ruisseaux.

1.1.5. La pédologie

Les végétations, si elles sont influencées par les activités anthropiques, le sont bien évidemment aussi par la nature des sols sur lesquels elles se développent. Celle-ci dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'hydrologie, le relief et la géologie. Il est aussi important de noter le fait que la végétation a, elle aussi, une action sur le sol (enrichissement, appauvrissement, acidification...) (Duchaufour 1948,1974).

Au sein du massif forestier de Paimpont, il existe une grande variété de sols mais tous peuvent être regroupés au sein de la famille des sols bruns. Les différents types de sols qu'il est possible de rencontrer sont (fig. 8) :

- *des rankers*, formés par l'érosion de roches dures, dont l'influence est encore très importante. Ces sols présentent une faible épaisseur et une activité réduite voire inexistante à cause de la quasi-absence de microfaune. Leur localisation se situe surtout au niveau des zones à fortes pentes.

- *des sols bruns*, présentant un profil riche en matière organique, un horizon humique réduit et une activité biologique importante. Ce type de sol est caractéristique des milieux forestiers non dégradés. Leur pH est plus acide sur les rebords immédiats des plateaux et en début de pente.

- *des sols lessivés*, se situant généralement au niveau des zones de pentes, où les précipitations vont provoquer un déplacement de l'humus vers le fond de vallée, maintenant

ainsi l'humus à une faible épaisseur. Sous l'influence des pluies, il se produit également une migration des éléments chimiques vers les niveaux argileux situés plus en profondeur.

- *des podzols* présentant un horizon humique très important. Ils sont nés de la dégradation de sols bruns, appauvris par la présence de résineux notamment. Ils sont rencontrés sur les pentes fortes.

- *des sols hydromorphes*, caractérisés par la présence d'une très forte humidité. Certains sont parfois tourbeux. Ils se mettent généralement en place le long d'anciens thalwegs et sont propices au développement de prairies plus ou moins humides.

- *des sols humo-cendreaux*, présents à l'ouest du massif. Ce sont des sols pauvres sur lesquels se développe généralement une végétation de type lande.

1.1.6. La végétation actuelle

D'un point de vue phytogéographique, le massif forestier de Paimpont se situe dans le sous-secteur armorico-normand, au niveau du district de Haute-Bretagne-Bas-Maine (fig. 9). De part sa situation centrale, ce district est le plus banal des quatre espaces bretons. Les cortèges floristiques atlantique, méditerranéen et circumboréal n'y sont visibles que par la présence de leurs éléments les moins caractéristiques. Il est important de noter la présence de quelques espèces des cortèges médio-européen et eurasiatique, comme le charme (Corillon, 1971). La forêt de Paimpont se localise plus précisément à la limite des subdivisions orientale et occidentale de ce district. Il est donc possible d'y rencontrer la chênaie-hêtraie et la série du chêne sessile caractéristique du sous-district oriental, mais également, dans les parties hautes du massif, la série du hêtre, propre au sous-district occidental.

Sur les plus de 7 000 ha qu'occupe le massif de Paimpont, ces séries de végétation s'organisent en plusieurs paysages (fig. 10), dont les suivants sont les plus importants.

La forêt à chêne caducifolié constitue environ 50% de la surface forestière du massif de Paimpont (fig. 11). Sa flore ligneuse se compose de chêne pédonculé (*Quercus robur*) et de chêne sessile (*Quercus petraea*). Le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le charme (*Carpinus betulus*) sont également présents, ainsi que l'if (*Taxus baccata*) dans des proportions moindres. Au niveau des zones à sols hydromorphes, la strate arborescente est dominée par le bouleau verruqueux (*Betula pendula*). La strate arbustive est, quant à elle, dominée par le houx (*Ilex aquifolium*). Enfin, au niveau de la strate herbacée, la végétation est principalement

composée de fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Les Poacées sont généralement absentes, sauf dans les zones humides à la végétation arborée plus clairsemée.

Les landes se développent sur un peu plus de 2 000 ha localisés essentiellement au sud-ouest du massif. En fonction du type de sol sur lequel elle se développe, cette végétation peut prendre des faciès différents. Il en existe toutefois plusieurs types : la lande haute à *Ulex* sp. (*Ulex europaeus* et *Ulex minor*), la mésophile à *Erica ciliaris* et la lande sèche à *Erica cinerea*. En fonction des conditions pédologiques et des contraintes naturelles et anthropiques, passées et actuelles (surexploitation, incendie...), les landes à Ericacées peuvent être le stade végétal climacique ou constituer une phase de régénération vers la forêt à chêne caducifolié (Clément, 1978).

Une partie des terres situées sur le massif de Paimpont correspond à des terres agricoles. Ces territoires prennent la forme d'un paysage bocager, où les parcelles sont ceintées de talus plantés. De par sa place prépondérante dans la végétation des haies, le chêne pédonculé est l'espèce ligneuse la plus présente dans ce paysage agricole.

La forêt de résineux est issue des plantations réalisées depuis plusieurs décennies pour la sylviculture. Composée essentiellement de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), elle couvre la moitié de la surface boisée du massif.

1.2. Contexte économique et culturel

1.2.1. La sylviculture

A l'exception d'une petite surface gérée par l'Office Nationale des Forêts (moins de 10%), la forêt de Paimpont appartient au domaine privé. Dans celui-ci, il existe une exploitation des ressources ligneuses. La présence de nombreux sols pauvres, défavorables à une croissance rapide et de qualité des essences feuillues, a conduit les exploitants à effectuer des plantations de résineux, dont le pin sylvestre, pour permettre à cette activité d'être viable. La forêt issue de ces plantations occupe environ 50% de la surface totale du massif forestier de Paimpont (fig.11).

1.2.2. L'agriculture

Au sein du massif, l'activité agricole est principalement le siège d'exploitations de taille relativement modeste. Ainsi, sur la commune de Paimpont, il existe plus de 50 entreprises agricoles exploitant moins d'un quart des 11 000 ha de la commune.

La production y est très diversifiée. Les productions fruitières et la céréaliculture dans une moindre mesure, y sont pratiquées. Les activités d'élevages bovins, porcins ou ovins, sont également présentes malgré la faible superficie réservée au pâturage ; moins de 10% des terres sont en prairie.

1.2.3. Le tourisme : de Brécilien à Brocéliande

Avec plusieurs milliers de visiteurs par an, le massif de Paimpont est l'un des hauts lieux touristiques bretons. Il doit cet attrait du grand public non pas uniquement à son riche patrimoine archéologique, mais au fait qu'il est le décor féérique de la quête du Graal par les chevaliers de la Table Ronde sous le règne du roi Arthur. Il convient donc de s'interroger sur l'origine de cet imaginaire car lorsque l'on s'intéresse à l'histoire de la forêt, comment ne pas tenir compte de l'influence que ces visiteurs peuvent avoir sur l'évolution de l'écosystème.

C'est dans le « Roman de Rou », rédigé au XII^{ème} siècle par le poète anglais Wace et traduit par un anonyme, qu'apparaissent pour la première fois les mentions de Brocéliande et Barenton. Barenton est le nom d'une fontaine actuellement située en Haute-Forêt et à laquelle est attribuée la propriété magique de faire pleuvoir lorsqu'un peu de son eau est versée sur une margelle proche. Au cours de ce même siècle, Chrestien de Troyes s'en est inspiré, introduisant ainsi le « genre » courtois. C'est à cette époque qu'est supposée avoir eu lieu la transposition d'une partie des légendes en « Petite Bretagne » et le rapprochement entre les deux Bretagne ne fera alors que prendre de l'importance, puisque Henri II Plantagenêt encourageait une littérature basée sur un héros régnant de part et d'autre de la Manche.

Mais c'est au cours du XIX^{ème} siècle, sous l'influence des mouvements romantique et celtisant, que va se parachever le processus de transposition de la légende. L'un des principaux arguments à cette époque résidait dans la traduction d'un texte de 1467 : « les usements de la forêt de Brécilien ». En effet, il a été très aisé de rapprocher le nom médiéval de Brécilien à celui de la forêt mythique, Brocéliande. De plus dans ce texte, il existe une

description des lieux « merveilleux » présents au sein de la forêt, dont la fontaine de Barenton, redécouverte en 1870. Les lieux décrits dans les romans trouvent alors une certaine matérialité au cœur du massif, souvent sous la forme de monuments mégalithiques (tombeau de Merlin, Hostié de Viviane...). Le Val sans Retour va, quant à lui, après avoir occupé une vallée de l'ouest du massif, être déplacé à son emplacement actuel pour des raisons esthétiques, puisque sa localisation première présentait les activités métallurgiques de la région (fourneau, cheminée...), incompatibles avec le mythe recherché par les premiers touristes de l'époque. C'est ainsi que le développement du tourisme va parachever l'invention de Brocéliande, dès la fin du XIX^{ème} siècle.

II. Le site de Trécélien

Le site paléoméallurgique de Trécélien se situe sur la commune de Paimpont (Ille-et-Vilaine), sur le versant sud-est d'une vallée entre l'étang du Pas du Houx et l'étang des Forges (N° inventaire : 35 211 128 ; coordonnées Lambert II étendu : 266316 E ; 2343695 N). Il est établi à une altitude moyenne de 125 m NGF au lieu-dit du Breil au Seigneur, et plus exactement dans la Coupe des ifs. D'une superficie d'environ 12 000m², le site est localisé à 200 mètres en amont du point d'intersection de la ligne de la Patte d'Oie et du ruisseau de Trécélien, qu'il jouxte dans sa partie occidentale (fig. 12 & 13).

Découvert au début des années 1990 dans le cadre des travaux de prospection archéologique (Larcher, 1990, 1994), le site de Trécélien présentait un ferrier constitué d'une douzaine d'amas de scories (dont le volume total avoisine et dépasse même sans doute un millier de m³, sans compter les prélèvements anciens) parmi lesquels passe un chemin (fig. 14). Les différentes opérations de sondages réalisées depuis sur le site (Vivet et Chauvel 2002 ; 2003 ; Vivet 2004) ont révélé la présence de plusieurs structures, témoins des diverses occupations du site.

La fouille d'une portion du chemin (fig.15) à proximité de l'amas A6 a révélé la présence d'un empièchement très conséquent de blocs de grès et de cailloutis et une faible quantité de scories. Ces éléments ont permis de voir dans ce chemin une voie de communication d'importance dont l'utilisation semble être postérieure à la mise en place de l'amas A6.

L'ouverture d'un sondage à proximité de l'amas A10 en 2002 et 2003 a vu la mise au jour d'une structure de chauffe rectangulaire à deux compartiments, l'un rectangulaire constituée de blocs de grès et l'autre ovale, surmonté d'une paroi d'argile cuite scoriacée (fig. 16) constituée de blocs de grès et d'une paroi d'argile cuite scoriacée. Une fouille plus approfondie de cette structure l'année suivante a révélé, au centre de la paroi scoriacée, un orifice pratiquement circulaire ayant très certainement eu un rôle dans la ventilation du foyer. La datation absolue par mesure du radiocarbone de restes de charbons présents au fond de la structure place la période d'activité au cours des XIII^{ème} et XIV^{ème} siècles.

Au nord-est de la structure, la fouille d'une zone présentant une résurgence d'eau a permis la découverte d'un ensemble de gros blocs de grès autour d'une cuvette d'argile, restes de l'aménagement d'une fontaine au point de résurgence principal (fig. 17). La fouille de cette

structure a révélé la présence de plusieurs tessons dont l'étude date l'occupation entre les XIV^{ème} et XVI^{ème} siècles.

Une concentration de blocs de grès à proximité de l'amas A1 a entraîné l'ouverture d'un sondage qui a révélé deux occupations. Dans un premier temps est apparue une petite construction moderne (après 1926) de type cabane de charbonnier. Lors de l'année suivante, l'extension du sondage a vu la mise au jour, plus en profondeur, de tessons de céramique précoce dont l'étude permet d'estimer une datation post quem d'occupation du site entre le milieu du XIII^{ème} et le milieu du XIV^{ème} siècle.

L'amas A6 (fig. 18) présente dans sa partie sud-est, un relief très abrupt alors que l'ensemble des autres dépôts de scories ont une forme de monticule. Ce relief très prononcé de l'amas A6 semble être la conséquence d'une phase de récupération des scories dans un but de remblayage de chemins ou de recyclage dans les hauts-fourneaux.

III. Etude archéobotanique

3.1. Méthodologie

3.1.1. Anthracologie

L'analyse anthracologique consiste en une étude des restes ligneux carbonisés par le biais de l'identification des essences et d'observation d'ordre dendrologique. Suivant les types de prélèvement (diffus ou localisés), elle permet d'obtenir des informations sur les paléoenvironnements et également sur les relations qui pouvaient exister entre les hommes et la végétation (Marguerie, 1992). La reconnaissance des différents taxons passe par l'étude du plan ligneux des charbons, chaque espèce produisant un type de bois particulier.

3.1.1.1. Les prélèvements anthracologiques

Pour repérer les sondages et ouvertures tests réalisés au cours des différentes campagnes de fouilles, un quadrillage recouvrant l'ensemble du site a été mis en place (fig.14). Chacun des carrés le composant a une dimension de 4 m² et est caractérisé par un code composé d'une lettre majuscule (abscisse) et d'un nombre (ordonnée).

3.1.1.1.1. LM 34-35

Cet échantillon a été prélevé au cours de la campagne 2003 dans le sondage S2. Il s'agit d'un prélèvement de masse réalisé dans la couche de couleur noire-brune avec des scories (fig. 19). Cette strate se situe juste sous le niveau d'humus. Cette localisation, en superficie de la séquence stratigraphique, laisse supposer une datation relativement récente de cet échantillon.

3.1.1.1.2. M50-min

Lors de la campagne 2002, un sondage a été ouvert à proximité de l'amas A8. Sa fouille a révélé une superposition de niveaux de sédiment rouge réagissant très fortement à l'aimant et de couches noires charbonneuses (fig. 20). Cette alternance de niveaux pourrait être le témoin du rythme des opérations successives de métallurgie. L'échantillon M50-min correspond à un prélèvement de masse réalisé dans l'une des strates rouges réagissant à l'aimant.

3.1.1.1.3. Les autres échantillons

Au cours de cette étude, une quinzaine d'autres échantillons ont été analysés. Ils correspondent généralement à un ramassage à vue des plus gros charbons par les fouilleurs. Leur emplacement dans la stratigraphie autorise de les associer à la période d'activité métallurgique du site. Six de ces échantillons sont issus du sondage réalisés dans l'amas A11 lors de l'opération de 2003. Ils ont été prélevés en différents points de la coupe. Certains ont été prélevés au niveau de l'amas A11. D'autres encore sont issus du sondage effectué dans le carré N33 ; ils se trouvaient sous la petite construction de charbonnier. Enfin, les autres lots ont été prélevés à proximité de la structure de chauffe SF1, au moment de la fouille de cette dernière.

3.1.1.2. Identification et comptage

Afin de pouvoir identifier un charbon de bois, celui-ci doit être examiné selon trois plans orientés (Marguerie & Hunot, 2007, 1992b,c) (fig. 21) :

- Le plan transversal, perpendiculaire à l'axe de la tige et portant les cernes annuels de croissance. Pour les essences à zone poreuse, chacun des cernes est composé de grands pores dans le bois de printemps (bois initial) et de plus petits dans le bois d'été (bois final). Enfin, dans ce plan, la masse ligneuse est séparée en secteurs de dimensions variables par les rayons ligneux.

- Le plan longitudinal radial passant par l'axe du tronc et permettant l'observation longitudinale des vaisseaux ainsi que la forme des rayons ligneux.

- Le plan longitudinal tangentiel, perpendiculaire aux deux précédents et coupe les rayons ligneux perpendiculairement et les vaisseaux longitudinalement. Il permet d'observer la largeur des rayons ligneux

Chacun de ces plans apporte des informations sur les éléments de la structure interne du bois (taille, forme, disposition) et dont la combinaison est caractéristique du taxon auquel appartient l'échantillon.

Bien que la carbonisation entraîne une transformation du bois, elle ne modifie que très peu sa microstructure. Les modifications subies par l'échantillon sont fonction de l'espèce, des dimensions de l'objet, des conditions physico-chimiques du sol, de l'intensité et de la dynamique du phénomène de combustion. Suite à une perte de 70 à 80 % de la substance, on peut observer des retraits longitudinaux de 7 à 13 %, et des retraits radiaux et tangentiels de 12 à 25 %. Les parois des cellules carbonisées n'ont plus, quant à elles, qu'une épaisseur comprise entre le quart et le cinquième de leur valeur d'origine (Schweingruber, 1982 et 1990).

Sur chacun des échantillons, on effectue à la main ou avec l'aide d'un scalpel, des coupes dans chacun des trois plans. Dans un premier temps, on observe le plan transversal à la loupe binoculaire (7,5 à 75 x), puis les deux plans longitudinaux sont observés à l'aide d'un microscope optique à réflexion (au grossissement 200 à 500x). L'identification se fait ensuite par la consultation d'atlas d'anatomie des bois (Schweingruber, 1982 et 1990 ; Vernet, 1992), la consultation d'une banque de données constituée de dessins, photographies et descriptions anatomiques et la comparaison anatomique avec des échantillons de référence (bois actuels carbonisés). Grâce à cette méthode rapide et simple, de nombreux échantillons peuvent être étudiés.

Bien que l'analyse anthracologique permette généralement une détermination du genre et bien souvent de l'espèce, il est à noter la difficulté de différenciation existant parmi les chênes à feuilles caduques. Pour cette raison, ces deux essences ont été rassemblées au sein d'un taxon intitulé *Quercus sp.* FC (chêne à feuilles caduques). De la même façon, un regroupement du chêne caducifolié et du châtaignier a été effectué sous le taxon *Quercus/Castanea* pour les échantillons de petites tailles ne permettant pas de les différencier par l'observation de la présence/absence de rayons multisériés.

En ce qui concerne les bois d'ajoncs (*Ulex sp.*) et de genêts (*Genista sp.* et *Cytisus sp.*), la distinction ne peut se faire que par l'observation de la hauteur et de la largeur des rayons ligneux (Marguerie & Hunot, 1992a). Dans les cas où celle-ci est impossible, ces

taxons seront regroupés sous le taxon *Genistae*. Il est à noter qu'il est difficile d'établir une identification spécifique de ces taxons.

De plus, les Pomoïdées (sous-famille des Rosacées comprenant, d'après Schweingruber en 1982, les espèces suivantes : *Amelanchier ovalis*, *Cotoneaster sp.*, *Crataegus sp.*, *Cydonia oblonga*, *Mespilus germanica*, *Pirus sp.*, *Sorbus sp.*) et le genre *Prunus* ne peuvent être que difficilement identifiés jusqu'à l'espèce. Enfin, au sein des genres *Salix* et *Populus*, les espèces ne peuvent pas être différenciées.

L'ensemble de ces résultats est récapitulé au sein de tableaux présentant l'abondance relative de chacun de ces taxons. Toutefois, à cause du biais ethnographique que peut constituer un ramassage sélectif des essences, et le faible rapport existant entre les restes charbonneux et la quantité de bois utilisée, l'aspect quantitatif de ces analyses ne pourra être pris en compte. Par conséquent, les données paléoécologiques ainsi mise en évidence reposeront uniquement sur les données écologiques actuelles caractéristiques à chacun de ces taxons.

3.1.1.3. *L'observation du plan ligneux transversal*

Pour chaque échantillon, l'identification des espèces ligneuses est complétée par un examen du plan ligneux transversal à faible grossissement à la loupe binoculaire afin d'obtenir des données d'ordre dendrologique (Marguerie & Hunot, 2007).

L'observation du rayon de courbure des cernes permet d'obtenir une estimation du calibre du bois originel selon les catégories suivantes (fig. 22) :

- Forte courbure. Dans cette classe sont placés les charbons dont les anneaux de croissance présentent une courbure très prononcée, correspondant à une structure de faible diamètre.
- Courbure intermédiaire.
- Faible courbure. Les charbons classés au sein de ce groupe présentent des courbures de cernes de fort diamètre et proviennent de troncs ou de grosses branches.
- Indéterminé. Les fragments étudiés, qui ne portent pas ou peu d'éléments permettant de voir le rayon de courbure des anneaux de croissance, sont regroupés dans cette catégorie.

La présence d'écorce ou de moelle situent les charbons au sein du tronc et des branches originels. L'observation de l'écorce permet d'effectuer une mesure du diamètre du bois à l'origine du charbon. Il ne faut toutefois pas oublier de prendre en compte la réduction de diamètre ayant lieu au cours du processus de carbonisation.

Le bois de réaction est révélé par la présence de bourrelets au niveau des parois des vaisseaux. Dans les branches ou lorsque le tronc croît de façon oblique, il se forme du bois de réaction pour empêcher une chute due au propre poids de l'arbre. Associé à l'observation de cernes à fort rayon de courbure, ce critère démontre que le charbon est originaire d'une branche.

L'observation ou non de thylls dans les pores du bois renseigne sur l'emplacement du bois à l'origine des charbons dans l'arbre. Les thylls sont des cellules parenchymateuses longitudinales ou des rayons, dont la croissance s'est effectuée au travers des ponctuations puis à l'intérieur de la lumière des vaisseaux. Lorsque leur nombre est important, une obstruction complète de la cavité peut se produire. L'observation systématique de ces structures au sein des charbons permet de situer leur origine au niveau du duramen ou bois de cœur.

L'action d'insectes xylophages peut être observée dans certains charbons. Elle se présente sous la forme de larges galeries à l'intérieure desquelles peuvent, parfois, être conservés des restes entomologiques carbonisés. La présence de telles structures est un bon indicateur d'une activité de ramassage de bois mort, mais elles peuvent également être dues à une contamination du bois avant son abattage ou lors d'une période de stockage.

Sur une coupe longitudinale, la présence de filaments blancs d'hyphes est parfois observée. Il s'agit d'hyphes de champignons qui se développent à la surface du bois mort. Cette observation nous renseigne sur l'état de dégradation du bois avant sa carbonisation.

L'observation de fentes radiales sur des charbons est très commune. Leur formation dépend de nombreux facteurs (densité et largeur des rayons, température ...) mais elles ont surtout pour origine le départ rapide de l'eau restant dans le bois lors de la montée en température. Leur forte présence révèle donc que le bois n'était pas sec au moment de sa combustion.

La vitrification de certains charbons peut être observée sous l'apparence d'un aspect luisant ou même un homogénéisation de la structure qui rend impossible toute identification. Ces états sont dus à une vitrification des charbons suite à une fusion d'une partie de leurs constituants anatomiques au cours de la chauffe. Bien que de nombreuses conditions puissent être à l'origine de ce phénomène, cette observation reste rare en-dehors de contextes

spécifiques comme le charbonnage et les incendies naturels. Une rapide combustion à haute température ou une carbonisation en milieu réducteur semble alors être les circonstances les plus propices à la mise en place du phénomène de vitrification (Théry-Parisot, 2001). Au cours de cette étude, les charbons ont été classés en deux groupes : absence de luisance et luisance.

Des traces de travail du bois peuvent être conservées sur certains charbons. Elles peuvent alors nous renseigner sur l'outil voire sur le geste de l'activité anthropique (coupe, élagage, façonnage...).

Au cours de cette étude, une mesure de la largeur des cernes a été réalisée à chaque fois que la taille des charbons était suffisante. Une telle mesure nous renseigne sur la vitesse de croissance radiale du bois et nous permet d'obtenir des informations sur les conditions de croissance des arbres. Ainsi, des cernes étroits correspondent à un développement de l'individu dans des conditions peu favorables tandis que des cernes larges témoignent d'un milieu propice à sa croissance.

3.1.2. Palynologie

La palynologie consiste en une analyse des restes sporo-polliniques contenus dans les milieux sédimentaires. Par leur identification, elle vise à la reconstitution des environnements passés, à la perception de présence humaine et à la reconnaissance des activités pratiquées par cette population.

3.1.2.1. Le sondage et le prélèvement

La zone humide, où a eu lieu le prélèvement palynologique, se trouve à environ 200 m à l'ouest du site de Trécélien, juste de l'autre côté du ruisseau (fig. 12). Après avoir estimé l'épaisseur, la texture et la stratigraphie du dépôt tourbeux en différents points de la zone humide à l'aide d'une tarière pédologique, le prélèvement de tourbe a été réalisé à l'aide d'un carottier russe de type GIK manuel (fig. 23). Ce carottier permettant d'obtenir des échantillons hémicylindriques de 60 cm de hauteur sur 5 cm de diamètre, qui sont immédiatement placés à l'intérieur de tube en PVC hermétiquement clos afin d'empêcher toute contamination par des pollens actuels.

Au laboratoire, une description de la carotte est effectuée selon des critères de couleur, texture et structure sédimentaires et de taux de matière organique (figurée ou non) afin de réaliser un profil lithostratigraphique. Un découpage minutieux de la carotte est ensuite opéré, en tranches d'un centimètre d'épaisseur. Les pourtours sont précautionneusement enlevés afin d'éviter toute contamination éventuelle par des pollens d'autres niveaux lors du prélèvement ou du passage du carottier au sein du puits de sondage. Au cours de cette opération, on procède également au retrait des macrorestes ligneux qui peuvent être présents au sein de la tourbe en prévision des différentes datations de la séquence. Au fur et à mesure du découpage, l'ensemble des objets ainsi obtenus (tourbes et macrorestes) sont placés à l'intérieur de sachets hermétiquement fermés et numérotés. Ces sachets sont alors stockés à l'abri de la lumière et de la chaleur afin d'éviter tout développement de micro-organismes pouvant entraîner une détérioration du contenu pollinique des échantillons.

Les échantillons destinés à une analyse pollinique sont prélevés tous les 5 centimètres environ et un maillage plus serré peut être opéré sur les zones de changement de sédiment ou à fortes variations polliniques.

3.1.2.2. Le traitement chimique

Afin de supprimer tous les éléments sédimentaires et pour ne conserver que les stocks polliniques, les échantillons sont soumis à un traitement physico-chimique. Il a été réalisé au Laboratoire d'Ecologie et de Paléoenvironnement Atlantiques de Nantes par L. Charrieau selon la méthode à la soude (NaOH) pour le traitement des sédiments organiques.

- Dans le but de dissoudre les éléments carbonatés, les échantillons sont placés pendant 12 heures dans une solution d'acide sulfurique à 40%.

- Après une centrifugation et un lavage à l'eau distillée, les culots sont soumis à une solution de NaOH à 10% afin de supprimer les éléments végétaux (racines et brindilles) et portés à ébullition pendant 25 minutes pour une destruction d'une majeure partie de la matière organique.

- Une nouvelle centrifugation et un rinçage sont effectués avant de tamiser le culot à 200 μm afin de retirer les dernières particules grossières de matière organique.

- Après centrifugation, les culots sont placés avec de l'acide fluorhydrique (HF) au sein d'un bécher en téflon. Le tout est alors porté à ébullition pendant 10 minutes afin de

dissoudre la silice. Suit un rinçage à l'acide chlorhydrique (HCl) à 10% pour neutralisation. Après centrifugation, le culot est déshydraté à l'acide acétique glacial (CH₃COOH).

- A la suite d'une nouvelle centrifugation, le culot est acétolysé à l'aide d'un mélange d'anhydride acétique (C₄H₆O₃) et d'acide sulfurique (H₂SO₄) pendant 5 minutes au bain-marie. Se produit alors la destruction des éventuels restes de matière organique ainsi qu'une coloration jaune-orangé des grains de pollens (incolores à l'état naturel).

Le culot subit alors une série de rinçages à l'alcool à 30% et de centrifugations avant d'être conservé dans la glycérine.

Enfin, dans le but de pouvoir réaliser des mesures de concentrations en valeurs absolues selon la méthode volumétrique (Cour, 1974), la masse sèche des échantillons et le volume des culots ont été notés en fin d'extraction. Le culot de centrifugation est ensuite dilué dans la glycérine (4 x le volume du culot) et le volume total est mesuré.

3.1.2.3. Identification et comptage

40 µl du mélange obtenu suite aux traitements chimiques sont montés entre lame et lamelle de verre et le bord de la lamelle est luté au vernis. Le comptage se fait alors à l'aide d'un microscope photonique au grossissement x 500 à immersion (parfois x1000 pour les identifications délicates). La détermination est effectuée par comparaison avec les planches photographiques de référence au laboratoire, des photographies réalisées au microscope optique ou électronique, des ouvrages de référence (Erdtman, 1954) et l'atlas photographique « Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord » (Reille, 1992). Pour les pollens d'arbres et arbustes, l'identification se fait le plus souvent au niveau du genre et parfois de l'espèce, tandis que les pollens d'herbacées sont rarement identifiables au-delà de la famille (Annexe 3). La différenciation entre les Poacés sauvages et les céréales a été effectuée à partir de données biométriques de taille supérieure à 47 µm et d'ouverture du pore aréolé supérieur à 10 µm (Chester & Ian Raine, 2001). Seuls les pollens du genre *Secale* ont pu être identifiés grâce à leur forme allongée et à leur ornementation légèrement ondulée. Les autres ont été placés dans la catégorie « *Cerealia type* ».

Parmi les spores de fougères, deux types morphologiques ont été différenciés : trilète et monolète. Les genres *Osmunda*, *Polypodium* et *Lycopodium* ont pu être identifiés.

Pour chaque échantillon, un minimum d'environ 300 grains de pollen est compté (spores exclues lorsque celles-ci étaient abondantes) et 21 taxons sont identifiés pour atteindre la

représentativité écologique (Reille, 1990). Il suffit alors d'effectuer un balayage du reste de la lame à un grossissement de 200 fois pour noter la présence de taxons rares.

3.1.2.4. La représentation pollinique des données

3.1.2.4.1 Le diagramme pollinique

Les informations obtenues sont ensuite représentées sous la forme d'un graphique réalisé à l'aide du logiciel GpalWin (Goeury, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, Marseille). Ce logiciel calcule pour chaque niveau la fréquence relative de chaque taxon à partir d'une somme de base excluant les spores, les Bryophytes et les Ptéridophytes ayant une sporulation aléatoire (Barbier, 1999). De plus, lorsqu'un taxon est présent en très forte quantité sur de nombreux niveaux, il peut être retiré de la somme de base. Ce retrait a pour objectif de fournir une meilleure lisibilité de la variation des fréquences des autres taxons. Les variations de fréquence de chacun des taxons sont alors figurées sous la forme d'une courbe. Lorsque, dans un niveau, la fréquence d'un taxon est inférieure à 1%, celle-ci est représentée par un point. En plus de ces informations, le diagramme présente une courbe figurant l'évolution des fréquences des pollens d'arbres (AP) et des pollens d'herbacées (NAP), une zonation pollinique, la lithostratigraphie du carottage, les résultats des datations radiocarbone ainsi que la courbe des concentrations en grains de pollen de chaque échantillon.

En plus de ce diagramme, la description des résultats de l'analyse pollinique s'appuie sur l'exploitation de diagrammes synthétiques où les taxons sont regroupés en fonction de leur affinité écologique, biologique ou anthropique.

3.1.2.4.2. Le diagramme en fréquence pollinique absolue

Afin d'évaluer la richesse du sédiment en pollen, il est possible de calculer les concentrations absolues en pollen de chaque échantillon. Cette étape permet de s'affranchir des fluctuations des fréquences relatives qui peuvent être dues à la variation importante d'un seul taxon (Leroyer 1997). Pour pouvoir utiliser ces valeurs, il faut raisonner sur des unités stratigraphiques homogènes (nature et vitesse de sédimentation semblables). Le nombre de grains de pollen contenus dans un gramme de sédiment sec (N) est alors calculé selon la méthode volumétrique en utilisant l'équation suivante :

$$N = \frac{n \times (V/v)}{P}$$

P : poids sec de sédiment traité (en g)

v : volume du culot déposé entre lame et lamelle (en μ l)

V : volume total du culot résiduel après extraction (en μ l)

n : nombres de grains de pollen contenu dans le volume du culot déposé sur la lame

Les courbes de variation des fréquences polliniques absolues des taxons les mieux représentés sont figurées sous forme de diagramme. Il est alors possible d'évaluer la contribution de chacun de ces taxons à la somme pollinique.

3.1.2.4.3. Le diagramme société/végétation

Comme il a été montré, l'action que l'homme a sur le milieu peut se traduire de multiples façons au sein du diagramme pollinique et « un seul indicateur anthropique ne permet pas de conclure au développement local d'activités humaines et seule la concomitance de plusieurs signaux est significative » (Galop, 1998). Aussi, pour avoir une meilleure vision de l'ensemble de ces indices d'anthropisation, des diagrammes synthétiques sont réalisés. Le diagramme société/végétation est l'un d'eux. Il a été mis au point par D. Barbier, sur les conseils de J. Burnouf, lors de ses travaux sur le nord-mayennais (Barbier, 1999).

Ce diagramme se compose de deux parties dédoublées par un axe central. Celle de droite correspond à la représentation des fréquences cumulées de différents ensembles écologiques, calculées sur la somme totale des grains de pollen comptés. La moitié gauche représente ces mêmes ensembles mais leurs fréquences ont été déterminées par rapport à la somme de base des pollens comptés à laquelle a été retranché le total des grains de pollen des taxons locaux. Pour cette étude, les taxons locaux retirés sont *Alnus*, *Salix*, *Cyperaceae* et *Frangula alnus*.

Pour réaliser ce diagramme, sept groupements écologiques ont été réalisés. Ils s'agencent de l'axe centrale du diagramme jusqu'à sa périphérie dans l'ordre suivant.

Au centre, se trouvent les céréales (*Cerealia type* et *Secale*) qui sont les taxons cultivés les mieux représentés. Vient ensuite le groupe constitué des autres espèces cultivées (*Fagopyrum*, *Castanea*, *Juglans* et *Cannabis/Humulus*). La courbe suivante figure l'évolution

de l'ensemble des taxons à caractère adventif, c'est-à-dire ceux qui croissent au sein d'une culture. Dans le cadre de cette étude, les genres *Rumex* et *Centaurea* forment cette catégorie.

Les taxons qui se développent sur les sols enrichis en azote sont réunis dans le groupement des rudérales. Il s'agit de l'ensemble suivant : *Plantago*, *Convolvulus arvensis*, *Polygonum aviculare*, Brassicacées, Chénopodiacées, Caryophyllacées, *Artemisia*, Astéracées, Cichoroidées, Apiacées, Renonculacées, *Potentilla* et *Trifolium* type.

La courbe des Graminées vient ensuite, suivie de celle figurant le couvert forestier. Cette dernière est le fruit du regroupement du chêne, du hêtre, du tilleul, de l'orme, du charme, de l'érable et du frêne, mais également des petits ligneux que sont le houx, le gui, le lierre et le chèvrefeuille. Afin de différencier le milieu forestier fermé de celui plus ouvert, *Corylus* et *Betula* ont été réunis pour former l'ensemble des ligneux héliophiles représenté ensuite.

L'avant-dernier groupe se compose des Ericacées (*Erica* et *Calluna*) et permet de faire figurer sur le diagramme les végétations de type lande. Enfin, dans la moitié droite de la figure, se trouve représentée sous l'intitulé d'aulnaie-saulaie la végétation ligneuse hygrophile locale. Dans cette représentation, elle est composée de *Salix*, *Alnus*, *Frangula alnus* et *Myrica gale*.

3.1.2.5. L'interprétation du diagramme pollinique classique

3.1.2.5.1 La zonation des séquence polliniques

Pour réaliser ce découpage, il convient tout d'abord d'individualiser des séquences, qui correspondent à un regroupement d'échantillons adjacents au sein desquels au moins deux taxons présentent des variations significatives (qualitatives ou quantitatives). Ces taxons doivent être des marqueurs d'un point de vue écologique ou dynamique (Cushing, 1963 ; Leroyer, 1997). Ces limites peuvent être établies sur l'apparition ou le développement de nouvelles espèces et sont désignées par des lettres (a, b, c...).

Il convient ensuite de rassembler ces *zones d'assemblage pollinique* au sein de phases écologiques de façon à mieux comprendre l'évolution des principales formations végétales. Ces phases écologiques sont désignées par les trois premières lettres du nom du site suivies d'un chiffre romain.

Enfin, la stratigraphie est généralement replacée au sein de la chronologie climatique régionale (Morzadec-Kerfourn, 1974) établie sur la base des chronozones définies par Godwin (1940) selon des critères écologiques et des datations radiocarbone.

3.1.2.5.2 L'interprétation paléo-écologique

Elle se fonde sur les exigences actuelles des plantes vis-à-vis des conditions environnementales abiotiques, comme la disponibilité en eau (hydrophyte ou xérophyte), la température (thermophyte ou mésophyte), la lumière (héliophyte ou sciaphyte)... En se basant sur ces données, il est alors possible de réunir les taxons identifiés au cours de l'analyse. Il se dégage alors un groupe composé des taxons ligneux et herbacés inféodés aux zones humides. Les arbres au caractère héliophile témoignent, de part leur besoin de lumière, d'un milieu plutôt ouvert, tandis que d'autres taxons arborescents ou arbustifs ont une préférence pour les milieux moins ensoleillés. Leur présence traduira alors une végétation plus fermée de type forestier.

Il est toutefois à noter que ces interprétations paléoécologiques se voient restreintes par les limites de la palynologie. Ainsi, lors de l'analyse, l'identification des taxons ne se fait souvent que jusqu'à la famille pour les herbacées et, si le rang du genre peut être atteint pour les ligneux, celui de l'espèce reste assez exceptionnel pour l'ensemble des végétaux. Or, au sein d'un même groupe taxinomique comme le genre, et plus encore la famille, les espèces présentes ne répondent pas à des exigences écologiques similaires et il n'est alors pas possible de tirer des informations d'ordre paléoécologique de leur présence. C'est le cas, par exemple, de la famille des Poacées, dont les différentes espèces ont colonisé les milieux les plus variés, de la prairie à la forêt et des bords d'étang aux plaines arides.

L'autre limite que connaît l'interprétation paléoécologique est la large amplitude écologique que possèdent certains taxons. Ainsi, le noisetier, dont l'identification atteint le rang de l'espèce, peut être interprété, à cause de son caractère héliophile, comme représentatif d'un milieu ouvert. Mais sa forte amplitude vis-à-vis des conditions hydriques lui permet de prendre part à la formation d'une végétation plus fermée de type ripisylve où peuvent croître le chêne, le tilleul, le charme...

3.1.2.6. Mise en évidence palynologique des activités humaines

Si la palynologie a pour objectif de retracer l'évolution naturelle de la végétation quelles que soient les périodes considérées, elle cherche aussi à visualiser et identifier les influences humaines sur le couvert végétal entre le Néolithique et l'actuel. Afin de percevoir ce signal, de nombreux travaux ont été réalisés (Behre, 1981 ;...). Ils ont conduit à la mise en place de différents indices d'anthropisation.

L'un des principaux est l'évolution des espèces ligneuses. En effet, une chute brutale des taux de pollen d'arbre correspond généralement à une phase de défrichement. Il est cependant nécessaire de confirmer l'évolution des fréquences relatives de ces taxons en observant les variations des concentrations absolues. Cette étape permet d'écarter l'hypothèse d'une sous-représentation des ligneux en fréquence relative suite à une hausse des végétaux hygrophiles ou à une dégradation des pollens les moins résistants. En plus de l'observation des variations quantitatives de l'ensemble des pollens d'arbre, il convient de s'intéresser à l'évolution des fréquences de chacune de ces essences. En effet, l'apparition ou le développement de taxons héliophiles peut engendrer un maintien voire une hausse des taux de pollen d'arbres globaux qui masquera une ouverture du milieu par ailleurs signalée par leur évolution propre.

Les espèces herbacées peuvent, elles aussi, apporter des informations sur les activités humaines et leur influence sur la végétation. Les différents travaux menés dans ce domaine ont conduit à la création de 7 groupes écologiques (fig. 24 ; Behre, 1981). Les deux premiers de ces groupes sont formés des plantes cultivées et des adventices. Les céréales constituent, en effet, le témoin indiscutable d'une présence humaine. Toutefois, la faible dissémination de ces végétaux les rend extrêmement peu perceptibles au-delà de la centaine de mètres. C'est pourquoi leur absence au sein d'un diagramme pollinique ne permet pas de conclure à l'absence d'activités agricoles. Les autres espèces cultivées (Brassicacées, Fabacées ...) présente une possibilité de détection extrêmement limitée par la difficulté à réaliser leur identification spécifique en palynologie. Les quatre groupes suivant correspondent aux zones de pâture et de friches. Leur différenciation apparaît rapidement difficile à réaliser lors d'une étude palynologique. Ces groupes ne diffèrent, en effet, presque uniquement que dans les proportions des taxons qui les composent. Enfin, se trouve le groupe des plantes rudérales. Il correspond principalement aux Chénopodiacées, Urticacées et *Artemisia vulgare*, taxons qui croissent dans les milieux enrichis en azote (bords de chemin, décombres...).

Cependant, lors de l'interprétation du diagramme pollinique, il faut prendre en compte le fait qu'une grande partie des taxons constitutifs de ces regroupements écologiques peuvent également être présents dans un milieu non anthropisé. C'est pourquoi, en résumé, seule la concomitance de plusieurs signaux est significative. La présence d'un seul indicateur anthropique ne permet pas de conclure au développement local d'activités humaines (Galop, 1998).

3.1.3. Complémentarité des résultats anthracologiques et palynologiques

Les données issues d'une analyse pollinique, tout comme celles fournies par une étude anthracologique, ont pour objectif de parvenir à une reconstitution d'une végétation passée. Mais chacune de ces méthodes possède ses propres limites et ses points forts

Une étude anthracologique réalisée, comme ici, sur des charbons retrouvés en contexte archéologique, permet d'obtenir des informations ponctuelles sur la végétation ligneuse située, le plus souvent, à proximité immédiate du site. Outre sa composition, il est possible d'obtenir des renseignements sur son état, son exploitation et la gestion du combustible par l'homme. Toutefois, dans une étude portant, comme c'est ici le cas, sur des charbons issus d'une pratique artisanale, l'étude des spectres anthracologiques ne pourra fournir que des données de types qualitatives en terme de paléoenvironnement. En effet, l'hypothèse d'une coupe sélective des essences pour alimenter les fours ne peut être rejetée. L'analyse des résultats se fera donc, avant tout, d'un point de vue ethnobotanique.

De plus, il est important de noter qu'une partie des charbons analysés n'ont pas fait l'objet d'un tamisage mais ont été récupérés à vue par les fouilleurs, qui ciblaient leur collecte sur les plus gros uniquement.

La palynologie extra-site permet, quant à elle, d'obtenir une vision continue de l'évolution de la végétation régionale sous l'influence de facteurs environnementaux et anthropiques. Elle est acquise à partir de la lecture d'un enregistrement sédimentaire. Cet enregistrement, contrairement à celui de l'anthracologie, n'est pas soumis à un filtre ethnographique au cours de son enregistrement et permet une reconstitution assez fidèle de la végétation.

Dans cette approche, les activités humaines ne sont pas lisibles directement, mais doivent être perçues par la détection de leurs conséquences sur la végétation, comme un défrichement ou le développement des adventices.

L'association de ces deux analyses permet de passer outre les limites propres à chacune de ces méthodes. Il nous sera donc possible d'obtenir par la palynologie une représentation assez fidèle de l'environnement, alors que l'antracologie nous fournira des informations sur les relations entre hommes et végétation qui s'y déroulaient.

3.2. Résultats

3.2.1. Antracologie

3.2.1.1. Les échantillons médiévaux

3.2.1.1.1. Données et analyses

Nom espèce	M50-min		Divers métallurgie	
	Effectifs	%	Effectifs	%
<i>Acer sp.</i>	0	0.00	6	2.82
<i>Betula</i>	32	10.67	26	12.21
<i>Carpinus betulus</i>	10	3.33	46	21.60
<i>Corylus avellana</i>	0	0.00	8	3.76
écorce	2	0.67	3	1.41
<i>Fagus sylvatica</i>	39	13.00	49	23.00
Indéterminé	32	10.67	4	1.88
Pomoïdées	1	0.33	0	0.00
<i>Prunus sp.</i>	16	5.33	1	0.47
<i>Quercus sp.</i>	167	55.67	61	28.64
<i>Quercus/Castanea</i>	0	0.00	9	4.23
<i>Salix sp.</i>	1	0.33	0	0.00
Total	300		213	

Tableau 1. Effectifs et fréquences relatives des différents taxons présents dans l'échantillon M50-min et dans l'ensemble des autres échantillons associés à la période médiévale.

Le lot M50-min a permis d'étudier 300 charbons d'une taille supérieure à 2 mm (tab.1). Cette analyse a révélé la présence d'un faible nombre de taxons (7) et une forte dominance du chêne. De tels résultats ne permettent pas d'envisager une analyse quantitative des données à cause du peu de représentativité due au faible nombre de taxons identifiés en comparaison du nombre d'essences qu'il est possible de rencontrer à proximité du site et de sa nature artisanale. Toutefois, une analyse d'ordre qualitative des résultats est envisageable.

Au sein de cet échantillon, plusieurs fragments n'ont pas pu être identifiés, car présentant une très forte vitrification déstructurant totalement les éléments anatomiques. De plus, dans cette catégorie ont été classés un bourgeon et un fragment de feuille carbonisés.

L'ensemble « divers métallurgie » (tab.1) correspond à un regroupement de divers charbons issus d'une collecte à vue lors de la fouille des structures liées à l'activité métallurgique. Une partie de ces échantillons avait été analysée par Nancy Marcoux en 2004. Leur étude a également permis l'identification de 7 taxons différents. A cause de ce faible nombre et du mode de prélèvement, il ne sera pas non plus possible de réaliser une analyse d'ordre quantitative de ces résultats.

3.2.1.1.2. Interprétation

Interprétation paléoécologique

Les données autécologiques

L'ensemble de ces échantillons étant contemporain de l'activité métallurgique et présentant une forte similarité dans leur composition taxinomique, il a été décidé de les regrouper pour l'interprétation paléo-écologique. Les données autécologiques suivantes sont tirées de la flore forestière de J.-C. Rameau (1989).

Dans ces échantillons, le taxons *Quercus sp.* comprend tout aussi bien *Quercus robur* que *Quercus petraea*. Le premier est un héliophyte se développant sur des milieux moyennement humides à humides. Il prend place dans les formations boisées, les friches et les haies. La seconde espèce, *Quercus petraea*, se développe préférentiellement dans les espaces un peu plus ombragés et aux conditions hydriques moindres. Contrairement au chêne pédonculé, il n'est possible de le rencontrer qu'au sein de formations boisées.

La forte similitude anatomique existant entre le bois de chêne et de châtaigner n'a pas permis d'identifier avec certitude certains petits charbons. La présence de *Castanea sativa* est ainsi possible. C'est une espèce héliophile ou de demi-ombre présentant un développement optimum en condition mésophile. Il compose la végétation des fruticées, bois, haies et accrus.

Le hêtre, *Fagus sylvatica*, est une espèce sciaphile. Bien que craignant l'hydromorphie, cette essence a besoin d'une pluviométrie supérieure à 750 mm par an pour pouvoir se développer. Elle est présente dans les haies et les forêts.

Le charme (*Carpinus betulus*) est, quant à lui, une espèce qui affectionne les milieux assez peu lumineux d'ombre ou demi-ombre et où les sols peuvent varier de sec à frais. Il prend place au sein des formations boisées, des haies et des accrus.

Dans la zone d'étude, le taxon *Betula* correspond à deux espèces : *Betula pendula* et *Betula pubescent*. Ces deux taxons ont un caractère héliophile et se développent préférentiellement en milieu humide. Toutefois, ces deux taxons ne correspondent pas au même milieu. Le premier prend place au sein de forêts claires et de landes tandis que le second se développe plutôt en zone humide, dans les marais et sur les bords d'étang.

Dans le massif de Paimpont, *Salix sp.* peut être associé à six espèces différentes de saule : *Salix alba*, *Salix atrocinerea*, *Salix aurita*, *Salix caprea*, *Salix fragilis* et *Salix viminalis*. L'ensemble de ces espèces ont en commun un caractère héliophile et une affinité pour les milieux humides. Ils prennent donc place au sein de formations végétales relativement ouvertes situées en zones humides comme les bords d'eau, les tourbières et les bois frais.

Prunus sp. correspond indifféremment à *Prunus avium* et *Prunus spinosa*. Le premier (le merisier) est une espèce de demi-ombre qui se rencontre dans la végétation des sous-bois et dans les haies. Le prunellier est une essence à caractère plus héliophile et au besoin hydrologique plus faible. Son caractère pionnier lui fait prendre place au sein des haies, lisières forestières et friches, mais il est également possible de le rencontrer dans des bois clairs.

Le genre *Acer* ne peut ici correspondre qu'à une seule espèce : *Acer campestre*. Elle est présente dans des milieux ouverts, comme les lisières forestières et les forêts ouvertes, et dont les sols sont relativement secs.

Le noisetier (*Corylus avellana*) est une espèce ayant besoin de peu de luminosité ce qui lui permet de croître dans les zones d'ombre et de demi-ombre. On le rencontre dans des biotopes variés comme les fruticées, les bois, les haies et les accrus.

Enfin, le taxon Pomoïdées regroupe cinq espèces : *Malus sylvestris*, *Pyrus cordata*, *Pyrus pyraster*, *Sorbus aucuparia* et *Sorbus terminalis*. Si leurs exigences vis-à-vis des teneurs en base du sol diffèrent, ces espèces possèdent toutes une affinité pour les milieux ouverts. Leur présence peut donc être associée aux biotopes suivants : bois clairs, friches, lisières et fruticées.

L'ensemble de ces données autécologiques permettent de montrer l'existence de formations végétales variées comme lieu d'approvisionnement en bois. Il devait exister des formations boisées ouvertes de type saulaie ou forêt ripicole dans lesquelles croissaient des espèces comme le saule et le bouleau (formation du type *Alno-padion*). En d'autres endroits, une végétation plus dense devait se développer avec le hêtre, le chêne sessile et les autres taxons à tendance sciaphile. La présence du charme dans cet échantillon permet de qualifier cette formation boisée de forêt collinéenne de type *Carpinion betuli*. Enfin, la collecte du bois devait être également effectuée au sein d'une formation de type fruticée ou friche (type *Prunetelia spinosae*) où se développaient des essences pionnières comme les saules et le prunellier.

Les données dendrologiques

La figure 25 présente la distribution des largeurs moyennes de cernes de chêne par classe de 0,2 mm. Seuls les charbons présentant des cernes à croissance régulière et à courbure faible et intermédiaire ont été pris en compte : au total de 49 charbons.

Sur cet histogramme, on peut observer une distribution normale avec un mode centré sur la valeur 0,6 mm. Cette répartition indique que l'ensemble des charbons de chêne étudiés provient soit d'un seul arbre, soit d'une aire de collecte dans laquelle l'ensemble des individus sont soumis aux mêmes contraintes environnementales.

La figure 26 présente les largeurs moyennes des cernes calculées pour 63 sites situés en Bretagne et dans les Pays de la Loire. Ils sont datés de l'Âge du Fer jusqu'à l'époque moderne. Sur ce graphique, on peut voir une augmentation de cette largeur moyenne jusqu'à la période gallo-romaine, puis la tendance s'inverse.

Avec une moyenne de 0,74 mm, le site de Trécélien est celui présentant les plus faibles valeurs du graphique. Une moyenne aussi faible reflète la présence de conditions locales limitant le développement des arbres. L'un des facteurs pouvant expliquer cette faible

croissance est la présence d'une forte compétitivité dans un milieu forestier très fermé, dans lequel peut croître le chêne.

Les activités anthropiques

Même si, pour l'ensemble des échantillons associés à la période d'activité métallurgique, une étude du plan ligneux a été réalisée, nous ne nous intéresserons ici qu'à l'échantillon M50, qui est le seul de ces échantillons à avoir été prélevé en masse. Inclure les autres lots dans cette analyse risquerait d'introduire un biais du fait de leur collecte à vue par les fouilleurs.

La richesse taxonomique

Le faible nombre de taxons au sein de l'échantillon M50 (tab.1 & fig.27) permet de penser que le bois utilisé au cours de la période d'activité métallurgique sur le site de Trécélien a fait l'objet d'une sélection. Les espèces arborescentes comme le chêne et le hêtre y sont majoritaires. Elles ont donc dû être choisies préférentiellement aux essences arbustives telles que le saule ou l'aulne.

L'origine des bois dans l'arbre

La figure 28 montre que les bois sur lesquels il a été possible de réaliser une estimation de la courbure des cernes présentent surtout des courbures faibles et intermédiaires. Cette répartition témoigne sans doute d'une utilisation de morceaux de bois issus du tronc ou de grosses branches. La présence d'un faible nombre de charbons présentant du bois de réaction (5 sur 300 charbons analysés) tend à montrer une origine se situant plus au niveau du tronc que de la ramure.

L'état du bois

La répartition des bois présentant des indices de dégradation (galeries d'insecte et hyphes de champignons) n'est pas homogène entre les différents taxons (fig.29). Les forts pourcentages présents au sein des taxons *Betula*, *Carpinus* et Pomoïdées permettent de poser l'hypothèse d'une activité de ramassage de bois mort. Par contre les taux faibles et relativement similaires observés pour *Quercus* et *Fagus* qui sont les deux taxons principaux, peuvent avoir pour origine une contamination ayant eu lieu durant la période de séchage. Pendant celle-ci, les insectes s'attaquent indifféremment aux morceaux de bois.

La combustion

Sur la figure 30, il est possible de voir que près de 50% des charbons analysés présentent un aspect luisant dû à un phénomène de vitrification. La présence d'une telle quantité de ces charbons peut être la conséquence d'une activité de charbonnage.

Sur cette même figure, il est possible de voir qu'un faible nombre de charbons présente des fentes de retrait (environ 13%). De plus, la majorité de ces charbons sont du chêne ou du hêtre dont les larges rayons ligneux favorisent la création de fentes. C'est pour ces deux raisons qu'il est possible de penser que le bois utilisé comme combustible ou pour le charbonnage n'est pas du bois vert utilisé juste après l'abattage mais a été mis à sécher.

3.2.1.2. LM 34-35

3.2.1.2.1. Données et analyses

Nom espèce	Effectifs	%
<i>Alnus sp.</i>	2	0.54
<i>Betula</i>	64	17.44
<i>Carpinus betulus</i>	115	31.34
<i>Corylus avellana</i>	3	0.82
<i>Fagus sylvatica</i>	132	35.97
<i>Frangula alnus</i>	1	0.27
<i>Fraxinus sp.</i>	2	0.54
Indéterminé	13	3.54
<i>Prunus sp.</i>	4	1.09
<i>Quercus sp.</i>	17	4.63
<i>Salix sp.</i>	14	3.81
Total	367	

Tableau 2. Effectifs et fréquences relatives des différents taxons identifiés au sein de l'échantillons LM 34-35.

L'analyse de l'échantillon LM 34-35 a permis l'identification de 10 taxons dont 7 sont communs avec les échantillons attribués à la période médiévale. Comme pour les échantillons de l'époque médiévale, ce faible nombre et la nature du site ne permettent pas de réaliser une étude quantitative des données paléoenvironnementales. Par contre, les données obtenues seront analysées et interprétées d'un point de vue qualitatif.

Dans cet échantillon, une partie des charbons n'ont pas pu être identifiés, ayant perdu leur structure anatomique suite à un processus de vitrification.

3.2.1.2.2. Interprétation

Interprétation paléoécologique

Les données autécologiques

Les caractéristiques écologiques des taxons suivants ont été décrites plus haut : *Betula*, *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Prunus sp.*, *Quercus sp.* et *Salix sp.*

En plus de ces essences, l'analyse a révélé la présence de l'aulne. C'est une espèce héliophile pionnière colonisant préférentiellement les lieux humides. On le retrouve dans des biotopes tels que les bords d'eau, les bois humides et les zones de suintements.

La bourdaine est également une espèce héliophile. Elle se développe au sein de biotope relativement ouvert comme les haies, les lisières forestières et les bois clairs. Son comportement pionnier et son affinité pour l'eau permettent de la rencontrer également dans les prairies humides.

En Bretagne, le genre *Fraxinus* n'est représenté que par une seule espèce : *Fraxinus excelsior*. C'est une essence héliophile ou de demi-ombre. Il est présent au sein de nombreuses formations végétales comme les bois frais, les bords d'eau, les versants ombragés et les accrus.

Le recoupement de l'ensemble de ces caractères autécologiques permet de penser que l'activité de collecte de bois se déroulait dans plusieurs écosystèmes semblables à ceux attestés pour la période médiévale. Elle devait avoir lieu dans des formations ouvertes de type saulaie ou forêt ripicole dans lesquelles croissaient des espèces comme l'aulne et le frêne (formation du type *Alno-padion*). En d'autres endroits, une végétation plus dense devait se développer avec le hêtre, le chêne sessile et les autres taxons à tendance sciaphile. La présence du charme dans cet échantillon permet de qualifier cette formation boisée de forêt collinéenne de type *Carpinion betuli*. Enfin, la collecte du bois devait être également effectuée au sein d'une formation de type fruticée ou friche (type *Prunetelia spinosae*) où se développaient des essences pionnières comme les saules et le prunellier.

Les données dendrologiques

N'ayant pas rencontré suffisamment de charbons présentant les conditions nécessaires à la mesure des largeurs de cernes pour cet échantillon (seulement 1 pour le chêne et 8 charbons de hêtre présentant un total 27 cernes), il s'est avéré impossible de réaliser une étude de la répartition de la largeur moyenne des cernes par charbon, ainsi que de calculer une moyenne de la largeur de croissance des cernes.

Les activités anthropiques

La diversité taxonomique

La faible diversité taxonomique obtenue lors de l'analyse de cet échantillon (10 taxons seulement) permet de penser qu'il y a eu un processus de sélection des essences utilisées (tab. 2 & fig. 31). L'échantillon ne contenant pas de lianes ni d'arbrisseaux, il est possible de penser que cette sélection devait favoriser les essences arborescentes et arbustives.

L'origine des bois

La figure 32 montre une répartition des courbures des cernes se répartissent essentiellement entre les catégories forte et intermédiaire. Une telle répartition permet de dire que les bois utilisés provenaient de branches ou de petits troncs.

La combustion

Plus de 17% de charbons présentent un aspect luisant (fig. 33). Le phénomène de vitrification à l'origine de telles observations étant très rare en contexte de foyers domestiques, on peut penser que le processus de carbonisation a dû se produire lors d'une opération de charbonnage.

Une faible quantité de charbon présente des fentes de retrait (13%). De plus, comme ces observations se répartissent surtout entre *Fagus sylvatica* et *Carpinus betulus* (taxons présentant des zones de diminution de résistance mécanique au niveau des rayons multisériés et des faux rayons), il semble que le bois utilisé a connu une période de séchage avant son utilisation pour le charbonnage.

Au cours de cette étude, des indices de dégradation ont été observés sur certains charbons au travers de la présence de galeries d'insecte ou d'hyphes (fig. 34). Cette

dégradation peut avoir eu lieu durant la période de séchage du bois. Toutefois, si la contamination s'était produite uniquement lors de la période de stockage, elle aurait affecté indifféremment l'ensemble des taxons. C'est pourquoi les variations observées dans les fréquences des galeries et les hyphes entre les différentes espèces laissent penser à la possibilité d'une collecte de bois mort.

3.2.2. Palynologie

3.2.2.1. *Résultats*

3.2.2.1.1. La litho-stratigraphie

La litho-stratigraphie du carottage réalisé pour cette étude s'organise de haut en bas de la façon suivante (fig.35):

0 – 7 cm : tourbe blonde présentant de nombreux éléments végétaux en cours de décomposition (sphaignes, herbacées, ligneux).

7 – 13 cm : tourbe noire avec quelques éléments herbacés.

13 – 27 cm : tourbe marron clair comportant des éléments herbacés et racinaires aisément reconnaissables.

27 – 50 cm : tourbe de couleur marron foncé avec quelques éléments herbacés.

50 – 70 cm : tourbe noire argileuse présentant des éléments ligneux et herbacés relativement bien conservés.

70 – 86 cm : tourbe noire limoneuse avec éléments ligneux et herbacés.

86 – 94 cm : tourbe noire très compacte très pauvre en éléments végétaux identifiables.

94 – 141 cm : tourbe marron foncé avec éléments herbacés et ligneux.

141 – 158 cm : tourbe noire avec éléments herbacés bien conservés.

158 – 167 cm : tourbe marron légèrement limoneuse avec des éléments herbacés bien conservés.

167 – 180 cm : couche argilo-limoneuse grisâtre.

La relative homogénéité présente tout au long de la séquence tourbeuse tend à montrer l'existence d'une certaine stabilité dans le processus sédimentaire, ce qui diminue les risques d'un hiatus au sein de la séquence.

3.2.2.1.2. Les datations radiocarbone

Pour réaliser cette étude, deux échantillons ligneux présents au sein du carottage ont été envoyés au laboratoire de Lyon pour une datation au radiocarbone.

Référence	Niveau de l'échantillon	Âge conventionnel (BP)	Âge calibré à 2 σ (95%)
Ly-13867	-59 -57	510 \pm 55	1310 – 1454 AD
Ly-3715(GrA)	-164 -165	1925 \pm 30	5 - 131 AD

Tableau 3 : Résultats des datations radiocarbone obtenus sur les échantillons ligneux présents au sein du prélèvement palynologique.

3.2.2.1.3. Les fréquences absolues

Au cours de cette étude, les concentrations en pollens des niveaux 170 et 175 n'ont pu être calculées. Ces échantillons étant de nature minérale, la totalité de chaque échantillon a été utilisée au cours de la phase d'extraction du contenu sporo-pollinique. Il n'a alors pas été possible de mesurer leur taux d'humidité pour calculer les concentrations polliniques. Par contre, ce calcul a pu être réalisé pour l'ensemble des autres niveaux étudiés et apporte des résultats permettant de nuancer les interprétations tirées de l'étude du diagramme en fréquences relatives.

Les concentrations polliniques des différents échantillons varient entre 30.346 et 7.127.360 grains de pollens par gramme de sédiment sec. L'étude de la courbe présentant leur évolution (fig. 35) permet de distinguer, de bas en haut de la séquence étudiée, six phases de variations de ces concentrations, qui ne semblent pas liés à la nature du sédiment mais plutôt à la structure de la végétation.

Du niveau 165 jusqu'au niveau 145, les concentrations sporo-polliniques sont inférieures à 3 millions de grains par gramme de matière sèche et suivent une légère tendance à l'accroissement. Les variations observées sur la courbe des concentrations totales s'expliquent surtout par celles de la courbe d'*Alnus* (fig. 37).

Entre les niveaux 145 et 127, les concentrations ont une valeur supérieure à 3 millions et dépassent même les 7 millions de grains de pollens par gramme de matière sèche à 130 cm de profondeur. Ces variations s'expliquent par une augmentation des concentrations d'une

majorité des taxons, qu'ils soient ligneux ou herbacés. Toutefois, il est à noter que cette variation positive n'est pas visible sur le graphe des fréquences relatives pour tous les taxons. Ainsi, sur le diagramme pollinique, il est possible de voir la courbe des taxons herbacés suivre cette dynamique, alors que pour les espèces ligneuses, à l'exception de *Betula*, la représentation des fréquences relatives est décroissante. Cette inversion des comportements d'une majorité de graphes de taxons ligneux indique une hausse des concentrations d'herbacées proportionnellement plus importante que celle que connaissent les espèces arborescentes.

La troisième phase prend place entre 127 et 104 cm. Elle se caractérise par des concentrations fluctuant autour de 2 millions de grains par gramme. Là encore, *Alnus* est le principal contributeur aux valeurs des concentrations. Contrairement à la séquence précédente, les courbes des fréquences absolues et relatives des différents taxons suivent les mêmes trajectoires.

Dans les niveaux 102 à 96, il se produit une forte hausse des concentrations polliniques. Comme le montre la figure 37, elle est due à un pic de production pollinique de l'ensemble des taxons arborescents alors que les productions des espèces herbacées marquent un plateau relativement stable. Une légère diminution de la fréquence de *Betula* est visible au niveau 102 ; elle correspond en fait à une sous-représentation de ce taxon, dont la production pollinique reste stable alors que celle des autres taxons augmente. De la même façon, il est possible de voir au niveau supérieur une baisse des fréquences relatives de plusieurs taxons (*Alnus*, *Quercus*, *Poaceae*...) à leur niveau parfois le plus bas. Elle a bien plus pour explication la forte hausse de la fréquence de *Betula*, que la baisse de leurs propres concentrations. Ces dernières ne font que retrouver des valeurs un peu plus faibles que celles de leurs niveaux précédents.

Entre 90 et 16 cm de profondeur, la courbe des concentrations suit une tendance à la décroissance pour atteindre finalement son niveau la plus faible : 30.346 grains /g de matière sèche. Les fréquences des pollens d'arbres suivent cette tendance, alors que celles des taxons herbacés présentent des phases d'accroissement. Ainsi, la courbe des Cypéracées est marquée par deux pics situés respectivement aux alentours de 80 et 40 cm de profondeur.

Enfin, la dernière phase se situe dans les 16 cm supérieurs. Elle est caractérisée par une remontée de la concentration. Elle est le fait d'une forte hausse des fréquences absolues des Ericacées et des Poacées, ainsi que de celle de *Quercus* dans une moindre mesure. Cette dernière n'est pas visible sur le diagramme pollinique.

Même si quelques différences, sur lesquelles nous reviendront ultérieurement, peuvent être observées entre les représentations des concentrations absolues et relatives, la comparaison de ces deux courbes confirme les grandes variations de la végétation : phases de déboisement, reconquête forestière.

3.2.2.1.4. Les zones d'assemblages polliniques

La présence d'un très fort taux d'*Alnus* à de nombreux niveaux, nous a conduit à retirer ce taxon de la somme de base afin d'obtenir une meilleure lisibilité des variations de l'ensemble des taxons. Sur le diagramme pollinique ainsi obtenu, une très nette réduction du couvert forestier est visible (fig. 35 & 36). Neuf zones d'assemblage pollinique ont été établies au cours de cette évolution.

La zone a (-180 à -167 cm) correspond au niveau lithostratigraphique argileux situé au fond du prélèvement. Avec près de 95% de pollen d'arbres, elle présente un milieu très fermé où domine le noisetier (*Corylus* : 50%) et dans une moindre mesure le bouleau (*Betula* : 30%). Le chêne (*Quercus*) et l'aulne (*Alnus*) sont également présents mais de façon plus réduite, leur fréquence ne dépassant pas les 10%. Les herbacées sont presque absentes avec une fréquence d'environ 5%.

La zone b (-167 à -158 cm) est en concordance avec le niveau de tourbe marron légèrement limoneux. Elle se caractérise par un fort accroissement d'*Alnus* dont la fréquence passe de moins de 10 à plus de 50%. Au cours de cette période, *Quercus* connaît également une phase de développement passant de 10 à 30%, *Hedera* se développe légèrement, et le tilleul et l'orme (*Tilia* et *Ulmus*) apparaissent, alors que la fréquence de *Betula* chute de façon importante (passage de 30 à 10%) et que celle de *Corylus* amorce une baisse plus légère. Les herbacées sont un peu plus présentes grâce, notamment, aux *Cyperaceae* qui s'installent durablement et à la présence d'un pic des Poacées au début de la séquence.

La zone c (-158 à -141 cm) correspond à la couche de tourbe noire. Durant cette phase, la végétation ligneuse est encore une fois très dense et est dominée par l'aulne, qui atteint ici son plus haut niveau de la séquence avec près de 75%. *Quercus* et *Corylus*, avec des fréquences oscillant entre 30 et 40%, sont les deux autres composantes principales de la strate arborescente. *Betula* et *Tilia* se maintiennent à de faible niveau tandis qu'*Ulmus* et *Hedera*

régressent. Au niveau de la strate herbacée, les Cypéracées se maintiennent et connaissent même un léger essor en fin de zone au moment où les plantes aquatiques se diversifient (*Typha angustifolia*, *Sparganium* ...). Durant cette phase, on assiste également à une augmentation de la richesse taxonomique du cortège des rudérales (*Rumex*, *Plantago*, *Artemisia*, Chénopodiacées...).

La zone d (-141 à -113 cm) a pour principale caractéristique la présence de *Salix*. Il s'y produit également un développement de *Betula* (passage de 5 à 20%) alors que *Quercus*, *Corylus* et *Alnus* connaissent une phase de régression et que *Tilia* disparaît presque. Dans cet environnement très boisé, les Graminées s'installent de façon durable (environ 10%) alors que les Cypéracées s'effacent.

La zone e (-113 à -99 cm) voit les prémices de l'installation du hêtre (*Fagus*). Au sein de la flore arborescente, on observe également une reprise d'*Alnus* puis de *Betula*. Les courbes de *Quercus*, *Betula* et *Corylus* sont stables autour de 20 à 30%. Dans la strate herbacée, où les Cypéracées sont absentes, les Poacées connaissent une raréfaction pour atteindre une fréquence inférieure à 1%.

La zone f (-99 à -63 cm) est caractérisée par l'installation durable de *Fagus*. Elle débute par un pic prononcé d'*Alnus* (passage de 60 à 15%) au niveau -89. Toutefois, ce dernier est présent sur le graphe des fréquences absolues, qui révèle une stabilité de l'aulne à des niveaux assez semblables à ceux de la zone « d » et de la base de la zone « e ».

Cette zone est surtout définie par une phase d'ouverture du milieu. En effet, les NAP, sous l'influence principale des Poacées, connaissent une phase d'accroissement jusqu'au niveau 72 où ils atteignent environ 50%, puis la courbe s'infléchit pour revenir à une valeur proche de 20%. Les Cypéracées, qui réapparaissent au cours de cette phase, ont également un effet, mais moindre, sur le taux des herbacées. C'est au cours de cette phase que l'on voit également les espèces cultivées (*Fagopyrum*, *Cerealia* et *Secale*) s'installer de façon relativement stable au sein du diagramme même si leurs fréquences n'excèdent que rarement 1%. Les rudérales, déjà présentes dans les niveaux inférieurs, continuent à se développer et surtout à se diversifier.

La zone g (-63 à -50 cm) prend fin au niveau de la transition entre la strate à tourbe noire argileuse avec éléments ligneux et herbacés et celle à tourbe marron foncé avec

quelques éléments herbacés. Elle a pour caractéristique principale une fermeture du milieu visible par une remontée des AP jusqu'à 90%, due notamment à une reprise de *Betula* suivie de celle d'*Alnus*, toutes deux d'une valeur de 20%. Cette zone est également marquée par la très faible présence des Cypéracées (moins d'1% dans chacun des niveaux). Les rudérales semblent, quant à elles, marquer un faible recul visible au travers de la diminution de leur diversité.

La zone h (-50 à -27 cm) correspond au niveau de tourbe marron foncé contenant quelques éléments herbacés. Elle est le siège d'une lente ouverture du milieu visible au travers de la progression des NAP de 20 à 50%. Cette augmentation est liée surtout à la réapparition des Cypéracées et au développement des Graminées. Les plantes aquatiques connaissent une diminution de leur présence au cours de cette zone. Le cortège des rudérales connaît quant à lui une diversification.

Durant cette zone, *Quercus*, *Fagus* et *Corylus* restent à des niveaux faibles mais stables, tandis que l'aulne et le bouleau voient leur fréquence diminuer, passant réciproquement de 30 à 15 % et de 50 à 5%.

La zone i (-27 à -10 cm) voit une légère diminution des NAP qui passent de 50 à 30%. Toutefois, cette variation ne correspond pas à une phase de fermeture du milieu puisqu'elle est due à une très forte expansion d'*Erica*, qui passe de 5 à environ 50%. Dans le même temps, les Graminées, qui connaissent une phase d'accroissement de leur fréquence absolue, se maintiennent à un niveau de 20%, alors que les Cypéracées, qui s'étaient réimplantées au cours de la période précédente, s'effacent ici peu à peu avant de disparaître. Dans la strate arborée, *Quercus*, *Fagus* et *Betula* se maintiennent à des niveaux très faibles (10% maximum), et il faut noter la disparition d'*Alnus*, *Carpinus* et *Corylus*. Cette zone est également marquée par la disparition des spores de type monolète dont le polypode.

3.2.2.1.5. Les phases écologiques

L'étude du diagramme pollinique permet de dégager cinq grandes phases écologiques dans l'évolution de la végétation régionale(fig. 35 & 36).

Celle de base, **TRE I**, se limite à la zone d'assemblage pollinique « a ». Elle correspond à une phase dominée par *Betula* et *Corylus*.

TRE II regroupe les zones « b » et « c ». Au cours de cette phase, la végétation régionale est caractérisée par la présence *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus* et *Alnus*.

Les zones d'assemblage polliniques « d » et « e » forment la phase **TRE III**, où la végétation ligneuse est composée par du chêne, du tilleul, de l'aulne et du bouleau. C'est au cours de cette phase que *Fagus* apparaît.

TRE IV comprend les zones d'assemblages polliniques « f » à « h ». Elle est caractérisée par l'installation du hêtre. Sa flore régionale est dominée par la présence de *Quercus*, *Fagus*, *Corylus*, *Alnus* et *Betula*.

TRE V se limite à la zone « i ». Sa végétation est formée par *Erica*, *Quercus* et *Fagus*.

3.2.2.2. *Interprétation*

3.2.2.1.1. TRE I

La végétation hygrophile locale

Au cours de cette phase, on note la présence d'un faible taux de Cypéracées ainsi qu'une quasi-absence de pollen de taxons aquatiques (une occurrence de *Potamogeton*). Ceci traduit la présence d'un milieu ne présentant pas une très forte humidité, au sein duquel semblent se trouver de rares espaces d'eau stagnante ou à faible courant. Sur ce substrat, se développe une végétation ligneuse composée essentiellement de bouleaux auxquels sont associés de l'aulne, ainsi que quelques saules et frênes.

La végétation régionale

Durant cette période, la végétation régionale est dominée par le noisetier, dont la fréquence relative atteint 54% au niveau 170. Le caractère héliophile de ce taxon indique la présence d'un milieu ouvert. La présence de *Quercus* à des fréquences de l'ordre de 10%, ainsi que les quelques occurrences de tilleul et d'orme laissent entrevoir l'existence de zones plus fermées.

Les activités agro-pastorales

Les faibles occurrences et diversité des taxons pouvant être classés au sein du groupe des rudérales, associées à l'absence d'espèces cultivées, ne permettent de certifier une quelconque présence humaine à proximité du site au cours de cette période.

3.2.2.1.2. TRE II

Une datation radiocarbone réalisée sur un élément ligneux prélevé à une profondeur de 164-165cm, nous permet de rapporter cette phase à l'époque gallo-romaine. C'est au cours de cette période que débute la tourbification.

La végétation hygrophile locale

Alors que les pollens de plantes aquatiques demeurent peu nombreux au sein des enregistrements polliniques, les Cypéracées connaissent, quant à elles, une phase de développement. La végétation ligneuse connaît, elle aussi, une évolution notable. On y voit, en effet, un recul important du bouleau tandis que l'aulnaie se développe de manière extrêmement importante au début de la phase pour atteindre des taux supérieurs à 60%.

Au niveau local, on notera donc une évolution vers une végétation hygrophile. Ceci indique une augmentation du degré d'hydromorphie du sol. Toutefois, les zones d'eaux stagnantes ou à faible courant restent rares.

La végétation régionale

Au cours de cette phase, le noisetier connaît un léger déclin, alors que le chêne se développe au début puis atteint des taux de l'ordre de 50%. Le tilleul et l'orme connaissent, eux aussi, un accroissement. Ces variations de la composition floristique indiquent la mise en place d'un boisement de type chênaie qui crée une fermeture du milieu.

Cette végétation, où se développent des taxons à affinité méditerranéenne (*Tilia*, *Ulmus*, *Lonicera*), semble indiquer la présence d'un climat relativement doux dans cette zone géographique lors de la période gallo-romaine.

Les activités agropastorales

Le développement de la chênaie mixte durant cette phase écologique semble indiquer que si une présence humaine existe sur le massif de Paimpont, elle doit être faible.

Toutefois, durant cette période gallo-romaine, une augmentation de la diversité des rudérales peut être observée (*Plantago*, *Artemisia*, *Asteracea*, *Cichoroideae*...). Elle pourrait être la conséquence d'une pratique de mise en pâture du bétail sous le couvert forestier. Mais, cette hypothèse n'est confirmée par la présence d'aucun autre marqueur d'une activité d'élevage.

3.2.2.1.3. TRE III

La végétation hygrophile locale

Elle est caractérisée par une diminution progressive des Cypéracées dans la zone « d » qui conduira à leur quasi-absence dans la zone suivante. Dans le même temps, il se produit un développement des taxons aquatiques tant en quantité qu'en diversité (*Myriophyllum*, *Sparganium*, *Potamogeton*, *Typha angustifolia*). Cette transformation de la végétation locale est la conséquence d'une extension importante des espaces d'eau stagnante ou à faible courant, qui a pour conséquence la réduction des zones humides favorables au développement des laiches.

La végétation ligneuse locale connaît, elle aussi, des modifications de sa composition. Un recul de l'aulne au profit du saule peut être observé lors de la zone « d », puis *Alnus* croît de nouveau en début de zone « e » avant de s'effacer devant le bouleau. Le développement de *Salix*, espèce héliophile, indique une période d'ouverture du milieu au niveau du site. Sa disparition, associée à la succession aulne puis bouleau, est le témoin d'une nouvelle fermeture du milieu local.

La végétation régionale

Même si le paysage régional reste fermé, sa végétation est marquée par un recul de divers taxons arborescents (*Quercus*, *Tilia*, *Corylus*, *Ulmus*). Cette diminution est sans doute le fruit du développement d'une pression anthropique sur le couvert végétal. Cette idée est renforcée par l'apparition des Ericacées (*Erica* et *Calluna*) qui peuvent être associées à la mise en place de landes régressives.

On notera également le développement de *Betula* au niveau régional. Ceci semble indiquer que l'augmentation de l'hydromorphie observée au niveau local s'étend à l'ensemble de la région de Paimpont.

Enfin, cette phase écologique voit un recul du tilleul jusqu'à une quasi-disparition, tandis que le hêtre s'installe sur le massif. Cette transition d'un taxon caractéristique de climat relativement doux (*Tilia*) à un taxon aux exigences thermiques moindres ne semble toutefois pas être liée à des variations climatiques mais bien plus à l'action humaine. Elle semble en effet se dérouler à la période de l'optimum climatique médiévale, où les conditions environnementales seraient plutôt favorables au tilleul.

Les activités agropastorales

Les quelques occurrences de céréales et de blé noir (*Fagopyrum*) observées pendant cette phase, ainsi que celles du noyer (*Juglans*) limitée à la période d'ouverture du milieu, semblent indiquer la présence d'une activité agricole à moyenne distance du site.

De plus, au cours de cette phase TRE III et surtout dans la zone « d », une diversité relativement importante des taxons à caractère rudéral est encore observée (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Brassicaceae*, *Plantago sp.*, *Apiaceae*...). Ce signal semble être le témoin d'une pratique de mise en pacage du bétail.

3.2.2.1.4. TRE IV

Une datation radiocarbone a été effectuée sur un élément ligneux présent à une profondeur de 57 à 59 cm. Elle est de 510 ± 55 BP (âge calibré : 1310 – 1454 ap J.C.)

La végétation hygrophile locale

Au cours des trois zones qui constituent cette phase, les taxons aquatiques connaissent successivement une période de déclin, puis une reprise avant de disparaître. Dans le même temps, les Cypéracées voient leur taux s'accroître dans la première et troisième zone, mais ils sont quasi-absents durant la zone centrale. Ces variations témoignent des fluctuations que connaît la nappe d'eau. Ainsi, les zones « f » et « h » ont vu une baisse du niveau qui a engendré une diminution des taxons aquatiques mais un plus fort développement des Cypéracées. A l'inverse, la zone « g » se caractérise par une remontée de la nappe, les zones d'eau stagnante ou de faible courant qui se forment alors, sont favorables à la flore aquatique.

La végétation ligneuse locale connaît, elle aussi, une évolution en trois temps. Il se produit tout d'abord un recul de la boulaie, qui permet le fort développement des Poacées et dans une moindre mesure celui du saule. Cette évolution traduit une phase d'ouverture du milieu. Ensuite, l'aulnaie se développe légèrement avant de laisser la place à *Betula*. Cette fermeture du boisement a pour effet une nette diminution des taux de Graminées. Enfin, on assiste à une nouvelle période d'ouverture du paysage. Elle est mise en évidence par le déclin que connaît la boulaie durant la zone « h », ainsi que par le retour des Graminées.

La végétation régionale

Au cours de cette phase, une diminution des fréquences relatives d'une large majorité des taxons arborescents est visible (*Quercus*, *Betula*, *Corylus*, *Alnus*). Seuls le hêtre et le

charme se développent, mais uniquement lors de la seconde moitié de cette phase et de façon relativement limitée. Il se produit donc, à l'échelle du massif forestier de Paimpont, un recul du couvert ligneux. Le développement des Ericacées, durant la dernière partie de ce diagramme, permet de penser que cette ouverture se produit sous le coup d'une pression anthropique, qui favorise le développement de landes.

Les activités agropastorales

La phase écologique TRE IV possède, comme les deux précédentes, un cortège de rudérales très diversifié. Même si celui-ci connaît un léger recul durant la zone « g », sa présence permet de supposer l'existence d'une activité pastorale. L'installation durable des taxons cultivés au sein du diagramme pollinique (*Cerealia type*, *Secale*, *Fagopyrum*, *Castanea*) confirme les activités anthropiques. Toutefois, ces signaux restent faibles et ne sont bien visibles que durant les phases de plus grande ouverture du milieu. Ceci fait penser plus à des cultures quelque peu éloignées, dont le signal n'est plus masqué par le couvert forestier, qu'à la mise en place de terres agricoles à proximité du site.

3.2.2.1.5. TRE V

La végétation hygrophile locale

Au cours de cette phase, il se produit une régression des Cypéracées tandis que les plantes caractéristiques des milieux d'eau stagnante se développent très légèrement. Ceci traduit sans doute une remontée du niveau d'eau qui autorise la mise en place de nappes d'eau. Les territoires où croissent habituellement les *Carex* connaissent alors une perte de superficie.

Du point de vue de la végétation ligneuse, on observe une disparition de l'aulnaie et le maintien de *Betula* dans de faibles taux. Le très fort développement des Ericacées au cours de cette phase doit correspondre à la mise en place d'une végétation de type lande, conséquence d'une dégradation des conditions environnementales suite à une forte pression anthropique.

La végétation régionale

Elle est de plus en plus ouverte. Le noisetier et le charme, encore relativement présent au cours de la phase précédente, atteignent ici des fréquences inférieures à 1%. *Quercus* et *Fagus*, s'ils sont toujours présents dans le paysage, ne forment plus un réel massif forestier. Leur taux de pollen avoisine seulement les 10%. L'exploitation intensive de la ressource

ligneuse, visible au niveau local par l'installation d'une lande à *Erica*, doit toucher l'ensemble du massif ne laissant à peine que quelques-uns des taxons arborescents.

Dans la deuxième moitié de cette période, une augmentation de la fréquence de *Pinus* et l'apparition d'*Abies* sont observables. Ces pollens peuvent avoir une origine lointaine, mais compte tenu de leur emplacement dans la stratigraphie, ils peuvent également être issus de l'introduction de ces taxons sur le massif de Paimpont.

Les activités agropastorales

Les céréales et le seigle se développent au début de la phase TRE V. Le sarrasin n'est que très peu présent. Ces augmentations de plantes cultivées contemporaines d'une phase de milieu ouvert, semblent être plus le résultat d'une baisse de l'effet filtrant du couvert forestier que de l'installation de culture à proximité du site.

Les rudérales sont quasi-absentes au cours de cette période. Ce pourrait être le résultat d'une diminution de l'activité pastorale.

3.2.3. Synthèse

La comparaison des essences identifiées au sein des échantillons anthracologiques avec les taxons arboréens présents dans l'étude palynologique montre globalement une similitude. Avec ces deux approches il a, en effet, été possible de mettre en évidence des zones boisées grâce à la présence de taxons comme le chêne et le hêtre. L'identification de taxons héliophiles, tels que *Corylus avellana* ou *Frangula alnus*, révèlent des espaces à la végétation moins dense potentiellement de type lisière forestière. Enfin, ces deux analyses ont révélé une végétation ligneuse hygrophile avec, par exemple, le bouleau ou l'aulne. Ceci tendrait à prouver que l'activité de collecte du bois s'est déroulée à proximité du site de Trécélien, autant durant la période médiévale que plus tard à l'époque moderne ou contemporaine.

Une différence notable est toutefois à noter entre les résultats des analyses palynologiques et anthracologique pour la période la plus récente. Il est en effet possible d'observer une très forte présence de *Carpinus betulus* dans le lot de charbons LM 34-35 (plus de 31%), tandis que sur le diagramme pollinique ce taxon n'est présent durablement que dans la zone « h » mais à des taux ne dépassant jamais 5%. Ce décalage peut s'expliquer de deux manières. Dans un premier temps, il est possible de penser que le charme présent dans l'échantillon anthracologique est issu d'une collecte de bois relativement éloignée du point de

sondage pollinique. L'autre possibilité réside dans un éventuel traitement de cette essence sous forme de taillis. Il a été montré que lorsque *Carpinus betulus* était présent sous cette forme dans la végétation locale, il se trouvait sous représenté en palynologie (Heim, 1970). Cette hypothèse pourrait être confirmée par le faible calibre des bois qui semble être utilisé à cette période.

IV. Discussion

Si le faible nombre de datations radiocarbone réalisées sur le prélèvement tourbeux ne permet pas d'associer avec certitude les différentes parties du diagramme aux périodes chrono-culturelles, il n'en reste pas moins que certaines hypothèses peuvent être émises quant à cette mise en correspondance, d'autant plus que la lithostratigraphie est relativement homogène, ce qui semble indiquer un rythme de sédimentation relativement constant.

Ainsi, au vu de la datation obtenue pour le niveau 165, la partie basse du diagramme (TRE I a) semble correspondre à l'Âge du Fer. Cette étude a permis d'y associer une végétation semi-boisée, dominée par le noisetier et devant présenter des zones plus fermées où se développait du chêne. Ce paysage semble être dans la continuité de ceux du Néolithique et de l'Âge du Bronze. Les études polliniques intra-sites, réalisées par D. Marguerie sur des sites mégalithiques (Marguerie, 1989 ; 1992), ont, en effet, permis de montrer qu'au Néolithique, la partie occidentale du massif de Paimpont connaissait un paysage semi-boisé sans activité humaine. Les niveaux de l'Âge du Bronze ont, quant à eux, témoigné de la présence de terrains dégagés, fréquentés par l'homme. De plus, ce couvert végétal semble coïncider avec celui qui a pu être mis en évidence lors de l'analyse des charbons issus de la fouille d'un atelier de réduction du minerai de fer de Couédouan, daté de la Tène (Marguerie, 1989 ; Andrieux et Garçon, 1993). Les lots analysés de ce site ont révélé la présence de *Quercus* et *Corylus*, essences dominantes, respectivement des milieux boisés et semi-boisés, visibles en palynologie. La figure 38 présente l'ensemble des sites actuellement attribués à la période de l'Âge du Fer sur la commune de Paimpont. Il est à noter que les relevés d'une partie des sites métallurgiques présentés sur la figure 39 ne permettent pas de datation typologique. De nouvelles observations permettraient très vraisemblablement être de rallonger à la liste de ceux de l'Âge du Fer. La comparaison des figures 38 et 40 montre clairement une augmentation de la présence humaine au sein du massif durant l'Âge du Fer. Celle-ci doit sans doute s'expliquer par la présence sur ce territoire d'un sous-sol riche en minerai de fer et par celle de ressources ligneuses, qui ont permis un développement des activités métallurgiques.

Avec des taux de pollens d'arbres supérieurs à 90% pour le second Âge du Fer, les résultats de cette étude pollinique semble faire exception dans le paysage régional au vu des données archéobotaniques du Massif armoricain (Gaudin, 2004). En effet, taux de pollen

d'arbres sont compris entre 40 et 60% pour l'ensemble de la péninsule armoricaine résultant de défrichements ayant cours depuis le Néolithique. Les différences observées entre les données interpolées de L. Gaudin et celles obtenues à Trécélien peuvent être dues à l'absence d'analyse palynologique, pour l'Âge du Fer, sur un vaste secteur du centre Bretagne, dont la région de Paimpont. Cette carence dans les données à la base du modèle d'interpolation de L. Gaudin peut expliquer l'absence d'une zone plus boisée dans le centre-Bretagne, dans les simulations calculées principalement à partir des données des zones littorales ouvertes. Mais, à Trécélien, une majeure partie du signal arboréen étant due au noisetier (environ 50%), la différence existant avec le modèle peut être la conséquence d'une caractéristique extrêmement localisée.

La datation radiocarbone obtenue pour le niveau -165 (1925 ± 35 BP ; 5 – 131 ap. J.C.) nous permet de penser que la phase écologique TRE II correspond au moins partiellement à l'époque gallo-romaine.

La conquête de l'Armorique par les romains a eu lieu en 56 av. J.C. avec la défaite des Vénètes. Dans un objectif d'intégration à long terme, Rome superposa son cadre administratif aux entités politiques préexistantes (Poisson & Le Mat, 2000). Il y avait donc en Armorique cinq *civitates* correspondant chacune à un peuple gaulois. Elles devaient être subdivisées en plusieurs unités de plus petites tailles : les *pagi*, comme l'était celle des Redones. Ces derniers possédaient sans doute un chef-lieu politique et religieux. Ce découpage administratif était associé à un réseau de voies de communication reliant les capitales des *civitates*. Dans la région de Paimpont, on observe la présence de plusieurs de ces axes (fig. 41). La voie Rennes-Carhaix passe au nord de la forêt actuelle par les communes de Monfort-sur-Meu et de Saint-Méen-le-Grand. Au niveau d'Iffendic, l'axe Rennes-Quimper se sépare de la route précédente pour passer au nord de Saint-Gonlay et rejoindre le sud de Mauron. Au sud du massif de Paimpont se trouve l'axe reliant Rennes à Vannes et traversant Goven avant de rallier Guer. Enfin, il existe une voie entre Guer et Mauron correspondant probablement à l'itinéraire Corseul-Rieux. La végétation actuelle rend difficile sa localisation précise mais elle semble traverser le massif de Paimpont au niveau de la haute-forêt.

Durant la phase écologique TRE II, on observe la mise en place d'une chênaie mixte en futaie au détriment de la végétation précédente qui était du type corylaie en taillis. Un tel phénomène semble indiquer un arrêt ou, pour le moins, une forte diminution des pressions humaines sur la zone d'étude. Cette impression est renforcée par la répartition des sites archéologiques gallo-romains en périphérie de l'actuelle commune de Paimpont (fig.42)

contrairement à ceux de l'Âge du Fer (fig. 38). Toutefois ces informations sont à considérer avec beaucoup de précaution compte tenu de la présence du couvert forestier qui rend difficile la découverte de nouveaux sites archéologiques. Pourquoi à cette période, alors que l'organisation romaine semble se superposer au système préexistant, semble-t-il exister une telle désaffection pour le massif de Paimpont ? En effet, au regard des sites archéologiques, cette région paraît avoir été un centre de production métallurgique durant l'Âge du Fer. L'arrêt de cette production aurait permis à la forêt de se redévelopper. Il convient alors de s'interroger sur les facteurs qui ont pu engendrer ce qui semble correspondre à une déprise de l'activité métallurgique à cette période dans un secteur qui fournissait l'ensemble des matières premières nécessaires à sa réalisation durant les périodes précédentes.

Lors de l'installation de ce nouveau couvert forestier, le chêne est accompagné d'essences à affinité plus méditerranéenne comme le tilleul, l'orme et le chèvrefeuille. La présence de ces taxons tend à indiquer qu'un climat plus doux et relativement plus sec qu'aujourd'hui régnait alors sur la région de Paimpont. Ces conditions environnementales peuvent sans doute être à rapprocher des variations climatiques mises en évidence par M. Magny lors de l'étude des variations du niveau des eaux des lacs jurassiens (Magny, 1995). Il perçoit, en effet, une amélioration des conditions climatiques au cours de la période gallo-romaine. Compte tenu de ces éléments, il apparaît que la hausse du degré d'hydromorphie à l'origine de la tourbification doit être un phénomène purement local probablement naturel étant donné le recul de la présence humaine observé lors de l'examen de la carte archéologique.

Enfin, concernant cette période, il est à noter que la dynamique de fermeture du milieu observée à l'échelle du massif de Paimpont s'inscrit totalement dans celle qui a pu être dégagée par L. Gaudin (2004) lors de ses travaux d'interpolation sur l'ensemble du Massif Armoricain. Il met en évidence une « impression de reboisement » dans le centre-Bretagne, qu'il explique par un regroupement des activités anthropiques jusque là plus diffuses à l'échelle de la péninsule armoricaine.

La portion TRE III « d » se situant juste au-dessus de la partie du diagramme associable à la période gallo-romaine, il est envisageable de la faire correspondre au Haut Moyen-Âge.

Si une présence franque peut être envisagée dans la région de Paimpont entre la fin du IV^{ème} et le début du V^{ème} siècle, suite à la découverte d'une sépulture germanique sur la commune de Guer, le Haut Moyen-Âge breton est surtout caractérisé par l'immigration des

population bretonnes insulaires. Ces dernières, poussées par l'arrivée d'envahisseurs anglo-saxons, ont traversé la Manche pour s'installer sur le continent et, dès la fin du IV^{ème} siècle leur présence a provoqué un changement de nom de l'Armorique, qui était alors appelée « Britannia » (Poisson & Le Mat, 2000).

Dans la région de Paimpont, l'arrivée des Bretons se traduit surtout par l'installation de deux monastères. Celui de Saint-Méen fut fondé à la fin du VI^{ème} siècle par Mewen en la paroisse de Gaël, le long de la Meu. Le second est celui de Paimpont, situé en plein cœur de l'actuelle forêt. Sa création est traditionnellement attribuée à Judicaël, roi de Bretagne et membre du prieuré de Saint-Méen, en l'an 658. De la présence bretonne sur ce territoire, il ne reste que peu d'autres traces matérielles. Les travaux de prospection archéologique n'ont, en effet, pour l'heure livré aucune zone d'occupation attribuable à cette période. Seule la toponymie permet de percevoir les traces du passage de ces populations bretonnantes entre les V^{ème} et IX^{ème} siècles. Les lieux dont le nom est formé à partir du préfixe Plou- correspondent aux paroisses bretonnes : Ploërmel, Plélan... Au sein de ces paroisses, se trouvaient des trèves, subdivisions laïques de la paroisse qui s'organisaient, selon certains auteurs, autour d'une chapelle (Planiol, 1953 *in* Duval, 1998). Il resterait une trace de ces subdivisions au sein des toponymes commençant par le préfixe Tre-.

Dans la partie du diagramme qu'il est possible d'associer à cette époque (TRE III d), on assiste à une ouverture du milieu marquée par un léger recul du couvert forestier et un développement du saule et des Rosacées. La première occurrence de céréale de la séquence ainsi qu'une présence du noyer limitée à cette phase d'ouverture permettent d'envisager une installation humaine. Elles tendent à confirmer l'hypothèse d'une mise en pacage du bétail, dessinée par la diversité des rudérales. Cette implantation humaine se situerait certainement à moyenne distance du lieu de prélèvement palynologique étant donné la faiblesse du signal perçu. Il pourrait s'agir de la trève dont la présence est évoquée dans le nom du site : Trécélien. Celui-ci se trouve en effet localisé à environ 1 km au nord-ouest du point de prélèvement (fig. 12). La dépression humaine locale que l'on observe en fin de zone « d » par un redéploiement de l'aulnaie peut trouver une explication dans les raids normands que connaît la région entre la fin du IX^{ème} et le début du X^{ème} siècle et qui détruisirent le monastère de Paimpont. L'importance de ces derniers sur la péninsule bretonne a conduit une partie de la noblesse et du clergé à trouver refuge en France et en Angleterre.

A l'échelle du massif de Paimpont, une réduction du couvert forestier est également observée au travers du recul du chêne et du tilleul. Elle peut être très certainement associée à des défrichements ayant pour but de conquérir de nouvelles terres agricoles. Cette évolution

de la végétation régionale s'inscrit totalement dans la dynamique de déforestation qui semble affecter l'ensemble du Massif armoricain (Gaudin, 2004).

La datation obtenue à partir de l'échantillon ligneux situé entre les niveaux -59 cm et -57 cm permet de rapporter les zones « e » et « f » ainsi que la première moitié de la « g » au Moyen-Âge central et au Bas Moyen-Âge.

Pour cette période, il existe quelques sources écrites concernant le massif de Paimpont et dont le contenu peut être confronté aux résultats de cette étude archéobotanique. La première d'entre elles est la coutume de Brécilien. Ce texte est composé de quatre parties. D'abord se trouve « l'ancienne coutume » qui est une reprise d'un texte du XIII^{ème} siècle faisant l'état des lieux des droits que divers usagers possédaient en forêt depuis une époque bien antérieure. Elle est suivie de la « nouvelle coutume », qui est une ordonnance de Guy de Laval, comte de Monfort, en 1467. Elle vise à régler certains détails d'exécution du texte ancien, comme les peines à appliquer en cas de fraude ou d'abus d'usage en forêt. Ensuite, une description est faite des « *ornements de la forêt de Brécilien et de ces merveilles* ». Enfin, la dernière partie de cet ouvrage est formée par le texte de plusieurs autres ordonnances de Guy de Laval concernant la législation en forêt (Puton, 1879). Une source textuelle à notre disposition est la publication par l'abbé Guillotin de Courson en 1893 de deux feuillets des « *comptes et revenus de la forêt de Brécilien* » datés respectivement de 1419 et 1420. L'ensemble de ces textes présente l'intérêt de décrire la législation censée diriger l'exploitation de la forêt et au moins une partie de son application est visible au travers des revenus que cette exploitation a engendrés. Enfin, certains auteurs citent différents textes qu'il ne nous a pas été possible de lire, mais qui apportent des informations sur les activités qui pouvaient avoir cours dans le massif de Paimpont durant la seconde moitié du Moyen-Âge (Michel, 1957 ; Duval, 1998, 2000).

L'un des faits polliniques les plus remarquables de l'évolution végétale de cette période est l'installation du hêtre (*Fagus*). Cette apparition s'inscrit dans une dynamique de succession entre le tilleul, qui disparaissait peu à peu depuis la période gallo-romaine et le hêtre qui ici le remplace. Une transition entre ces deux espèces peut être observée sur de nombreux diagrammes polliniques du Massif Armoricain, mais elle ne se produit jamais à une époque aussi tardive. En effet, elle se situe généralement entre le Néolithique final et l'Âge du Bronze, ce qui a permis à M.-T. Morzadec-Kerfourn (1974) de l'utiliser comme marqueur du passage de la période climatique du Subboréal à celle du Subatlantique. Même s'il a été possible de mettre en évidence ce changement dans la composition floristique au cours de

périodes plus récentes, il ne se produisait que rarement au-delà de l'Âge du Fer et jamais après la période gallo-romaine (Barbier, 1999 ; Cyprien, 2002 ; Ouguerram, 2002). Le hêtre étant une espèce sciaphile ou de demi-ombre aux exigences hydriques prononcées (il a besoin de précipitations annuelles supérieures à 750 mm/an), alors que le tilleul préfère des conditions climatiques plus sèches et plus ensoleillées, il convient de s'interroger sur l'existence d'un éventuel rafraîchissement climatique qui aurait agi en faveur du hêtre. Mais différents travaux, dont ceux de M. Magny (1995), tendent à montrer que durant la seconde moitié du Moyen-Âge le climat aurait, au contraire, plutôt connu une période de réchauffement, ce qui serait à priori défavorable à une expansion du hêtre. Pour D. Galop et G. Jalut (1994), le hêtre serait un indicateur de l'action anthropique. Son développement serait favorisé par l'absence de concurrence que provoque une phase de déforestation. Une telle explication concorderait tout à fait avec la dynamique que l'on observe sur le diagramme palynologique de Trécélien, mais se pose alors la question de son absence lors de la mise en place du massif forestier à la période gallo-romaine. De plus, il est à noter que lors de l'étude archéobotanique du site néolithique de l'hôtié de Viviane, l'ensemble des charbons analysés étaient du hêtre, bien que ce taxon était absent de l'analyse pollinique (Marguerie ; 1989, 1992). Il en a été déduit qu'il devait se situer à quelque distance de ce site. Comment est-il alors possible d'expliquer ce qui semble être une absence de développement de cette population de hêtre entre la fin du Néolithique et la seconde moitié du Moyen-Âge sachant que les conditions climatiques lui sont plutôt favorables et que des phases d'ouverture du milieu se sont produites au sein du massif de Paimpont, ne serait-ce que lors de l'activité métallurgique de l'Âge du Fer ? A l'heure actuelle, le seul élément qui soit en notre possession est la mention à deux reprises de ce taxon dans la coutume de Brécilien. Dans un premier temps, il est dit que les usagers de Concoret « *peuvent ...prendre de tous les fruits qui naissent dans ce quartier, excepté les glands, les faines et les châtaignes* » (art. 22), puis dans un article concernant la mise des délinquants à l'amende, il est possible de lire la phrase suivante : « *il serait mis à l'amende, de même que s'il était trouvé exploitant du bois vif de chêne, de hêtre ou de châtaigner* » (art. 59). Il est possible de penser qu'à cette période là ou les populations de hêtre présentes sur le massif étaient relativement importantes puisqu'il en est fait mention dans plusieurs documents.

C'est au cours de cette seconde moitié du Moyen-Âge que semble se développer l'agriculture au sein de la région de Paimpont, comme le montre la présence régulière d'espèces cultivées : les céréales dont le seigle et le blé noir. La présence de cette activité se trouve confirmée, si besoin en était par les textes. On voit ainsi, dans « l'ancienne coutume »,

que les usagers de Concoret doivent tous les ans 50 criblées d'avoine au seigneur de Monfort et que « *son valet* [à propos de l'abbé de Monfort] *demeurant au prieuré peut aussi, si bon lui semble, prendre et abattre du bois pour faire des charettes, des charrues et les roues pour les seuls usages des labours et charrois du prieuré* » (art. 5). Si le premier passage n'est qu'une indication sur la présence d'éventuelles cultures d'avoine du fait de la possibilité qu'avaient très probablement les habitants de Concoret d'en acheter, la seconde mention confirme la présence d'activités agricoles par l'utilisation du terme « labours ».

Le taxon *Vitis* n'a jamais pu être identifié lors de l'analyse pollinique, or dans l'ancienne coutume de Brécilien, il est plusieurs fois fait mention du terme « vignes » (fig.43). Cette différence entre les sources permet de soulever quelques questions : le prélèvement pollinique se situe-t-il à trop grande distance de ces cultures pour qu'elles apparaissent en palynologie, d'autant que ce taxon est un faible pollinisateur à courte dispersion ? Et le terme de « vignes » désigne-t-il une culture limitée au seul raisin ou bien correspond-il de façon plus large à une culture de fruitier sur le massif de Paimpont, comme pourrait l'indiquer l'absence de mention de vergers dans les différents textes à notre disposition ?

Au cours de l'analyse pollinique, il a pu être mis en évidence la présence d'une éventuelle pratique pastorale à proximité du site de Trécélien grâce à la diversité du cortège des rudérales. Cette activité semble se confirmer à la lecture des usements et des comptes de la forêt de Brécilien. Le premier de ces deux textes nous indique que plusieurs usagers pouvaient mettre leurs bêtes en pâturage, panage et paisson en forêt sans rien payer. Le bétail dont il est fait mention est très varié puisqu'il regroupe les ovins, les caprins mais également les porcs, les bovins et même les chevaux en ce qui concerne l'abbé de Paimpont (fig. 43). L'importance de cette activité est difficile à appréhender à partir de ce seul texte. Toutefois, l'examen des feuillets de compte de l'année 1419 nous apprend que l'année précédente, il a été perçu des droits d'inscription pour 1497 porcs et 1979 bêtes pour l'automne. Il ne faut pas oublier qu'à ces troupeaux s'ajoutait l'ensemble du bétail des divers usagers qui jouissaient du droit de pacage à titre gratuit. De tels chiffres nous permettent de dire que la pratique de mise en pâture des bêtes en forêt de Brécilien n'était pas quelque chose d'anecdotique au cours du Moyen-Âge et permet d'apprécier, au moins partiellement, la nature du signal perçu en palynologie.

Lors de cette étude, il a été mis en évidence qu'au cours de la zone TRE III « e », il se produit une augmentation du niveau d'eau, qui s'est traduite par une extension des places d'eau stagnante ou à faible courant dans lesquelles se développent des taxons comme *Myriophyllum* et *Potamogeton*. Ce phénomène, bien que possiblement d'origine entièrement

naturelle, peut également avoir une origine anthropique, dont la nature est évoquée dans « l'ancienne coutume ». En effet, dans l'article 11 de celle-ci, il est dit que « *la prieure de Telhouët a, pour son prieuré, usage complet au bois de construction, réparation, clôtures et autres nécessités, sauf pour les réservoirs à poisson qu'elle ne peut tenir en forêt, quoiqu'elle y possède des étangs ou viviers* » (art. 11). Ainsi, même si pour l'heure aucune structure n'a été mise au jour, cette mention, associée à la hausse du niveau d'eau, permet d'envisager la mise en place d'une pisciculture aux environs du point de sondage pollinique, étant donné que le prieuré n'est éloigné de la zone humide étudiée que de 5 km..

Durant cette période, on observe également, dans la partie TRE IV « f », une très nette ouverture du milieu au niveau local, qui se marque par le développement des Poacées. Grâce à la datation obtenue entre 59 cm et 57 cm, il est possible d'associer cette évolution à la période d'activité métallurgique du site de Trécélien. En effet, les datations de la structure de chauffe ainsi que pour l'amas A11 sont respectivement de 675 ± 30 BP (âge calibré : 1282 – 1387 ap. J.C.) et 800 ± 50 BP (âge calibré : 1150 – 1300 ap. J.C.). La structure de chauffe correspondrait alors probablement à l'une des dernières opérations ayant eu lieu sur le site. Le développement des Poacées semble indiquer que l'installation de l'activité métallurgique a entraîné la formation d'une clairière sur le site de Trécélien. Ceci semble être confirmé par la présence de taxons héliophiles comme *Corylus avellana*, *Prunus* et *Salix* dans les niveaux polliniques et dans les échantillons anthracologiques datant de cette période, ce qui peut correspondre à une collecte du bois à proximité de l'atelier. Concernant, la durée de cette activité sur le site, il est également à noter qu'elle semble coïncider avec une période de baisse du degré d'hydromorphie. Une telle concordance nous conduit à nous interroger sur les relations qui ont eu lieu entre l'environnement et les métallurgistes. En effet, les artisans ont-ils drainé la zone d'implantation de l'atelier pour pouvoir travailler, leur départ ayant par la suite entraîné un arrêt du drainage par un manque d'entretien des systèmes mis en place ? Ou bien, ont-ils pu s'installer suite à une baisse naturelle de l'hydromorphie ? Et lorsque celle-ci s'est de nouveau élevée, la pratique de leur activité serait-elle devenue impossible ? Etant donné la faible emprise des différents sondages à l'échelle du site et compte tenu de l'absence de découverte de structure de drainage lors des différentes campagnes de fouilles archéologiques, il semble difficile de pouvoir répondre à de telles questions. Toutefois, les fouilles réalisées sur le site du Vert Pignon par J.-B. Vivet (Vivet, 2004), comparable à celui de Trécélien et également localisé sur la commune de Paimpont, ont permis de mettre au jour des fossés, ce qui nous permettrait de pencher plus en faveur de l'hypothèse de la mise en place d'une structure drainante que d'une baisse naturelle du niveau d'eau.

Au cours de cette période d'activité, il ne semble pas apparaître, en palynologie, de taxons qui seraient favorisés par une éventuelle pollution ou autre impact de l'activité métallurgique et dont la présence marquerait une influence sur le long terme de la métallurgie. Cette absence d'effet prolongé sur la végétation semble être confirmée par le reboisement relativement rapide qui se produit dès la fin de ce qui semble être la période d'activité du site.

Sur le diagramme pollinique, on assiste à un recul relativement constant du signal représentatif du couvert forestier, dont une partie est d'origine régionale signal régional, ce qui pourrait traduire un retrait plus ou moins important de la forêt sur le massif de Paimpont. Or, dans les sources textuelles, il est dit qu'au XV^{ème} siècle, la forêt couvrait une surface de 7 lieues de long sur 2 et plus de large. Une lieue bretonne équivalant à 4,677 km, il semble qu'alors la forêt couvrait un espace d'au moins 32,7 km par 9,3 soit plus de 300 km². Dans notre tentative pour localiser cette forêt moderne, les lieux mentionnés dans les différents textes ont été replacés sur une carte actuelle du massif de Paimpont en se basant sur la toponymie (fig. 44). Il est alors apparu que la distance séparant Campénéac de Monfort-sur-Meu correspond approximativement aux 7 lieues du texte, et que l'éloignement entre Concoret et Beignon semble équivaloir aux 2 lieues et plus de largeur. La forêt de Brécilien, loin d'être un massif impénétrable, devait alors soit être une grande étendue boisée continue et percée de nombreuses clairières habitées (Paimpont, Plélan, Le Cannée...), soit correspondre à un ensemble de zones boisées de tailles variables. L'utilisation de l'expression « *ces forêts* » dans l'ordonnance de 1467 (art. 1) tendrait à aller dans le sens de la seconde hypothèse.

Le recul du couvert forestier, observé en palynologie et en lien avec ce probable morcellement, a sans doute de nombreuses origines. Parmi celles-ci, il est possible de citer l'exploitation des ressources ligneuses pour la vente (en 1419, il a été retiré 819 livres et 17 sols) et pour subvenir aux besoins qu'ont engendré les périodes de troubles au XV^{ème}. En 1490, les officiers de la forêt énuméraient les différentes prises de bois dans la forêt : deux fois deux milles piques pour les premières qui furent faites et perdues à Saint-Aubin, du bois pour la réparation de moulins de la région, du bois pour la fortification de Rennes et la réparation des ponts et 80 charretées pour le siège de Ploërmel (Michel, 1957). Il faut aussi considérer le bois pris pour le besoin de certains usagers, qui, comme l'évêque de Saint-Malo, avaient la possibilité de prendre du bois en forêt tant qu'ils en auraient besoin pour leur chauffage que pour les constructions et réparation qu'ils auraient eu à faire. Ils pouvaient couper tous les arbres de leur choix, tandis que les acheteurs ne devaient prendre que ceux désignés par une marque. Ceci semble induire que ces usagers n'avaient pas à tenir compte

d'une éventuelle gestion de la forêt pour s'approvisionner en bois. Une autre source de ce déboisement peut très certainement être la conquête de nouvelles terres cultivables sur l'espace forestier. Il est possible de trouver la présence de ces faits dans la toponymie avec des noms comme « la prise de Comper » (Duval, 1998), mais peut-être également dans les ordonnances de Guy de Laval en 1467 dans la phrase : « *En ce qui concerne les nouvelles concessions de terres labourables...* » (art. 16) (Puton, 1879). Enfin, une dernière origine de ce déboisement est sans doute à rechercher dans la pratique de l'activité métallurgique. En effet, dans les feuillets de compte de 1419, il est fait mention de trois forges grossières situées en forêt et qui devaient correspondre à des sites semblables à celui de Trécélien (fig. 45). Vu la quantité de scories présente sur les sites à ferriers (quelques milliers de m³), la production de ces ateliers devait nécessiter l'utilisation de grandes quantités de combustible. D'après les résultats de l'analyse anthracologique, ce dernier devait très probablement être du charbon de bois. Cette hypothèse, avancée suite à l'importance du nombre de charbon présentant un aspect luisant, semble être confirmée par la « nouvelle coutume ». Celle-ci fait en effet référence à une population de charbonniers en forêt « *Les charbonniers pourront y aller à charrette à bras mais non attelée.* » (art. 12) (Puton, 1879).

En ce qui concerne le mode d'exploitation de la forêt de Paimpont durant cette deuxième moitié du Moyen-Âge, l'analyse anthracologique a révélé la présence de charbons issus de troncs ou de grosses branches. Ces observations nous rappellent que durant la fin du Moyen-Âge, la forêt était exploitée sous la forme d'une futaie ou d'un taillis sous futaie. Les textes font en effet référence à plusieurs reprises à des bois taillis mais également de bois en futaie : « *Cela s'applique aux bois de haute futaie (haut bois) et de taillis (bois taillables) qu'on fait dans les quartiers de Haute-forêt et de Lohéac* » (art. 27).

Lors de l'analyse anthracologique, il a également été montré une possible collecte de bois mort. Celle-ci semble se confirmer au vu des différents passages de « l'ancienne coutume ». Plusieurs usagers ont le droit, comme par exemple ceux de Plélan, de « *prendre le bois mort tombé sur feuille* » (art. 20) (Puton, 1879).

Enfin, au cours de l'étude des charbons attribués à l'époque médiévale, il a pu être mis en évidence une faible richesse taxonomique qui peut être associée, compte tenu du contexte archéologique, à une sélection des essences. Cette sélection avorise le chêne et peut-être le hêtre, même si celui-ci est à peine plus représenté que le bouleau. Ce phénomène de sélection a pu être mis en évidence lors de l'étude de plusieurs sites paléométallurgiques quelle que soit leur datation. Ainsi, sur le site protohistorique du Rocher Abraham (Saint-Pierre-de-Plesguen, Ille-et-Vilaine), les échantillons analysés ont permis l'identification de neuf taxons et une

dominance du chêne caducifolié (Marguerie & Gaudin, 2001). Le site daté de la Tène et de la période gallo-romaine de l'Aunay-Truchet (La Bazoge, Sarthe) a livré des résultats similaires (Marguerie & Garcia, 1998). A Couédouan (Plélan-le-Grand, Ile-et-Vilaine), il ne figurait que trois taxons dans les prélèvements anthracologiques, dont une très nette dominance du chêne (91%) pour la période gallo-romaine (Marguerie, 1992). Pour la période du Bas Moyen-Âge, L. Eschenlohr a pu montrer, sur des sites du Jura suisse, qu'il existait une sélection des essences utilisées, avec une préférence pour le hêtre, le chêne n'étant pas présent aux altitudes des sites (Eschenlohr 2001 ; Richard et Eschenlohr, 1999). Le choix de ces essences peut certainement s'expliquer par leur capacité à fournir une combustion lente permettant une montée en température du foyer progressive (Rameau *et al.*, 1989 ; Sell et Kropf, 1990 ; Venet, 1974). Lors des opérations de grillage et de réduction du minerai de telles propriétés devaient sans doute permettre une meilleure homogénéité des températures tout au long de l'opération. De plus, la combustion étant lente, l'utilisation de charbons issus de ces essences devait permettre une descente lente de la charge du fourneau la maintenant ainsi au niveau des ouvertures de ventilation où la température est la plus élevée. Les autres espèces rencontrées lors de l'analyse sont majoritairement des petits ligneux offrant des bois de faible calibre. Ils sont souvent considérées comme fournissant de grandes flammes sur une courte durée, ce qui permet de libérer une température élevée. Elles auraient été utilisées lors de l'allumage du feu mais également pour des opérations métallurgiques post-réductionnelles, pendant lesquelles la surveillance du foyer devait être plus aisée que dans le bas-fourneau.

En 1653, le comte de la Trémoille a vendu la forêt de Brécilien à messieurs d'Andigné et Farcy, qui obtenaient dans le même temps l'autorisation d'y faire construire une grosse forge. Cette dernière comprenait lors de sa création un haut-fourneau, une chaufferie, deux affineries et une fenderie. L'exploitation de la forêt qui fut mise en place pour le fonctionnement de cet établissement métallurgique conduisit les nouveaux propriétaires à modifier les règlements des usages en forêt, ce qui entraîna de nombreux conflits avec les habitants des communes avoisinantes. Plusieurs procès ont eu lieu entre 1665 et 1864, dont les comptes-rendus, publié par A. Puton en 1879, nous apportent quelques informations sur l'évolution du paysage entre le XVI^{ème} siècle et la fin du XIX^{ème}.

La datation réalisée sur un échantillon ligneux prélevé dans la zone « g » permet de situer la seconde moitié de celle-ci ainsi que les zones « h » et « i » pendant ces périodes moderne et contemporaine. L'échantillon anthracologique LM 34-35 doit pouvoir y être associé.

Dans cette partie du diagramme pollinique, il se produit une très forte diminution du couvert forestier visible avec la disparition de l'aulne et du noisetier qui étaient présents depuis les niveaux les plus anciens. De plus, le chêne, le hêtre et le bouleau connaissent aussi une baisse de leur taux et ils se maintiennent à de faibles pourcentages. Cette dynamique peut s'expliquer par plusieurs raisons. Tout d'abord, il faut mentionner l'afféagement (droit féodal qui consiste à démembrer un fief en lui soustrayant des terres dont le preneur doit payer le cens en nature ou en argent) de nombreuses parties de la forêt de Brécilien au cours de la seconde moitié du XVI^{ème} siècle. Un réquisitoire adressé au conseil du roi en 1751, nous apprend qu'un afféagement a été effectué le 7 octobre 1548, trois cents cinquante et un ont eu lieu en 1553, mille soixante-quinze en 1577 et encore un en 1595. L'ensemble de ces actes ayant pour but la mise en valeur de terres incultes, il est raisonnable de penser que les nouveaux propriétaires ont dû quelque peu réduire le couvert forestier. Une autre activité pouvant expliquer le recul du couvert forestier dans la région de Paimpont à cette époque est le blanchissage du lin, qui se pratiquait par exemple au village du Cannée. Les blanchisseurs donnaient aux toiles jusqu'à 12 lessives nécessitant chacune pas moins de quatre boisseaux de cendres de bois de 35 livres, soit un total de près de 850 kg de cendres pour l'ensemble des opérations (Duval, 1959). A cette consommation de bois, il faut ajouter également celle domestique des habitants des communes proches de la forêt. Mais le plus important facteur responsable de cette réduction du couvert forestier est sans aucun doute l'utilisation du bois comme combustible pour la métallurgie. Dans ce domaine il faut citer les cloutiers qui exerçaient sur le massif de Paimpont ; pas moins de 200 y sont dénombrés au milieu du XIX^{ème} siècle (Dornic, 1984), mais il faut surtout prendre en compte les besoins en combustibles des forges. Pour faire fonctionner l'ensemble de la chaîne de production, M. Duval estime, qu'au milieu du XVIII^{ème} siècle, la production annuelle d'environ 1.200.000 livres de fontes par les forges de Paimpont nécessitait environ 10.000 cordes de bois. (Duval, 1959). Si l'on se base sur les estimations qui ont été faites par J-Y Andrieux (1986) pour les forges de Salles, situées à environ 60 km au nord-ouest de Paimpont (8 000 cordes de bois sont issus de 200 ha de forêt), il est possible d'évaluer une surface de coupe annuelle de l'ordre de 250 ha, pour le seul fonctionnement des forges. En ce qui concerne le mode d'exploitation de la forêt, il est dit dans l'ensemble des procès que celle-ci est passée sous forme de taillis avec l'installation du haut-fourneau : *« Et comme depuis l'aliénation de la dite forêt, la plus grande partie d'icelle est à présent en taille et qu'on y travaille journellement à couper le reste de la futaie »* (Arrêt du Parlement de Bretagne du 26 octobre 1686 : Puton, 1879). Ce traitement de la végétation semble concorder avec les observations

faites lors de l'analyse anthracologique (charbons sans bois de réaction présentant de forte courbure de cernes originaire probablement de troncs de faibles diamètres) et palynologique (sous-représentation pollinique du charme par rapport à l'anthracologie). De plus, grâce à une lettre de Mr Nicole (directeur et régisseur des forges en 1796), on sait que ces taillis avaient une rotation d'environ vingt ans (Larcher, 1986). L'ensemble de ces données nous permet donc d'estimer que pour le fonctionnement de l'industrie des forges sur une période de vingt ans, soit la durée de rotation des taillis, une surface de près de 5000 ha devait être exploitée, ce qui représente la surface boisée actuelle de la forêt. Cette exploitation des ressources forestières a doublé à la fin du XVIII^{ème} siècle avec la création d'un deuxième haut-fourneau, comme l'indique Mr Nicole : « *A l'avenir, il ne sera pas possible d'élever la fabrication à plus de 200 à 300 milliers par an, à moins qu'il ne se présente des bois propres à charbon à acheter dans les environs ; mais j'observe qu'il s'en trouve peu, et qu'il faudrait, année commune, de 18.000 à 20.000 cordes de bois par an* » (Larcher, 1986). L'apparition et le développement des Ericacées qui s'observent au cours dans les zones « h » et « i » semblent correspondre ainsi à la mise en place de landes à cause de la forte pression que ces besoins en bois entraînaient. Une telle observation nous amène donc à penser que l'arrêt d'activités des forges en 1865 (Michel, 1957) se serait certainement produit sans la concurrence engendrée par la métallurgie au charbon de terre, à cause d'une raréfaction du combustible suite à sa surexploitation. L'aspect luisant de certains charbons étudiés dans le lot LM 34-35, la présence d'un grand nombre de fouées en forêt (fig. 46) ainsi que la mention de « *charbon* » dans l'extrait précédent indiquent la transformation de ce bois en charbon. La dominance du hêtre et du charme qui y est observée en anthracologie semble s'expliquer par le fait que ces deux taxons, lorsqu'ils ont traité en taillis de 10 à 30 ans, fournissent avec le chêne le meilleur charbon (Saint Yon *in* Jacquet, 2003). Ce même auteur précise que le meilleurs moments pour faire le charbon sont les mois d'août, septembre et octobre suivant l'hiver de la coupe car le bois a eut le temps de sécher. Cette observation permet d'expliquer la faible quantité de fentes de retrait observées lors de l'analyse anthracologique et confirme son association avec la présence d'une période de séchage.

Au cours de cette période, on assiste également, au niveau local, à une baisse des conditions hydromorphiques. Elle est observée au travers d'une réduction des espèces aquatiques et un développement temporaire des Cypéracées. Ce qui semble être un assèchement du milieu peut trouver une explication dans la mise en place de réseaux de fossés en forêt. Il en est fait mention dans deux sources différentes. Dans la lettre adressée au conseil du roi en 1751, il est dit que lors des nombreux afféagements de la fin du XVI^{ème} et début du

XVII^{ème} siècle « *Tous les preneurs s'obligent de faire clore de fosses défensables les terrains qu'ils prenoient à afféage* ». Puis, dans l'arrêt de la Cour de Rennes du 28 août 1841, on trouve la phrase suivante : « *Que les usagers se plaignent, en outre, que les propriétaires en faisant des semis de pins, arbres étrangers à la forêt, en multipliant douves et fossés outre mesure, en subdivisant les cantons par parcelles* ». La création de ces structures a sans doute eu un effet drainant sur les terres du massif, ce qui a dû entraîner la baisse d'hydromorphie qui semble se dessiner en palynologie.

Enfin, en ce qui concerne les occurrences de conifères qu'il est possible d'observer dans la partie sommitale du diagramme pollinique, elles peuvent avoir deux origines potentielles. Elles peuvent soit correspondre à un apport lointain, soit refléter une introduction de ces essences au sein du massif de Paimpont au cours de ces périodes récentes. Là encore, le compte-rendu de l'arrêt de la cour de Rennes du 23 août 1841 apporte de précieuses informations. Il y est inscrit à ce sujet, entre autre le passage suivant : « *Si par le fait des propriétaires, les pins se multiplient tellement dans la forêt que les usagers ne pourront plus non seulement prendre de la litière dans les clairières sans être exposés à couper de jeunes pins, mais même exercer leur droit de pâturage ; si, en outre, le pin est de sa nature plus nuisible que les autres arbres de la forêt* ». Celui-ci nous conduit donc à penser que ce signal des conifères correspond à l'hypothèse de leur introduction sur le massif de Paimpont.

Conclusions et perspectives

Par cette étude archéobotanique, nous avons pu montrer que, loin d'être les vestiges d'une forêt multimillénaire uniquement fréquenté par des druides en quête de gui et des irréductibles à la recherche de sangliers (faute de romains), la forêt de Paimpont semble être un paysage forgé par la présence humaine depuis des millénaires. Elle ne semble prendre la forme d'une chênaie mixte que durant la période gallo-romaine, à la faveur d'un recul des activités humaines au sein d'un décor semi-fermé d'une corylaie. Puis aux environs du V^{ème} siècle, elle semble connaître un lent déclin, tandis que la présence humaine s'accroît comme l'indiquent des vestiges archéologiques de plus en plus nombreux et marqués dans le paysage. Sur le site de Trécélien, on assiste durant le Haut Moyen-Âge aux premiers reculs locaux de la chênaie suite à l'installation d'une population probablement bretonne. L'abandon de ce site qui semble se produire aux alentours du X^{ème} siècle n'a pas permis à la forêt de se redévelopper, tout juste assiste-t-on à son maintien. Puis, quelque deux siècles plus tard, l'atelier métallurgique de Trécélien voit le jour. Son fonctionnement nécessitant une quantité non négligeable de charbon de bois, la chênaie connaît alors un nouveau recul pour atteindre une faible représentation pollinique, qui demeurera, même lors de l'arrêt de l'activité de ce site. Enfin, cette étude montre à travers le recul des aulnes, noisetiers et bouleaux, qu'à partir du XVII^{ème} siècle le couvert forestier de la région de Paimpont semble connaître un nouveau déclin. Cette fois encore, il est utilisé pour alimenter la chaîne de production du fer, mais il s'agit d'une production à l'échelle industrielle, grâce à l'utilisation des hauts-fourneaux situés à peine à plus d'un kilomètre du site de Trécélien.

L'étude pollinique a également permis de mettre en évidence une installation exceptionnellement tardive du hêtre à l'échelle du Massif armoricain. Sur le diagramme, il apparaît en effet au cours du Moyen-Âge alors qu'ailleurs il entre dans la composition floristique à la fin du Néolithique ou au début de l'Âge du Bronze. Ce phénomène, s'il peut trouver des explications au niveau de l'influence des activités anthropiques, peut également avoir pour origine une péjoration climatique concomitante avec la disparition du tilleul et une plus grande humidité (taux de plantes aquatiques les plus élevées du diagramme). Ainsi, cette analyse semble avoir fourni l'un des rares diagrammes du Massif armoricain où l'influence des variations climatiques n'est pas masquée par celle des activités anthropiques.

En plus d'apporter des informations précieuses sur l'évolution des environnements passés du massif de Paimpont grâce à la première analyse pollinique en zone humide réalisée sur ce secteur géographique, cette étude nous renseigne sur les sociétés qui y ont vécu. Ainsi, il a été possible de montrer l'existence d'une occupation humaine altomédiévale. Cette observation confirme le sentiment qui émanait de l'analyse toponymique et pourra peut être permettre de faciliter la découverte du site d'installation correspondant lors des opérations de prospection archéologique. Ce site, s'il venait à être localisé, présenterait sans doute un bon état de conservation grâce au milieu forestier dans lequel il se trouve, et constituerait un élément majeur de la connaissance du Haut Moyen-Âge dans le secteur de Paimpont.

Le recoupement des données archéobotaniques, archéologiques et textuelles nous a permis affiner les informations contenues dans ces différentes catégories de sources. Ainsi, la palynologie et l'anthracologie ont apporté une vision matérielle et localisée des influences, sur la végétation, des activités mises au jour par l'archéologie ou décrites dans les textes à l'échelle du massif de Paimpont. Ainsi, il a été possible de visualiser l'effet que l'installation du site paléoméallurgique de Trécélien a eu sur le couvert végétal à travers la mise en place d'une zone ouverte certainement de type clairière. Il a aussi pu être montré comment le passage d'un traitement de la forêt de futaie à taillis décrit dans les textes se traduit en archéobotanique. Mais les textes ont également apporté des informations précieuses pour la compréhension du signal pollinique. Par exemple, grâce aux éléments qu'ils contiennent, la richesse taxonomique du cortège des rudérales a pu être identifiée comme étant le fruit des activités pastorales qui se sont déroulées sur le massif de Paimpont, alors qu'autrement cette interprétation n'aurait sans doute pas pu dépasser le niveau de l'hypothèse.

L'étude archéobotanique a permis l'observation de nombreux charbons présentant un aspect luisant. Ces derniers ont été interprétés comme étant le résultat d'une activité de charbonnage, ce qui semble être confirmé par les données historiques. Toutefois, les conditions internes des bas-fourneaux étant réductrices comme celles d'une charbonnière, l'hypothèse d'une alimentation en bois du fourneau, bien que peu probable, ne peut être totalement rejetée (Mangin, 2004). Seul l'étude des restes anthracologiques d'une opération de réduction expérimentale pourra nous fournir une référence pour comparer les deux types de résidus charbonneux et éventuellement écarter l'hypothèse d'une alimentation en bois. De plus, la présence de plusieurs charbons indéterminables à cause d'une fusion totale de leur structure, nous permet de penser que l'analyse des restes carbonisés issus de bas-fourneaux expérimentaux pourrait éventuellement constituer une référence permettant une

différenciation des charbons provenant d'une opération de réduction du minerai de fer de ceux produit lors du charbonnage.

La multiplication des datations radiocarbone sur la séquence de Trécélien, nous permettra une interprétation plus fine et une meilleure corrélation de cet enregistrement avec les données archéologiques et historiques. Il nous sera alors permis de préciser la durée des périodes d'activités anthropiques, comme celle paléoméallurgique du site de Trécélien qui nous est jusqu'à présent inconnue, grâce à une modélisation qui affinera la chronologie de l'enregistrement. A ces analyses radiocarbone, pourront être couplées celles de mesures de proxies indicateurs de variations climatiques telles que les isotopes de l'oxygène, mais également par la recherche d'indicateurs d'activité métallurgique comme les éléments traces pouvant se trouver dans le minerai.

L'utilisation d'un système à percussion pour les carottages palynologiques rendra possible les prélèvements dans des milieux sédimentaires plus compacts que la tourbe comme ceux rencontrés à la base de la séquence de Trécélien. Cette méthode nous permettra alors d'avoir accès aux niveaux plus anciens. Il sera entre autre possible de savoir si la corylaie gauloise observée à la base du diagramme de Trécélien peut refléter ou non un état de reconquête du milieu par les taxons héliophiles suite à des déboisements. Ceux-ci pourraient résulter de l'activité des bas-fourneaux qui sont très nombreux dans la partie orientale du massif de Paimpont, actuellement systématiquement prospectée.

La multiplication des études archéobotaniques, grâce aux nombreuses zones humides présentes sur le massif de Paimpont, devraient nous permettre de confirmer les évolutions végétales observées sur le site de Trécélien et de mieux différencier les éléments du signal pollinique qui sont liés à un apport local de ceux d'origine plus régionale. Ces prochaines analyses pourraient confirmer ou non l'hypothèse d'une forêt de Brocéliande sous la forme d'une chênaie mixte depuis l'Antiquité. Ensuite, la réalisation de certaines d'entre elle à proximité des sites paléoméallurgiques semblables à Trécélien fournirait des renseignements sur la chronologie des implantations humaines et notamment sur l'hypothèse d'une récupération de zones défrichées suite aux activités métallurgiques pour l'installation d'habitations et d'activités agricoles. De plus, un nombre plus important d'études autoriserait une reconstitution paysagère micro-régionale selon la méthode POLLANDCAL. Enfin, la mise en relation d'un plus grand nombre d'analyses palynologiques bien datées avec des données historiques, comme la coutume de Brécilien, devrait permettre de développer un référentiel d'interprétation du signal pollinique correspondant aux activités décrites dans les textes et qui n'ont plus d'équivalents régionaux actuels.

Bibliographie

- ANDRIEUX J.-Y.** (1986). Pour une archéologie industrielle de la Bretagne (recherches sur les forges, du XVII^{ème} au milieu du Xx^{ème} siècle, dans le département des Côtes-du-Nord). Thèse de l'Université de Rennes II.
- ANDRIEUX J.-Y. & GARCON A.-F.** (1993). « Fouille d'un bas fourneau et de ses structures annexes à l'étang du Perray en Plélan-le-Grand », *Revue Archéologique de l'Ouest*, n°10, p.101-114
- BARBIER D.** (1999). *Histoire de la végétation du nord-mayennais de la fin du Weichsélien à l'aube du XXI^{ème} siècle. Mise e évidence d'un Tardiglaciaire armoricain. Interactions hommes-milieus.* Groupe d'Etude des Milieux Naturels, Nantes.
- BARTHELEMY L.** (1976). *Recherche sur les relations entre les pluies polliniques stationnelles et les paysages végétaux avoisinants (Cessière, Aisne, France).* Thèse, Université Paris X.
- BEHRE K. E** (1981). "The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams". In : *Pollens and spores*, vol. XXIII, n° 2. MNHN/CNRS : 225 - 243.
- BEHRE K. E.** (1986). *The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams.* Balkema A.A., Rotterdam, Boston.
- BUSNOUF S.** (1983). *Evaluation de l'apport de la photographie aérienne à la cartographie du massif forestier de paimpont de 1952 à 1982.* Mémoire de maîtrise à l'Université de Rennes II.
- CHABAL L.** (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive). L'antracologie, méthode et paléo-écologie.* Documents d'Archéologie Française. Maison des sciences de l'Homme, Paris, 63.

- CHESTER P.I & IAN RAINE J.** (2001). Pollen and spore keys for Quaternary deposits in the northern Pindos Mountains. *Grana*, 40, Greece : 299 – 387.
- CHEVALLIER R.** (1998). *Les voies romaines*. Picard, Paris
- CLEMENT B.** (1978). *Contribution à l'étude phytoécologique des Monts d'Arrée, organisation et cartographie des biocénoses, évolution et productivité des landes*. Thèse, Université de Rennes I.
- CORILLON R.** (1971). *Notice détaillée des feuilles armoricaines. Phytogéographie et végétation du Massif Armoricain*. Carte de végétation de la France au 1/200000^{ème}, feuille de Rennes. CNRS, Paris.
- COUR P.** (1974). Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol, *pollens and spores*, vol. XVI - n° 1, MNHN/CNRS : 103-141.
- CUSHING E. J.** (1963). *Late-Wisconsin pollen in East central Minnesota*. Ph. D. thèse, Université du Minnesota.
- CYPRIEN A.-L.** (2002). Chronologie de l'interaction de l'homme et du milieu dans l'espace central et aval de la Loire (Ouest de la France). Groupe d'Etude des Milieux Naturels, Nantes.
- DORNIC F.** (1984). *Le fer contre la forêt*. Ed. Ouest-France.
- DUCHAUFOR P.** (1948). Recherche écologique sur la chênaie atlantique française. *Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts*.
- DUCHAUFOR P.** (1974). *Le climax du sol forestier*, in *Écologie forestière : la forêt ; son climat ; son sol ; ses arbres ; sa faune*, p. 129-134
- DUVAL J.-F.** (2000). Métallurgie et défrichements en forêt de Paimpont au Moyen-Âge, *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, tome 107, n° 3, p. 7-28.

- DUVAL J.-F.** (1998). *Occupation et mise en valeur du sol dans la région de Plélan-le-Grand au Moyen Age, Vème-XIIIème siècle*, mémoire de maîtrise inédit, Rennes
- DUVAL M.** (1954). *Forêt et civilisation dans l'ouest de la France au XVIII^e siècle*, édition LE MEE, Rennes
- ERDTMANN G.** (1969). *Handbook of palynology : an introduction to the study of pollen grains and spores*, Munksgaard,
- ESCHENLOHR L.** (2001). *Recherches archéologique sur le district sidérurgique du Jura central suisse*, Lausanne
- ESTOURBILLON Marquis de I'** (1893). « Les revenus de la forêts de Brocéliande au XVème et XVIème siècle », Bulletin de la Société Polymatique du Morbihan, Vannes, pp. 121-133
- GALOP D.**(1998). La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées –6.000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée. Géode-Laboratoire d'Ecologie terrestre. FRAMESPA.
- GAUDIN L.** (2004). Transformations spatio-temporelles de la végétation du Nord-Ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstruction paléo-paysagère. Thèse, Université de Rennes I.
- GIRAULT N.** (2005). Paléoméallurgie du fer en forêt de Paimpont : *Le site de Trécélien*, Mémoire de DEA inédit, Paris
- GODWIN H.** (1940). Pollen analysis and forest history of England and Wales. *New Phytologist*, 39 (4) : 370 – 400.
- JACQUET G.** (2003). *La Forêt en Val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie*. Thèse de l'Université de Tours. Volume I.

JALUT G. (1991). Le pollen, traducteur de paysage agraire. *In* : Guilaine J. (dir) Pour une archéologie agraire. Armand Colin, Paris. 345-368.

LARCHER G. (1994). « La zone sidérurgique de la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine), bilan diachronique, pp.113-120, *in* MANGIN (M.), *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte Européen, colloque de Besançon*, 10-13 novembre 1993, Paris.

LARCHER G. (1991). *Sites métallurgiques de la région de Paimpont*, Rapport de prospection-inventaire, SRA Bretagne

LARCHER G. (1986). *Les charbonniers à Paimpont : contribution à l'histoire d'une commune*. Le châtenay, HS. Association des amis du moulin du Châtenay, Rennes.

LE MAT J.-P. & POISSON H. (2004). *Histoire de Bretagne*, édition Coop Breizh,

LEROYER C. (1997). « *Homme, climat, végétation au tardi- et post-glaciaire dans le bassin parisien : apports de l'étude palynologique des fonds de vallée* ». Thèse, Université de Paris X.

LEROYER C. & HEINZ C. (1992). La complémentarité des études polliniques et anthracologiques : les exemples pyrénéens de la Balma Margineda (Andorre) et de Belestia (Pyrénées-Occidentales, France). *Bulletins de la Société Botanique de France*, 139. *Actualités botaniques* (2/3/4) : 281-295

MAGNY M. (1995). *Une histoire du climat. Des derniers mammouths au siècle de l'automobile*. Ed. Errance.

MANGIN M. (2004) (sous la direction de). *Le fer*, collection « archéologiques », Paris

MARGUERIE D. (1989). Etude du paléoenvironnement de la région de Brocéliande. BRIARD J. (dir), *Les monuments de la forêt de Brocéliande et du Ploërmelais* :

structure, mobilier et environnement. *Documents d'Archéologie Française*. Paris : 85-90.

MARGUERIE D. (1990). *Etude anthracologique du site paléométallurgique de Couédouan (plélan-le-Grand, Ille-et-Vilaine)*. Inédit

MARGUERIE D. (1992). « *Evolution de la végétation sous l'impact anthropique en Armorique du Néolithique aux Périodes historiques.* ». Thèse, Université de Rennes I.

MARGUERIE D. & GARCIA Y. (1998). *Etude anthracologique du site paléométallurgique de l'Aulnay-Truchet (La Bazoge Sarthe)*. Inédit

MARGUERIE D. & GAUDIN L. (2001). *Etude anthracologique du site paléométallurgique du Rocher Abraham (Saint-Pierre-de-Plesguen, Ille-et-Vilaine)*. Inédit

MARGUERIE D. & HUNOT J.-Y. (1992a). Etude anatomique des bois des principales Papilionacées armoricains, histoire de la lande régressive. *Bulletin de la société Botanique de France*, 139, *Actualités botaniques* (2/3/4) : 343-360.

MARGUERIE D. & HUNOT J.-Y. (1992b). Le bois : évolution, structure et détermination. *AGORA*, 2, Les bois archéologiques : 3-8.

MARGUERIE D. & HUNOT J.-Y. (1992c). Le bois : évolution, structure et détermination. *AGORA*, 2, Les bois archéologiques : 15-19.

MARGUERIE D. & HUNOT J.-Y. (2007). Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science*. Sous-presse.

MICHEL D. (1957). Grandeur et décadence d'une forêt, Paimpont du XVIe au XIXe siècle. *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest* 064 : 257 - 273

- MORZADEC-KERFOURN M.-T.** (1974). *Variations de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire*. Mémoire de la Société géologique et minéralogique de Bretagne 17.
- OUGUERRAM A.** (2002). Histoire de la vallée de l'Erdre (affluent de la Loire, Massif Armoricain, France) de la fin du Tardiglaciaire aux époques actuelles. Groupe d'Etude des Milieux Naturels, Nantes.
- PUTON A.** (1879). *Coutume de Brécélien, Titres, Jugement et arrêts concernant les usagers de Paimpont et Saint-Pérant*, Nancy
- RAMEAU J.C., MANSION D. & DUME G.** (1989). « *Flore forestière française, guide écologique illustré, T. 1, plaines et collines* ». Institut pour le développement forestier, Paris.
- REILLE M.** (1990). *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. CNRS, Paris
- REILLE M.** (1992). *Pollens et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Louis Jean, Gap.
- RICHARD H. & ESCHENLOHR L.** (1999). Essai de corrélation entre les données polliniques et les données archéologiques : le cas des forêts de Lajoux dans les Franches-Montagnes (Lajoux, Jura, Suisse). *Revue d'Archéométrie*, 22 : 29-37.
- SCHWEINGRUBER F.H.** (1990). *Anatomie of European Woods*. Ed. Haupt, Stuttgart.
- SCHWEINGRUBER F.H.** (1982). « *Anatomie microscopique du bois* ». Flück-Wirth, Teufen.
- SELL J & KROPF F** (1990). *Propriétés et caractéristiques des essences de bois*. Lignum, Le Mont, Suisse.
- THERY-PARISOT** (2001). *Economie des combustibles au Paléolithiques*. Dossier de documentation archéologique 20. CNRS.

- THINON M.** (1988). Utilisation de la microscopie épiscopique interférentielle pour l'identification botanique des charbons de bois. *Wood and Archaeology*. Bois et archéologie. First European Conférence, Louvain-la-Neuve, 2 et 3 octobre 1987. PACT 22, III(4) 179-188.
- VENET J.** (1974). Identification et classement des bois français. *E.N.G.R.E.F.*, 2e édition, Nancy.
- VERNET J.-L.** (1992). Les charbons de bois. *AGORA*, 2, Les bois archéologiques : 9-14.
- VISSET L., HAURAY G.** (1980). Palynologie : une technique de sondage pour les sédiments meubles. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, nouvelle série, 2, 129–138
- VIVET J.-B.** (2004). *Paléosidérurgie diachronique du massif de Paimpont (35), Le Vert-Pignon III : Découverte de fours métallurgiques en activité autour du XVeme siècle*, opération de prospection thématique, SRA Bretagne, Rennes
- VIVET J.-B. & CHAUVEL J.-J.** (2002). *Trécélien en Paimpont (35), Métallurgie de réduction directe du minerai de fer en forêt de Brécélien, au XIVeme-XVIeme siècle*, opération de prospection thématique, sondage archéologique, SRA Bretagne, Rennes
- VIVET J.-B. & CHAUVEL J.-J.** (2003). *Trécélien en Paimpont (35), Métallurgie de réduction directe du minerai de fer en forêt de Brécélien, au XIVeme-XVIeme siècle*, opération de prospection thématique, sondage archéologique, SRA Bretagne, Rennes