

# Impact environnemental des activités paléométallurgiques sur la forêt du Morvan (région du Mont-Beuvray). Résultats croisés des analyses pollinique et géochimique.

Isabelle JOUFFROY-BAPICOT

Laboratoire de Chrono-écologie – UMR 6565 CNRS – Université de Franche-Comté  
UFR Sciences et Techniques. 16, route de Gray – 25030 Besançon Cedex  
isabelle.jouffroy@univ-fcomte.fr

## Résumé

Les raisons de l'installation et de la prospérité de l'oppidum éduen de Bibracte sur le Mont-Beuvray (Morvan-Bourgogne), dans une région difficile d'accès et au climat rude, posent toujours question. La découverte de grandes tranchées antérieures au développement de l'agglomération, qui pourraient résulter d'exploitations de minerai à ciel ouvert, a conduit à envisager le rôle déterminant de l'activité métallurgique sur l'installation humaine dans cette région. Dans cette optique, nous avons entrepris l'analyse conjointe de palynologie et géochimie du plomb de la tourbière du Port-des-Lamberts (Glux-en-Glenne – 58), située à environ 5 km du Mont-Beuvray. La confrontation entre diagramme pollinique et courbe de teneur en plomb d'origine anthropique de la tourbe montre de remarquables corrélations. Plusieurs phases d'activités métallurgiques, caractérisées par la présence de plomb anthropique dans la tourbe et contemporaines de défrichements parfois drastiques, ont été mises en évidence, de la Protohistoire à la période contemporaine. Certaines de ces phases peuvent être mises en relation avec les données archéologiques et historiques, comme c'est le cas pour la métallurgie éduenne de la fin de l'âge du Fer (2<sup>e</sup> - 1<sup>er</sup> siècles av. notre ère) ou l'exploitation d'époque moderne. D'autres, telle que la première phase paléométallurgique du Bronze final (13<sup>e</sup> - 8<sup>e</sup> siècles av. notre ère), sont en revanche tout à fait inédites. Toutes ont donné lieu à des défrichements de plus ou moins grande ampleur qui auront eu un impact durable sur la forêt morvandelle.

## Abstract

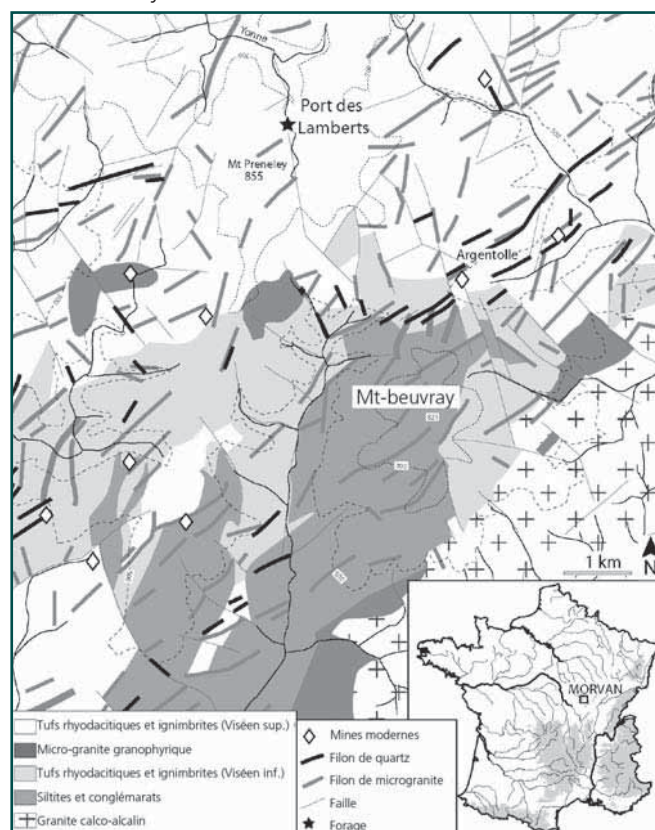
*The reasons why the Bibracte oppidum, on the Mont-Beuvray (Morvan Mountain-Burgundy), became the largest settlement of the Aeduan Celtic tribe are still surprising. The site isn't easy to reach, and climate conditions are rugged. Recently, wide trenches have been found, on and around the site, and interpreted as remains of mining excavations. On this basis, archaeologists have assumed that one of the reasons which may have attracted early settlers, are mining and smelting activities. The present study aims to document this hypothesis by means of pollen and geochemical analyses, performed in a peat core collected in the Port-des-Lamberts peat land (Glux-en-Glenne – 58), situated at about 5 km from the Mont-Beuvray. Different periods of mining were recognised from Prehistory to modern times, according to the presence of anthropogenic Pb in peat, related to drastic decrease of trees pollen. Some were already known from archaeological dates or historical archives, especially for Late Iron Age (2nd-1st century BC) and modern periods. But prehistoric ancient mining activities from Late Bronze Age (ca. 13e-8e century BC) were also discovered. They all led to modifications in plant cover, probably related to forest clearance.*

## 1. - Introduction

L'étude conjointe de palynologie et de géochimie du plomb du remplissage tourbeux de la tourbière du Port-des-Lamberts, située dans le haut Morvan, répond en premier lieu à une problématique archéologique. Dans cette zone géographique, un site d'une grande importance pour la seconde partie de l'âge du Fer, l'*oppidum* de Bibracte, a connu un rayonnement politique et économique considérable jusqu'à la conquête romaine. Il est cité comme l'*oppidum maximum* du puissant peuple éduen par César, qui y séjourna à plusieurs reprises durant la guerre des Gaules. Le choix de l'implantation de cette grande agglomération, située sur le Mont-Beuvray, à 821 m d'altitude, dans une région relativement difficile d'accès, aux conditions météorologiques caractérisées par une importante pluviométrie (site qualifié de *pôle pluviométrique du Morvan... et l'un des pôles de la France septentrionale* par J.-P. Chabin (1996)), et aux sols plutôt pauvres, suscite toujours des interrogations. Par ailleurs, ce site fouillé à partir du XIX<sup>e</sup> siècle, et qui bénéficie d'une structure européenne de recherche archéologique depuis 1984 (Guillaumet, 1996 ; Gruel et Vitali, 1999 ; Guichard et al., 2004), a livré les vestiges d'une activité artisanale métallurgique considérable. De plus, le massif du Morvan, constitué de roches primaires, présente un potentiel métallogénique polymétallique (fig. 1), qui a été exploité jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle (Marcoux, 1986). Enfin, ces dernières années de grandes tranchées, ne pouvant être expliquées par la géomorphologie, ont été retrouvées sur le site même de Bibracte, comme dans l'ensemble du massif du Morvan. Toutes ces données ont conduit les archéologues à s'interroger sur le rôle déterminant de la métallurgie dans l'installation et la prospérité des Eduens dans le haut Morvan.

Afin d'appréhender le phénomène de façon globale, une étude pluridisciplinaire a été engagée pour mesurer l'impact des activités métallurgiques sur l'environnement des sociétés qui les ont pratiquées<sup>1</sup>. L'analyse pollinique a permis de suivre l'impact des activités métallurgiques sur le couvert végétal. Les différentes phases, extraction, réduction, transformation, sont particulièrement consommatrices de bois et donc à l'origine de défrichements perceptibles dans les enregistrements polliniques (Richard et Eschenlohr, 1998). Par ailleurs, la réduction et la transformation du minerai émettent dans l'atmosphère des micropolluants métalliques qui vont ensuite se redéposer au sol. L'analyse géochimique des sédiments permet de retrouver la trace de ces éléments métalliques, et notamment l'analyse géochimique du plomb. Comme pour le matériel sporopollinique, le milieu tourbeux constitue un excellent récepteur et conservateur de ces retombées atmosphériques (Shotyk, 1996 ; Shotyk et al., 1997b ; Martinez Cortizas et al., 2002b). La confrontation des résultats de ces deux types d'analyses va donc permettre de corréliser des phases de défrichements affectant le couvert arboréen avec

l'enregistrement de la paléopollution. Ce type d'analyses, déjà éprouvé dans divers pays européens, notamment en Suisse (Shotyk et al., 1997a ; Shotyk 2002), en Espagne (Martinez Cortizas et al., 1997 ; Martinez Cortizas et al., 2002a), en Grande Bretagne (Mighall et Chambers, 1993 ; Mighall et al., 2002a ; Mighall et al., 2002b ; Mighall et al., 2004) ou encore en Autriche (Küster et Rehfuss, 1997), fait partie des premières expériences réalisées en France (Monna et al., 2004b), avec celles menées au Mont Lozère (Lavoie et al., 2006) et au Pays Basque (Galop et al., 2001 ; Monna et al., 2004a). Cette démarche pluridisciplinaire était aussi l'occasion d'étudier l'évolution de la végétation dans une région jusqu'à maintenant un peu oubliée des analyses paléoenvironnementales. En effet, le Morvan n'avait alors fait l'objet que de deux séries d'analyses polliniques effectuées par G. Lemée dans les années 50 (Lemée, 1951), et d'un diagramme réalisé par H. Richard au début des années 90 (Richard, 1996). Pour mener à bien cette étude paléoenvironnementale, il était nécessaire de trouver un remplissage tourbeux, en contexte naturel, pas trop éloigné du site de Bibracte et qui couvre au moins les 4 derniers millénaires. Toutes ces conditions étaient remplies par la tourbière du Port-des-Lamberts, distante de seulement quelques kilomètres du Mont-Beuvray.



**Figure 1** : Carte géologique du haut Morvan, principales failles et minéralisations, mines modernes. Localisation du Mont-Beuvray et du point de forage. (Conception et cartographie : Ch. Petit).

(1) Cette étude a été menée dans le cadre du programme "Paléoenvironnement" du **Centre Archéologique Européen du Mont-Beuvray** dirigé par V. Guichard (58370 Glux-en-Glenne). L'équipe, sous la direction de Ch. Petit (géoarchéologie), est principalement composée de J.-P. Guillaumet (archéologie-manufacture métallique), F. Monna et B. Forel (géochimie), I. Jouffroy-Bapicot et H. Richard (palynologie).

**La tourbière du Port-des-Lamberts** est située dans le haut Morvan, sur la commune de Glux-en-Glenne, dans le département de la Nièvre. Elle s'est développée sur le versant est et nord-est du Mont Préneley, à une altitude de 700 m environ et sur une surface de presque 6 ha. La tourbière, d'origine soligène, repose sur un substrat géologique majoritairement composé de tufs ryolithes, de quartz et de micas noir, surmonté d'une couche importante d'arène granitique. L'imperméabilité de cette couche, liée à des précipitations importantes et régulières a permis le développement de la formation tourbeuse (Agou, 1997). L'originalité de cette tourbière est de présenter une mosaïque de formations tourbeuses, et donc de formations végétales, des stades pionniers aux stades matures ; cela a justifié son inscription parmi les sites classés de Bourgogne et a motivé un arrêté de biotope. Son environnement proche est typique du paysage du haut Morvan : un hameau de quelques maisons, entouré de pâtures, au sein d'un couvert majoritairement forestier, composé de hêtraies et plantations de résineux. Après avoir testé les profondeurs de l'ensemble de la tourbière, un carottage a été effectué dans la zone qui présentait la plus grande épaisseur de tourbe, à savoir la partie bombée, la plus évoluée. Elle se présente sous la forme d'importantes buttes de sphaignes surmontées par la callune (*Calluna vulgaris*) et la linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*). Ce sondage effectué au carottier russe de type GYK a permis l'obtention d'une carotte de tourbe relativement homogène de 2 mètres.

## 2. - Matériels et méthodes

Sur la même carotte ont été effectuées : l'analyse pollinique, l'analyse géochimique ainsi que 4 datations radiocarbone par AMS.

L'analyse pollinique de la séquence de tourbe a été réalisée avec un pas d'échantillonnage de 4 cm. Les échantillons ont fait l'objet de traitements physicochimiques destinés à extraire les grains de pollen et spores de la matrice organo-minérale (d'après la méthode Frenzel, détaillée dans Feagri et Iversen, 1989). Les grains de pollen et spores ont été identifiés à l'aide de clés de détermination (Moore *et al.*, 1991), de photographies (Reille, 1999) et de la collection de référence du laboratoire de Chrono-écologie. Un minimum de 400 grains de pollen de plante terrestre par lame a été compté, en plus de l'aulne et des cypéracées, taxons dominants et forts pollinisateurs. Le diagramme a été constitué et tracé à l'aide du logiciel Tilia 2.0 et de ses extensions Tilia.graf 2.0 et TGview 1.6.2. (Grimm, 1991-1993).

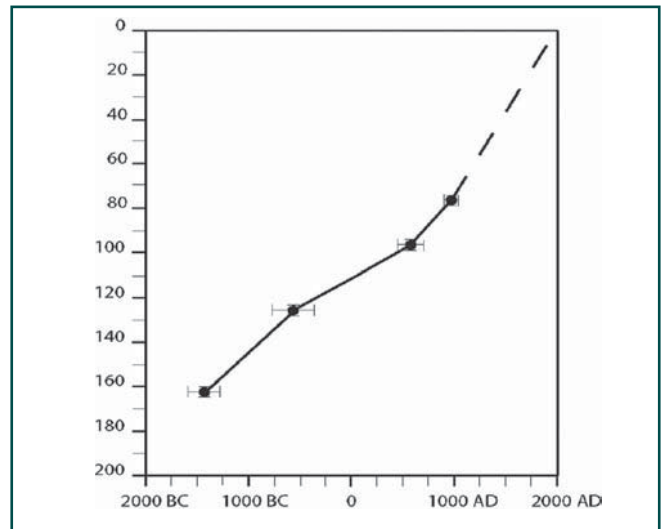


Figure 2 : Taux de sédimentation de la tourbière du Port-des-Lamberts établi sur la base des datations radiocarbone disponibles.

L'analyse géochimique concerne la paléopollution au plomb. Nous ne donnerons ici que les grandes lignes de la méthode qui est détaillée par ailleurs, pour ce site (Monna *et al.*, 2004b), et de manière générale (Monna *et al.*, 1998 ; Monna *et al.*, 2000). Tout d'abord, pourquoi le plomb ? Le plomb est présent et relativement abondant dans de nombreuses minéralisations. Ainsi, les exploitations de cuivre, d'or, d'argent, d'étain des premiers métallurgistes ont émis dans l'atmosphère suffisamment de plomb pour être enregistré dans l'environnement. Ici, l'enrichissement en plomb ne sera pas seulement quantifié sur un critère d'abondance, mais la variation de plomb contenu dans le sédiment est pondérée par la combinaison avec un élément terrigène, le scandium. Grâce à ce ratio, il devient alors possible de discriminer les parts naturelles et anthropiques de l'apport en plomb ; un ratio exprimé par la courbe du Pb anthropique. De plus, l'analyse isotopique du plomb permet de différencier un plomb issu de l'érosion du substratum de celui remobilisé lors des activités paléométallurgiques, et cela grâce à sa signature isotopique, issue du rapport de deux isotopes radiogéniques :  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  (sur les bases de l'analyse isotopique et ses applications, voir aussi Monna, 2001). Cette signature apporte donc une information sur les différences de provenance des paléopollutions.

Profondeur [cm]	Lab. No.	Âge 14C BP	Dates calibrées BC-AD [2 sigma]
77-79	LY-10942	1070 ± 50	[888 (984, 905, 965, 1015) 1028] cal. AD
97-99	LY-10943	1460 ± 60	[441 (605, 617, 635, 585, 565) 664] cal. AD
126-128	LY-10944	2480 ± 40	[790 (583, 643, 661, 587, 544) 407] cal. BC
163-165	LY-10945	3117 ± 54	[1515 (1406, 1325, 1425, 1355) 1225] cal. BC

Tableau 1 : Dates radiocarbone de la séquence du Port-des-Lamberts.

Quatre datations radiocarbone sur tourbe ont été effectuées au Centre des Sciences de la Terre à l'Université de Lyon. La calibration de ces dates a été réalisée avec le logiciel Calib 4.1.3. (Stuiver *et al.*, 1998).

### 3. - Commentaire

#### ZPL-PL1

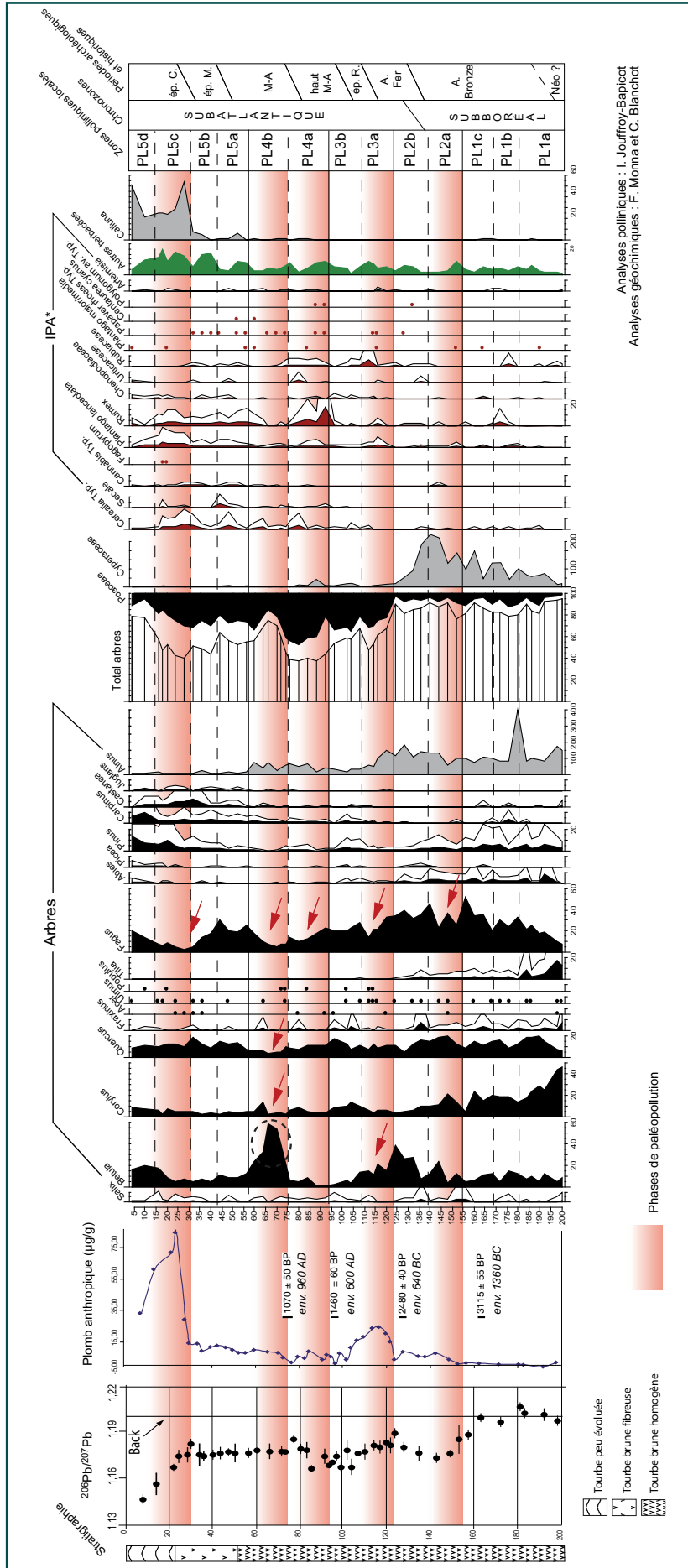
La combinaison des différents spectres ainsi que la datation radiocarbone du niveau 163/165 :  $3095 \pm 75$  BP, permettent d'attribuer le début de la séquence à la transition entre l'Atlantique récent et le début du Subboréal. D'après les spectres polliniques, le couvert végétal semble dominé par la forêt. Durant la zone pollinique locale (ZPL) PL1, la hêtraie-chênaie typique de cette partie du Morvan se met en place, les pourcentages de pollen de chêne (*Quercus*) et encore plus de hêtre (*Fagus*) augmentent régulièrement, alors que ceux du tilleul (*Tilia*), espèce mésothermophile caractéristique de la période Atlantique, diminuent rapidement au cours de la ZPL PL1a. On note la présence discrète mais continue de résineux, notamment le sapin (*Abies*) et le pin (*Pinus*), qui vont diminuer et tendre à disparaître par la suite. L'aulne (*Alnus*) tient une place prépondérante dans la représentation de la pluie pollinique de cette période, avec un taux de plus de 90% des taxons arboréens, lorsqu'il n'est pas retiré de la somme totale des grains de pollen de plantes terrestres. Toutefois, cette représentation est très locale, elle est l'image de l'aulnaie riveraine du cours de l'Yonne et de la zone humide qui l'entoure. La présence de cette aulnaie, dont on ne peut estimer l'étendue spatiale, masque en partie les fluctuations des autres taxons, l'aulne étant de plus un fort producteur pollinique (Janssen, 1959). De ce fait, ses valeurs ont été retirées du calcul de pourcentage total des grains de pollen de plantes terrestres, et sa courbe est exprimée par rapport à ce total. Il en est de même pour les Cypéracées et la callune (*Calluna*), qui sont liés à la dynamique de végétation de la tourbière. Dans le couvert herbacé, on remarque déjà la présence discrète d'indices polliniques d'anthropisation (IPA) (Behre, 1981), avec les occurrences de grains de pollen de plantes cultivées comme les céréales (*Cerealia Typ.*), et du pollen de plantes rudérales, c'est à dire de plantes dont la croissance est favorisée par l'activité humaine. Ici, il s'agit du plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*), des Chenopodiacées et surtout des oseilles (*Rumex*). Ces taxons sont les témoins d'une activité agro-pastorale proche de la zone de forage qui peut être attribuée à la fin du Néolithique et au début de l'âge du Bronze (l'absence de datation des niveaux les plus profonds ne nous permettant pas d'être plus précis).

La zone pollinique 1b enregistre une ouverture du milieu forestier, qui touche le chêne et les résineux : sapin et pin. Parallèlement, la part des Poacées et des taxons de plantes rudérales s'amplifie dans les spectres polliniques. Les assemblages polliniques de la zone suivante, PL1c,

évoquent quant à eux une déprise agricole. Le total de pollen d'arbres est en augmentation, largement influencé par la progression rapide de la courbe du hêtre, dont les taux polliniques passent d'un peu moins de 20 % à plus de 50 % du total des grains de pollen de plantes terrestres comptés. Les IPA, s'ils ne disparaissent pas complètement, n'ont qu'une représentation ténue. Le niveau 163-165, qui se situe dans le courant de cette phase, est daté de [1515 (1406, 1325, 1425, 1355) 1225] cal. BC. Cette datation nous permet de proposer une chronologie pour les événements décrits en zone 1b et 1c. Une première période de défrichement à vocation agro-pastorale, touchant le chêne, le pin et dans une moindre mesure le hêtre, peut être attribuée au Bronze ancien (2300-1700 BC) et la période de déprise qui lui fait suite au Bronze moyen (1700-1200 BC). Cette déprise, affectant le Bronze moyen, a récemment été mise en évidence plus à l'est, sur des sites nord-alpins et jurassiens (Richard et Gauthier, sous presse).

#### ZPL-PL2

La ZPL PL2a débute avec la première chute importante du taux de pollen de hêtre. L'ouverture du milieu provoquée par la chute du hêtre profite aux arbres pionniers, tels que le noisetier (*Corylus*) et le bouleau (*Betula*), ainsi qu'aux Poacées. De même, les pourcentages de chêne connaissent aussi une augmentation sensible. Celle-ci ne correspond par forcément à une augmentation de la part du chêne dans la forêt environnante, mais il a été démontré que l'éclaircissement de la forêt dû à la diminution de la population de hêtre favorisait la pollinisation des fleurs de chênes (Troels-Smith, 1981). Au cours de cette phase, les indices d'activités agropastorales, même s'ils n'ont pas complètement disparus, puisque que l'on note la présence d'espèces rudérales comme les oseilles et le plantain lancéolé, sont toutefois très discrets et les céréales quasi inexistantes. La combinaison de ces spectres polliniques, qui évoque la diminution massive d'un arbre, le hêtre, sans qu'elle soit accompagnée d'une hausse significative des témoins d'une activité agro-pastorale, correspond au premier signal clair sur la courbe isotopique d'un apport de plomb anthropique. La corrélation de ces deux événements rend très vraisemblable l'hypothèse d'une première activité métallurgique autour du Mont-Beuvray. Cet événement peut être attribué avec grande vraisemblance au Bronze final (1200-700 av. notre ère) grâce aux datations radiocarbone qui l'encadrent : [1515 (1406, 1325, 1425, 1355) 1225] cal. BC en PL1c, et [790 (583, 643, 661, 587, 544) 407] cal. BC en zone 2b. Les données archéologiques pour cette période sont encore lacunaires et consistent surtout en trouvailles isolées dans le Morvan (Chevrier, 2002), hormis le site de Blanot (21), un riche dépôt votif du Bronze final, composé de vaisselle en bronze et de parures en or et en bronze (Thévenot, 1991).



**Figure 3:** Diagramme pollinique et courbes géochimique de la tourbière du Port-des-Lamberts (Glux-en-Glenne - 58). Diagramme pollinique simplifié, les taxons herbacés dont la représentation est toujours inférieure à 1% ont été retirés, hormis les IPA\*. Indices Polliniques d'Anthropisation. Les arbustes, faiblement représentés, et qui ne présentent pas de variations significatives, ne sont pas non plus figurés. Courbes du plomb anthropique et ratio des isotopes 206Pb/207Pb

ZPL	Strate arboréenne	Strate herbacée	Pb anthropique, <sup>206</sup> Pb/ <sup>207</sup> Pb
PL5d	Le taux de pollen d'arbre poursuit la courbe ascendante amorcée durant la phase précédente. <i>Fagus</i> atteint à nouveau les 20 %, les plantations de résineux sont de plus en plus perceptibles, avec notamment <i>Pinus</i> .	La représentation pollinique du couvert herbacé continue de diminuer considérablement, qu'il s'agisse des Poaceae et autres herbacées, ou des plantes liées à l'activité humaine.	La teneur en Pb anthropique est toujours en baisse, mais le rapport isotopique se rapproche régulièrement de 1,14.
PL5c	Alors que <i>Quercus</i> et <i>Corylus</i> stagnent, <i>Fagus</i> reprend doucement de l'importance. Mais la nouveauté vient surtout de la présence plus marquée des résineux : <i>Pinus</i> , suivi de <i>Picea</i> et d' <i>Abies</i> en fin de zone.	On constate une augmentation du taux de pollen de <i>Cerealia Typ.</i> , de <i>Plantago lanceolata</i> et de <i>Rumex</i> . Le pourcentage de <i>Calluna</i> croît très rapidement.	La courbe de Pb anthropique connaît ici un pic spectaculaire. Elle atteint son maximum avec une valeur de 84 µg/g au niveau 24, avant de diminuer en fin de zone.
PL5b	Après avoir atteint un taux de 20 %, <i>Fagus</i> diminue tout au long de cette phase, et arrive en dessous des 5 % au niveau 34. Les autres espèces de la chênaie mixte ont une présence constante discrète, hormis <i>Quercus</i> qui reprend de l'importance.	Les indices d'anthropisation décroissent progressivement tout au long de la période.	Au cours de ces deux phases, la courbe du Pb anthropique reste stable, dans la continuité de la zone 4b. Les valeurs isotopiques forment aussi un groupe très homogène autour de 1,17.
PL5a	<i>Fagus</i> et <i>Quercus</i> sont à nouveau les taxons dominants, au détriment de <i>Betula</i> . Les taux de <i>Carpinus</i> , présent sporadiquement dans les zones précédentes, augmentent pour se stabiliser de façon durable autour de 5 %. La présence de pollen de <i>Castanea</i> et <i>Juglans</i> , espèces favorisées par l'Homme, est aussi plus importante et régulière.	Un taux relativement stable de Poaceae oscille entre 25 et 30% et le taux cumulé des IPA dépasse ici les 10 %. Localement, <i>Calluna</i> fait son apparition.	
PL4b	Suite à la baisse générale des taxons arboréens qui affecte la phase précédente, le pourcentage des espèces pionnières est en augmentation : <i>Betula</i> surtout et <i>Corylus</i> dans une moindre mesure. En fin de zone, le taux de <i>Fagus</i> remonte rapidement.	Le pollen de <i>Cerealia Typ.</i> et de plantes rudérales et messicoles, malgré une légère diminution, est toujours bien présent.	Le Pb anthropique, à nouveau proche de zéro en fin de zone précédente, rejoint des valeurs qui resteront durablement entre 7 et 11 µg/g
PL4a	Après une légère reprise, on observe une nouvelle chute du nombre de grains de pollen d'arbres ; tous sont concernés sans exception. Le taux de représentation du couvert forestier est alors au plus bas, avec à peine plus de 30 %.	Les pourcentages des taxons favorisés par l'activité humaine, présents dans le spectre, sont tous en augmentation, particulièrement <i>Rumex</i> . Il en est de même pour <i>Cerealia Typ.</i>	La courbe du Pb anthropique connaît une nouvelle progression, toutefois moins importante que la précédente.
PL3b	L'image pollinique de la hêtraie-chênaie reprend de l'importance, alors que <i>Betula</i> tend à disparaître. Le taux de pollen d' <i>Alnus</i> est lui aussi durablement diminué.	Les occurrences de <i>Cerealia Typ.</i> sont maintenant constantes, et les premiers grains de pollen de <i>Secale</i> font leur apparition.	La courbe décroît de façon régulière et spectaculaire tout au long de la période pour rejoindre des valeurs proches de zéro.
PL3a	Elle est marquée par une baisse drastique des taxons arboréens, et notamment de <i>Fagus</i> , suivi d' <i>Alnus</i> . Cette zone marque aussi la disparition quasi-totale de <i>Tilia</i> et d' <i>Abies</i> .	La chute des taxons arboréens est accompagnée par une hausse sensible des Poaceae, une diversification importante des autres herbacées et une présence régulière des IPA.	On note ici une augmentation rapide et remarquable du Pb d'origine anthropique, qui culmine autour de 24 µg/g au niveau 117.
PL2b	Les taux de pollen d'arbres sont toujours largement dominants. A côté d' <i>Alnus</i> , <i>Fagus</i> tient une place prépondérante, elle aussi plutôt stable. <i>Betula</i> augmente régulièrement.	La strate herbacée est marquée par la chute spectaculaire du taux de pollen de Cyperaceae, alors que le taux des autres herbacées restent constant.	Les valeurs restent stables par rapport à la fin de la période précédente.
PL2a	Le début de cette phase enregistre une brutale diminution du taux de <i>Fagus</i> , alors que <i>Quercus</i> , <i>Betula</i> et <i>Corylus</i> , après la légère chute en fin de période précédente reprennent de l'importance. Le phénomène s'inverse ensuite. Les taux d' <i>Alnus</i> restent relativement constants.	L'ouverture liée à la chute de <i>Fagus</i> coïncide avec une poussée importante des Cyperaceae, alors que les autres herbacées, Poaceae et indices d'anthropisation, restent faiblement représentés. Il n'y a pas de pollen de <i>Cerealia Typ.</i>	A partir du niveau 149, les valeurs du Pb anthropique augmentent nettement et durablement et les valeurs isotopiques sont modifiées.
PL1c	La zone est marquée par l'augmentation très nette du taux de pollen de <i>Fagus</i> , au détriment de <i>Quercus</i> , <i>Corylus</i> et <i>Betula</i> .	Le couvert herbacé diminue en pourcentage et en variété. Quelques indices sporadiques d'activité agropastorale subsistent toutefois.	Durant toute cette première phase, les valeurs du Pb anthropique d'origine atmosphérique restent autour de zéro. La signature isotopique, autour de 1,19, est celle du plomb indigène.
PL1b	Les principaux taxons arboréens, <i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> et <i>Alnus</i> diminuent, alors que <i>Corylus</i> , essence pionnière qui était en diminution constante lors de la phase précédente, reprend de l'importance.	Alors que la courbe des Cyperaceae diminue, on observe une nette augmentation des IPA, principalement <i>Cerealia Typ.</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Rumex</i> et les Rubiaceae, même s'ils restent faibles en proportion.	
PL1a	Le début du diagramme pollinique est caractérisé par des taux de pollen d'arbre dominants (autour de 90 %). <i>Fagus</i> et <i>Quercus</i> tiennent une place de plus en plus importante. A l'inverse, <i>Corylus</i> , tout d'abord dominant, ainsi que <i>Tilia</i> , diminuent régulièrement. <i>Alnus</i> est déjà très présent localement.	La représentation pollinique du couvert herbacé est très largement dominée par les Cyperaceae. Toutefois, on note déjà une discrète présence d'indices d'anthropisation, avec la trace de <i>Cerealia Typ.</i> et de plantes rudérales comme <i>Plantago lanceolata</i> , les Urticaceae ou encore les Rubiaceae.	

Tableau 2 : description du diagramme, Zones Polliniques Locales (ZPL), ratio <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb et courbe du plomb anthropique (sens de lecture : de bas en haut).

Suite à cette phase, la ZPL 2b montre une stabilisation de la courbe du Pb anthropique. En ce qui concerne les assemblages polliniques, les pourcentages de hêtre, après une augmentation rapide, restent relativement stables. Au niveau de la zone proche du forage une baisse importante et définitive des Cypéracées est concomitante de la prise d'importance du bouleau, ce qui peut évoquer une évolution locale de la zone humide. Cette période correspond très certainement au premier âge du Fer (environ 750-450 avant notre ère), période pour laquelle dans le haut Morvan, à la différence du nord du Morvan, les témoignages archéologiques sont peu fréquents.

### ZPL PL3

La zone pollinique suivante, PL3a, montre une remarquable corrélation entre une chute drastique du taux de pollen de hêtre et un pic important d'apport en plomb anthropique, qui ne sera dépassé que par la pollution atmosphérique contemporaine. Cette chute est accompagnée d'une diminution tout aussi spectaculaire du taux de bouleau. De même, la représentation pollinique de l'aulnaie locale est elle aussi affectée, et elle ne fera ensuite que stagner durablement. Le couvert forestier en général semble subir un défrichement de grande ampleur : le total des taxons arboréens passe d'environ 90 % au début de la phase à un peu moins de 50 % au niveau -112. Cette zone correspond à une ouverture du milieu plus importante que la précédente, mais aussi à une période où les témoignages d'activités agro-pastorales sont très significatifs. Un changement durable est imprimé au paysage. Les datations par le radiocarbone permettent d'attribuer cette phase au second âge du Fer (II<sup>e</sup>-I<sup>er</sup> siècles av. notre ère). Cette nouvelle dimension prise par les activités humaines décelées dans le diagramme pollinique, accompagnée d'un apport en plomb anthropique, répond tout à fait à l'importance de l'occupation de Bibracte durant les deux derniers siècles de notre ère, occupation au sein de laquelle l'activité métallurgique tient une part importante (Gruel et Vitali, 1999).

Le début de la ZPL 3b voit le couvert forestier reprendre rapidement de l'importance comme le montrent les courbes de hêtre et de noisetier, suivies de celle du chêne dans un second temps. Seule la représentation du bouleau continue à s'amenuiser, la présence locale de la forêt ne permettant certainement pas à cette essence héliophile de retrouver sa place. Le charme (*Carpinus*), qui ne connaissait alors que quelques occurrences sporadiques commence à être plus présent. Toutefois, au cours de la période, ce couvert forestier ne cesse de décroître et les indices d'activité humaine sont présents de manière discrète mais continue. Le seigle (*Secale*), fait son apparition dans le courant de cette phase, que l'on peut attribuer à l'époque romaine. La baisse de fréquentation du lieu, qu'évoquent les assemblages polliniques et la baisse du plomb anthropique, est en adéquation avec les données

archéologiques et historiques. En effet, après la conquête romaine, l'*oppidum* de Bibracte est rapidement délaissé à la faveur de la nouvelle cité d'*Augustodunum* (Autun actuelle), fondation augustéenne à l'est du massif du Morvan, dans la vallée de l'Arroux. La vie économique, sociale, culturelle mais aussi l'artisanat métallurgique (Chardron-Picault et Pernot, 1999) sont transférés dans la nouvelle "capitale" éduenne.

### ZPL PL4

Au début de la ZPL PL4a, une nouvelle chute du taux de pollen de hêtre est associée à des indices d'activité agro-pastorale qui n'ont encore jamais été aussi importants. Au même moment, la courbe du plomb anthropique augmente à nouveau, et cet enrichissement en plomb est assorti d'une nouvelle signature isotopique. Ces indices d'activités humaines agropastorales et paléométallurgiques sont ici beaucoup plus surprenants. Deux datations radiocarbone encadrent cette période : [441 (605, 617, 635, 585, 565) 664] cal. AD au niveau 97-99 et [888 (984, 905, 965, 1015) 1028] cal. AD au niveau 77-79. Elles permettent d'attribuer cette phase au haut Moyen-Âge, période plutôt connue pour le recul de population qui suit l'instabilité de la chute l'Empire romain. Nous pourrions donc être ici en présence d'un habitat local pérenne des époques mérovingienne et/ou carolingienne ; une donnée nouvelle qui reste à vérifier archéologiquement.

La zone suivante, PL4b, après une légère phase de reprise forestière, enregistre une nouvelle déforestation drastique. A la différence des défrichements précédents elle semble toucher massivement l'ensemble des essences forestières dominantes, non plus seulement le hêtre, mais aussi le chêne et le noisetier. A l'inverse, les taux de pollen de bouleau forment un pic spectaculaire, profitant probablement de l'ouverture du couvert forestier. Il faut toutefois rester prudent dans l'interprétation, cette forte augmentation pouvant également résulter d'une dynamique propre à la tourbière, qui connaîtrait un assèchement passager ; celui-ci pouvant par ailleurs résulter de l'exploitation intense du milieu forestier de cette époque. Cette phase, qui fait suite à une datation d'autour de l'an mil, correspond à la manifestation locale d'un essor des activités métallurgiques du XI<sup>e</sup> siècle, à l'échelle européenne. Malheureusement, ici encore, les données archéologiques locales font défaut pour aller plus loin dans l'interprétation.

### ZPL PL5

Une nouvelle augmentation de la représentation du hêtre, observée en zone PL5a, pourrait correspondre aux débuts de l'exploitation des forêts seigneuriales pour le chauffage de Paris. Dès la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, les forêts du massif du Morvan vont en effet approvisionner Paris en bois de chauffe pour plusieurs siècles. Les possesseurs de

grands massifs forestiers, pour une grande part issus de la noblesse parisienne, mais aussi de l'aristocratie et de la noblesse locales, prennent conscience de l'enrichissement qu'ils peuvent tirer de cette activité. Les défrichements à vocation agro-pastorale sont alors strictement limités. Par ailleurs, le hêtre, excellent bois de chauffe, est favorisé (Vigreux, 1994). La forêt de Glux-en-Glenne, propriété de la famille d'Abboville, a activement participé à ce nouvel essor. La tourbière du Port-des-Lamberts est donc directement concernée par cette activité, dont elle tire son nom. Les "ports", étaient les lieux où l'on déchargeait et jetait à l'eau les bûches qui partaient pour le flottage. C'est ici le premier port sur l'Yonne, à quelques centaines de mètres de sa source. Un étang est aménagé en contrebas de la tourbière, pour réguler le cours de l'Yonne et effectuer des lâchers d'eau pour le départ du flot. En ce qui concerne les activités agropastorales, les taux de pollen de céréales et de plantes rudérales sont en augmentation. De plus, les taxons de plantes messicoles, c'est-à-dire les mauvaises herbes des cultures, comme le coquelicot (*Papaver Rhoeas*) ou le bleuet (*Centaurea Cyanus*), sont plus présents qu'auparavant. Autant d'indices qui vont dans le sens de cultures proches régulières. La présence du pollen de châtaignier (*Castanea*) et dans une moindre mesure de noyer (*Juglans*), s'intensifie. Les fruits de ces arbres apportent un complément alimentaire non négligeable aux populations locales. Les témoignages de pollutions atmosphériques restent quant à eux constants, qu'il s'agisse de la courbe du plomb anthropique ou de la signature isotopique de l'enrichissement. Difficile alors dans ces conditions de trancher entre un effet résiduel des exploitations précédentes ou d'une activité métallurgique relativement constante.

La chute drastique du taux de hêtre en zone suivante, la ZPL PL5b, semble être le résultat de l'exploitation intense de cette essence comme bois de chauffe. A l'inverse, la représentation du chêne augmente régulièrement. Toutefois, cette impression de disparition quasi-totale du hêtre dans la forêt environnante, avec un taux qui passe de 30% à moins de 5% sur une douzaine de centimètres, doit être pondérée. La forêt est alors exploitée en taillis fureté, un tiers des rejets sur souche étant prélevé tous les dix ans (Vaucoulon et Chiffaut, 2004, Vigreux, 1994). Ce type d'exploitation, qui conduit à un épuisement de la souche, a aussi certainement des répercussions sur la production pollinique de l'arbre. Il faut donc plutôt imaginer une forêt avec une population de hêtres en taillis dont la production pollinique est très faible.

Au cours de la ZPL PL5c, l'augmentation progressive du taux de pollen de hêtre, pourrait correspondre, au début du XX<sup>e</sup> siècle, à l'arrêt complet de la production de bois de chauffe. Durement concurrencé par le charbon de Lorraine, l'activité, qui avait commencé à décliner au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, s'arrête définitivement dans les années 20. Le comportement d'autres taxons, telle l'augmentation des taux de résineux et notamment du pin, va

dans le sens de cette datation. Des archives mentionnent les premières expériences de plantation de résineux dans le Morvan entre le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et le début du XX<sup>e</sup> (archives citées dans Seguin, 1988). De même, la reprise de la culture céréalière et l'apparition du sarrasin (*Fagopyrum*) dans le diagramme pollinique reflètent les cultures traditionnelles morvandes du début du XX<sup>e</sup> siècle, avant l'installation quasi exclusive de l'élevage bovin (Crosnier, 1998). Enfin, la pollution atmosphérique, prend ici une ampleur encore inégalée, l'apport anthropique est très important et les signatures isotopiques se dirigent régulièrement vers un ratio plus bas. Ici, plusieurs facteurs sont susceptibles de se combiner. Localement, les archives témoignent d'une reprise de l'exploitation minière dans l'ensemble du Morvan. Toutefois, une pollution plus globale entre maintenant largement en compte, celle de l'ère post industrielle, puis plus spécifiquement la pollution liée aux carburants.

Enfin, au cours la zone PL5b, l'augmentation du taux total de pollen d'arbres se poursuit et s'intensifie. Avec presque 80% au niveau 4, il rejoint des valeurs qu'il n'avait plus égalées depuis la zone PL2b, c'est-à-dire le début de l'âge du Fer. Parallèlement, les taux de Poaceae et des autres herbacées diminuent rapidement, et les IPA tendent à disparaître. C'est l'image du paysage actuel, à nouveau de plus en plus forestier, qui se met en place. Toutefois, l'enrésinement du Morvan, replanté d'épicéa et de pin douglas depuis le début des années 60 (Vaucoulon et Chiffaut, 2004), très visible dans le paysage, est ici peu perceptible. Peut-être à cause de la situation de la tourbière sur le bas des pentes du Mont Préneley, site classé et protégé de Bourgogne, où est encore préservée une belle hêtraie typique du haut Morvan.

## 4. - Conclusion

L'étude conjointe de palynologie et de géochimie du plomb, réalisée sur la séquence de tourbe du Port-des-Lamberts, a donné des résultats très probants dans le cadre de la problématique paléométallurgique, sur le massif du Morvan. Cinq phases d'activités métallurgiques, du Bronze final à la période contemporaine, ont pu être mises en évidence. Toutes ont eu un impact relativement durable sur le couvert forestier, combinées ou non à des phases d'intensification des activités agropastorales. Ainsi, les activités métallurgiques, même précoces, telles ici celles de l'âge du Fer, peuvent-elles avoir un impact majeur sur le couvert forestier. Ce phénomène a déjà été démontré pour d'autres activités préindustrielles fortement consommatrices de bois, comme par exemple l'exploitation du sel dans le Jura (Dufraisse et Gauthier, 2002). Autour du Mont Beuvray, les défrichements semblent avoir principalement touché le hêtre, réputé être un excellent bois de chauffe, mais qui est aussi l'essence dominante de la forêt du haut Morvan. Il est donc difficile de déterminer dans cette préférence la



part des qualités intrinsèques de cette essence et celle de sa disponibilité. Concernant les paléopollutions, environ 20 % du plomb anthropique a été déposé avant notre ère, et 50 % avant le XVIII<sup>e</sup> siècle. Ces données paléoenvironnementales montrent l'impact très important des activités préindustrielles de cette région, devenue aujourd'hui l'une des moins industrialisées de France. Un héritage qui doit être pris en compte dans les évaluations de la qualité de l'environnement actuel.

Reste encore à l'archéologie à déterminer la nature exacte des activités métallurgiques : extraction, réduction, manufacture métallique. Si la dernière phase est bien connue pour la fin de l'âge du Fer, les preuves d'extraction sont encore à mettre au jour. Dans ce sens, la fouille de minières potentielles est entreprise en 2005, sur le site même de Bibracte.

La suite de cette étude s'attache maintenant à la spatialisation des phénomènes révélés : défrichements, pollutions. S'agissant de la pluie pollinique il est maintenant avéré que les petits réceptacles, petits lacs, petites tourbières comme c'est le cas ici, enregistrent un signal local. En est-il de même pour le signal paléopollution ? Pour tenter une histoire au niveau du massif il est donc nécessaire de multiplier ce type d'approche. Ainsi, cette première étude approfondie de l'évolution de la forêt morvandelle, en relation avec les activités humaines locales successives, est-elle poursuivie par l'étude de forages effectués dans l'ensemble du massif. Ces études polliniques et leur confrontation aux autres données paléoenvironnementales et archéologiques devront aboutir à une histoire du couvert végétal du Morvan, non plus déduite de ce que l'on connaît des zones voisines, mais qui s'appuie sur un faisceau d'analyses régionales.

## Bibliographie

AGOU P., 1997, *Plan de gestion biologique de la tourbière du Port des Lamberts*, Life-Nature "Programme de protection des tourbières de France", Conservatoire des Sites Naturels Bourguignons, Quétigny, 23 p.

BEHRE K.-E., 1981, The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams, *Pollen et spores*, 23, p.225-245.

CHABIN J.-P., 1996, Le climat du Mont Beuvray. Evaluation de quelques valeurs essentielles, in: O. Buchsenschutz et H. Richard (éds.), *L'environnement du Mont Beuvray*, Glux-en-Glenne : Centre archéologique européen du Mont Beuvray, p.39-50.

CHARDRON-PICAULT P., PERNOT M. (éd.), 1999, *Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun*, Paris : Maison des Sciences de l'Homme, 316 p. (DAF ; 76).

CHEVRIER S., 2002, L'âge du Bronze dans le département de la Nièvre : état de la recherche et bilan documentaire, *Revue archéologique de l'Est*, 51 (2001/2002), p.7-43.

CROSNIER C., 1998, *La cueillette des savoirs. Les usages du végétal. Morvan-Bourgogne*, Saint-Brissson : Parc Naturel Régional du Morvan.

DUFRAISSE A., GAUTHIER E., 2002, Exploitation des sources salées en Franche-Comté : impact sur l'espace forestier du Néolithique à la période médiévale. In: O. Weller (éd.) *Achéologie du sel. Techniques et sociétés dans la Pré- et Protohistoire européenne. Actes du Colloque 12.2 XVe congrès UISPP, 4/09/01, Liège et de la Table Ronde du Comité des Salines de France, 18/05/98, Paris, Radhen/Westf. : Marie Leidorf, p.243-257.*

FEAGRI K., IVERSEN J., 1989, *Textbook of Pollen Analysis*, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley & Sons, 328 p

GALOP D., TUAL M., MONNA F., DOMINIK J., et al., 2001, Cinq millénaires de métallurgie en montagne basque. Les apports d'une démarche intégrée alliant palynologie et géochimie isotopique du plomb, *Sud-Ouest Européen*, 11, p.3-15.

GRIMM E., 1991-1993, *Tilia and Tilia Graph*

GRUEL K., VITALI D. (éd.), 1999, L'Oppidum de Bibracte. Un bilan de onze années de recherche (1984-1995), *Gallia*, 1998, 55, Paris : CNRS, 140 p.

GUICHARD V., BARRAL P., BECK P., BONENFANT P.-P., et al., 2004, Un aperçu des acquis récents des recherches sur l'oppidum de Bibracte (1997-2002), *Revue archéologique de l'Est*, 52, p.45-90.

GUILLAUMET J.-P., 1996, *Bibracte. Bibliographie et plans anciens*, Paris : Maison des Sciences de l'Homme, 167 p. (DAF ; 57).

JANSSEN C. R., 1959, *Alnus* as a disturbing Factor in Pollen Diagrams, *Acta botanica Neerlandica*, 8, p.55-58.

KÜSTER H., REHFUESS K.-E., 1997, Pb and Cd Concentrations in a Southern Bavarian Bog Profile and the History of Vegetation as Recorded by Pollen Analysis, *Water, Air, & Soil Pollution*, 100 (3-4), p.379-386.

- LAVOIE M., PULIDO M., BARON S., PLOQUIN, A., *et al.*, 2006, Le plomb argentifère ancien du Mont Lozère (Massif Central) : une approche historique géologique et paléoenvironnementale, in Y. Miras et F. Surmely (éds.), *Gestion des paléoenvironnements et stratégies d'exploitation des milieux de moyenne montagne. Actes du séminaire de Pierrefort, juin 2003*, Besançon : Presses Universitaires Franc-Comtoise, p.135-143.
- LEMÉE G., 1951, L'évolution forestière postglaciaire en Haut Morvan d'après l'analyse pollinique, *Bulletin de la Société Botanique de France*, 98, p.220-225.
- MARCOUX E., 1986, *Isotopes du plomb et paragenèses métalliques, traceurs de l'histoire des gîtes minéraux : illustration des concepts de source, d'héritage et de régionalisme dans les gîtes français : applications en recherche minière*, Orléans : Ed. du BRGM.
- MARTINEZ CORTIZAS A., PONTEVEDRA-POMBAL X., MUNOZ J. C., GARCIA-RODEJA E., 1997, Four Thousand Years of Atmospheric Pb, Cd and Zn Deposition Recorded by the Ombrotrophic Peat Bog of Penido Vello (Northwestern Spain), *Water, Air, & Soil Pollution*, 100 (3-4), p.387-403.
- MARTINEZ CORTIZAS A., GARCIA-RODEJA E., PONTEVEDRA POMBAL X., NOVOA MUNOZ J. C., *et al.*, 2002a, Atmospheric Pb deposition in Spain during the last 4600 years recorded by two ombrotrophic peat bogs and implications for the use of peat as archive, *The Science of The Total Environment*, 292 (1-2), p.33-44.
- MARTINEZ CORTIZAS A., GARCIA-RODEJA GAYOSO E., WEISS D., 2002b, Peat bog archives of atmospheric metal deposition, *The Science of The Total Environment*, 292 (1-2), p.1-5.
- MIGHALL T. M., CHAMBERS F., 1993, Early mining and metal working: its impact on the environment, *Historical Metallurgy*, 27 (2), p.71-83.
- MIGHALL T. M., ABRAHAMS P. W., GRATTAN J. P., HAYES D., *et al.*, 2002a, Geochemical evidence for atmospheric pollution derived from prehistoric copper mining at Copa Hill, Cwmystwyth, mid-Wales, UK, *The Science of The Total Environment*, 292 (1-2), p.69-80.
- MIGHALL T. M., GRATTAN J. P., TIMBERLAKE S., LEES J. A., *et al.*, 2002b, An atmospheric pollution history for lead-zinc mining from the Ystwyth Valley, Dyfed, mid-Wales, UK as recorded by an upland blanket peat, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2, p.175-184.
- MIGHALL T. M., DUMAYNE-PEATY L., CRANSTONE D., 2004, A record of atmospheric pollution and vegetation change as recorded in three peat bogs from the Northern Pennines Pb-Sn orefield, *Environmental Archaeology*, 9, p.13-38.
- MONNA F., LOIZEAU J.-L., THOMAS B. A., GUÉGUEN C., *et al.*, 1998, Pb and Sr isotope measurements by inductively coupled plasma - mass spectrometer: efficient time management for precise improvement, *Spectrochim. Acta*, B. 59, p.1317-1333.
- MONNA F., LOIZEAU J.-L., THOMAS B. A., GUÉGUEN C., *et al.*, 2000, Noise identification and sampling frequency determination for precise isotopic measurements by quadrupole-based Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, *Analisis*, 28, p.750-757.
- MONNA F., 2001, Un héritage de plomb, *La Recherche*, 340, p.50-54.
- MONNA F., GALOP D., CAROZZA L., TUAL M., *et al.*, 2004a, Environmental impact of early Basque mining and smelting recorded in a high ash minerogenic peat deposit, *Science of The Total Environment*, 327 (1-3), p.197-214.
- MONNA F., PETIT C., GUILLAUMET J.-P., JOUFFROY-BAPICOT I., *et al.*, 2004b, History and environmental impact of mining activity in Celtic Aeduan territory recorded in a peat-bog (Morvan – France), *Environmental Science & Technology*, 38 (3), p.665-673.
- MOORE P. D., WEBB J. A., COLLINSON M. E., 1991, *Pollen Analysis*, Oxford-London-Edinburgh-Malden-Victoria-Paris : Blackwell Science, 216 p.
- REILLE M., 1999, *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Marseille : Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, 535 p.
- RICHARD H., 1996, Analyses palynologiques sur le site et aux alentours, in O. Buchsenschutz et H. Richard (éds.), *L'environnement du Mont Beuvray*, Glux-en-Glenne : Centre archéologique européen du Mont Beuvray, p. 89-98.
- RICHARD H., ESCHENLOHR L., 1998, Essai de corrélation entre les données polliniques et les données archéologiques : Le cas des forêts de Lajoux dans les Franches-Montagnes (Lajoux, Ju, Suisse), *Revue d'Archéométrie*, 22, p.29-37.
- RICHARD H., GAUTHIER E., sous presse, Bilan des données polliniques concernant l'âge du Bronze dans le Jura et le nord des Alpes, in : *Emprises, déprises et rythmes agricoles à l'âge du Bronze*, Paris-Besançon : ed. CTHS-Presses Universitaires Franc-Comtoises.

SEGUIN C., 1988, *Un domaine rural au XIX<sup>e</sup> siècle. La Boulaye (1830-1914). Commune de la Petite-Verrière. Saône-et-Loire. Etude économique, politique et sociale.* Dijon, Université de Bourgogne, 2 vol., mémoire de maîtrise. [Multigraphié].

SHOTYK W., 1996, Peat bog archives of atmospheric metal depositional: geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations, and metal enrichment factors, *Environmental Reviews*, 4, p.149-183.

SHOTYK W., CHEBURKIN A. K., APPLEBY P. G., FANKHAUSER A., *et al.*, 1997a, Lead in Three Peat Bog Profiles, Jura Mountains, Switzerland: Enrichment Factors, Isotopic Composition, and Chronology of Atmospheric Deposition, *Water, Air, & Soil Pollution*, 100 (3-4), p.297-310.

SHOTYK W., NORTON S. A., FARMER J. G., 1997b, Summary of the Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, *Water, Air, & Soil Pollution*, 100 (3-4), p.213-219.

SHOTYK W., 2002, The chronology of anthropogenic, atmospheric Pb deposition recorded by peat cores in three minerogenic peat deposits from Switzerland, *The Science of The Total Environment*, 292 (1-2), p.19-31.

STUIVER M., REIMER P. J., BARD E., BECK J. W., *et al.*, 1998, INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000-0 cal BP, *Radiocarbon*, 40 (3), p.1041-1083.

THÉVENOT J-P., 1991, *L'âge du bronze en Bourgogne : le dépôt de Blanot, Côte-d'Or, Dijon-Montagnac* : Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est, éd. M. Mergoil, 158 p.

TROELS-SMITH J., 1981, Naturwissenschaftliche Beiträge sur Pfahlbauforschung, *Archäologie der Schweiz. Archéologie suisse*, 4, p.98-111.

VAUCOULON P., CHIFFAUT A., 2004, *La Bourgogne. Paysages naturels, faune et flore*, Paris : Delachaux et Niestlé, 324 p.

VIGREUX M., 1994, Une révolution économique pour le Morvan : le flottage du bois, *Courrier du Parc Naturel Régional du Morvan*, 25, p.8-14.