

PALÉOMÉTALLURGIE DANS LE MORVAN : L'APPORT DES ANALYSES POLLINIQUES ET GÉOCHIMIQUES

Isabelle JOUFFROY-BAPICOT

Laboratoire de Chrono-environnement, UMR 6249 CNRS/UFC
UFR Sciences et Techniques / Université de Franche-Comté, Besançon

Benoît FOREL, Fabrice MONNA et Christophe PETIT
Laboratoire ARTÉHIS, UMR 5594 CNRS / Université de Bourgogne, Dijon

RÉSUMÉ

Des activités paléométallurgiques ont été mises en évidence dès le début du II^e millénaire avant notre ère dans le massif du Morvan (Bourgogne, France) grâce à l'étude paléoenvironnementale de trois séquences de tourbe. Les analyses palynologiques et géochimiques, menées en parallèle, montrent des phases de défrichements contemporaines d'indices de paléopollution métallique. La comparaison des résultats obtenus sur les trois sites d'étude tend à montrer que les signaux présents révèlent une histoire strictement locale. Seule la multiplication des séquences analysées permet d'aborder l'histoire des activités minières et métallurgiques à l'échelle du massif, probable source de minerais dès le début de l'Âge du Bronze.

ABSTRACT

Palaeometallurgical activities in the Morvan: the contribution of pollen and geochemical analyses
Palaeoenvironmental research was carried out on three peat cores collected in the Morvan mid-level mountain (Burgundy, France), documenting early palaeometallurgical activities from the 2nd millennium BC. Pollen and geochemical analyses show contemporaneous clearings of forests in close connection with metallic contaminations. The comparison between each of the three sites shows that this kind of study in such an environment documents a local impact of paleometallurgy. Studying many sequences allows the reconstruction of the regional history of the Morvan Mountain. Thus, the Morvan could have been an ore-producing area since the beginning of the Bronze Age.

Introduction

L'occupation humaine pré- et protohistorique du massif du Morvan est surtout bien connue à partir de l'Âge du Fer. Les recherches archéologiques menées à Bibracte depuis plus d'un siècle et relayées aujourd'hui par la présence d'un Centre de recherches archéologiques européen permettent une connaissance approfondie de l'oppidum celtique situé sur le mont Beuvray, au cœur du haut Morvan. La volonté de replacer cet important site gaulois dans son environnement naturel et humain s'est renforcée depuis les premiers travaux des années 1990 (Buchsenschutz et Richard, 1996). Toutefois, les périodes précédant l'installation de Bibracte restent mal connues, à l'image de l'Âge du Bronze, principalement documenté par des données issues de prospections pédestres et de trouvailles de surfaces (Chevrier, 2002). De plus, le couvert végétal actuel du Morvan, composé de forêts et de prairies, ne facilite pas le travail de prospection. Ainsi, le second Âge du Fer, avec l'installation et l'essor de l'oppidum de Bibracte, est encore souvent présenté comme le réel début de l'installation humaine dans le Morvan.

Ces dernières années, l'importance de l'activité métallurgique à Bibracte, attestée par la présence de nombreux ateliers et l'abondance des ressources polymétalliques du massif hercynien du Morvan, ont amené les archéologues à se poser la question du rôle de l'exploitation métallurgique dans l'installation et la prospérité de la ville éduenne (Guillaumet, 2001). La découverte de grandes tranchées, dont l'origine ne semble pas naturelle, sur le site même de Bibracte ainsi qu'en de nombreux points du massif du Morvan, vient apporter des arguments supplémentaires à cette hypothèse. En effet, certaines d'entre elles présentent la forme caractéristique du résultat d'exploitations minières à ciel ouvert.

Parallèlement à l'étude archéologique de ces structures, par le biais de fouilles archéologiques sur le site de Bibracte (Cauuet, 2006) ou de prospections sur l'ensemble du Morvan (fig. 1 ; Tamas et Cauuet, 2004), des études paléoenvironnementales ont été engagées. Celles-ci consistent principalement en l'analyse conjointe de palynologie et de géochimie sur des séquences prélevées en contexte naturel (Monna *et al.*, 2004 ; Jouffroy *et al.*, 2007). L'analyse pollinique peut, dans certaines conditions, permettre de suivre l'impact des activités métallurgiques sur le couvert végétal. En effet, les différentes phases du travail métallurgique, extraction, réduction, transformation, sont particulièrement consommatrices de bois, et donc sont à l'origine de défrichements qui peu-

vent être perceptibles dans les enregistrements polliniques (Richard et Eschenlohr, 1998). Ces activités paléométallurgiques émettent dans l'atmosphère des particules riches en micropolluants métalliques qui vont ensuite se déposer au sol. L'analyse géochimique des archives naturelles est susceptible de révéler ces traces.

Parmi les paramètres mesurés, les isotopes du plomb (e.g. rapport $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$) sont capables de différencier un plomb issu de l'érosion du substrat géologique de celui remobilisé, à partir des minéralisations, par les activités anthropiques. Il s'agit donc d'une empreinte digitale chimique qui peut fournir une information quant à son origine. Ajoutons que le plomb est présent dans de nombreux types de minéralisations, permettant ainsi la mise en évidence d'une large gamme d'activités minières et métallurgiques (Cu, Pb, Ag...).

Cependant, la mesure de ses concentrations et de ses compositions isotopiques ne permet pas à elle seule de préciser la nature de la métallurgie mise en œuvre. Le fait que le plomb, à l'inverse du cuivre, soit relativement stable au contact de la matière organique fait que le milieu tourbeux constitue, comme pour le matériel sporopollinique, un excellent récepteur et conservateur des retombées atmosphériques (Shotyk *et al.*, 1997 et 1998 ; Martinez Cortizas *et al.*, 2002 ; Le Roux, 2005). Ces deux approches combinées sur une même séquence permettent de mettre en rapport des phases d'attaque du couvert forestier révélées par l'analyse pollinique, avec des traces de pollutions atmosphériques anciennes qui sont décelées grâce à l'analyse isotopique du plomb.

Premiers résultats : la tourbière du Port-des-Lamberts (Glux-en-Glenne, Nièvre)

Ce protocole de recherche a été appliqué à une séquence prélevée sur le site du Port-des-Lamberts (Glux-en-Glenne, Nièvre), tourbière située en aval des sources de l'Yonne et distante d'environ 5 km du mont Beuvray (Monna *et al.*, 2004 ; Jouffroy-Bapicot *et al.*, 2007 et sous presse). Les premiers apports de plomb d'origine anthropique y sont marqués par une augmentation des concentrations et une chute des rapports $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$, et débutent dès le Bronze final, autour de 1300 cal BC (ZPL PL2a). Ils s'accompagnent d'une chute drastique du taux de grains de pollen d'arbres, notamment ceux du hêtre. À l'époque de La Tène, on observe une intensification de ce phénomène, qui perdure jusqu'au début de l'époque

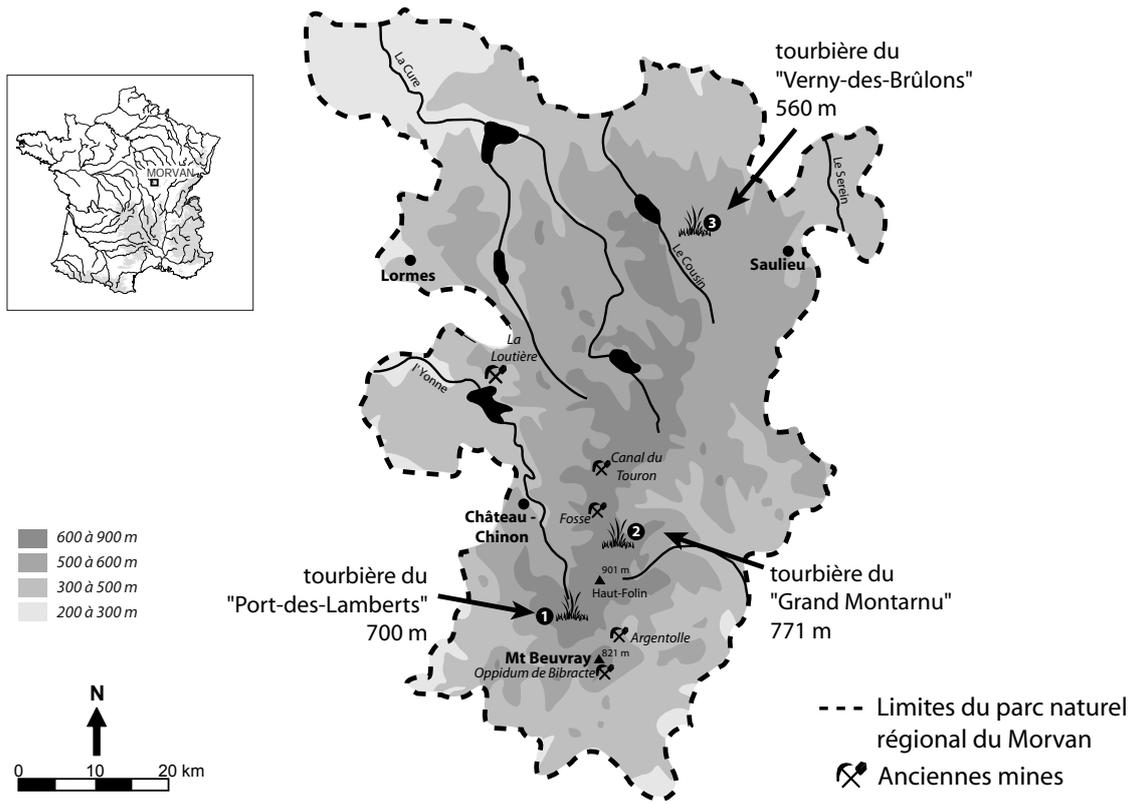


Figure 1. Carte de localisation des sites analysés dans le cadre du Parc régional naturel du Morvan

romaine (ZPL PL3a). Puis, après l'apogée de l'occupation de Bibracte, les signaux de pollution et d'emprise agropastorale chutent, et le couvert forestier tend à reprendre de l'importance (ZPL PL 3b). Dès le haut Moyen Âge, une nouvelle phase de défrichement et d'emprise agropastorale est nettement perceptible (ZPL PL4a) ; à ce niveau, l'identification d'une phase de paléopollution est plus délicate. À partir du *x*^e siècle, la présence des indices palynologiques et géochimiques d'anthropisation s'intensifient (ZPL PL4b). Par la suite, les apports en plomb anthropique se poursuivent, puis s'amplifient sur le haut de la séquence. Parallèlement, deux phases majeures de défrichement affectent les zones PL5 et PL6, durant les époques modernes puis contemporaines (fig. 2).

Ces données paléoenvironnementales montrent plusieurs phases d'anthropisation dont certaines, sur la base des indices de paléopollutions, peuvent être attribuées à des activités minières et métallurgiques.

Toutefois, la question de l'origine des micropolluants métalliques enregistrés dans la tourbière du Port-des-Lamberts restait posée, sachant que ceux-ci peuvent voyager sur de longues distances. On sait que l'activité métallurgique romaine, par exemple, a rejeté dans l'atmosphère des micropolluants repérables jusque dans les carottes glaciaires du Groenland (Rosman *et al.*, 1997 ; Boutron *et al.*, 2004). Dans le cas présent, la concordance des indices de pollutions avec les données palynologiques tend à écarter la nature globale du signal, tout du moins pour les périodes anciennes. En effet, concernant les données polliniques, il a été démontré que les petits réceptacles, tels que les tourbières du Morvan, ont tendance à enregistrer une histoire de la végétation relativement locale (Sugita, 1994). Le caractère régional ou même local de ces indices tend donc à montrer l'existence d'activités métallurgiques dans le Morvan antérieures au second Âge du Fer et à l'installation de Bibracte.

Tourbière du Port-des-Lamberts
Glux-en-Glenne (58)
700 m

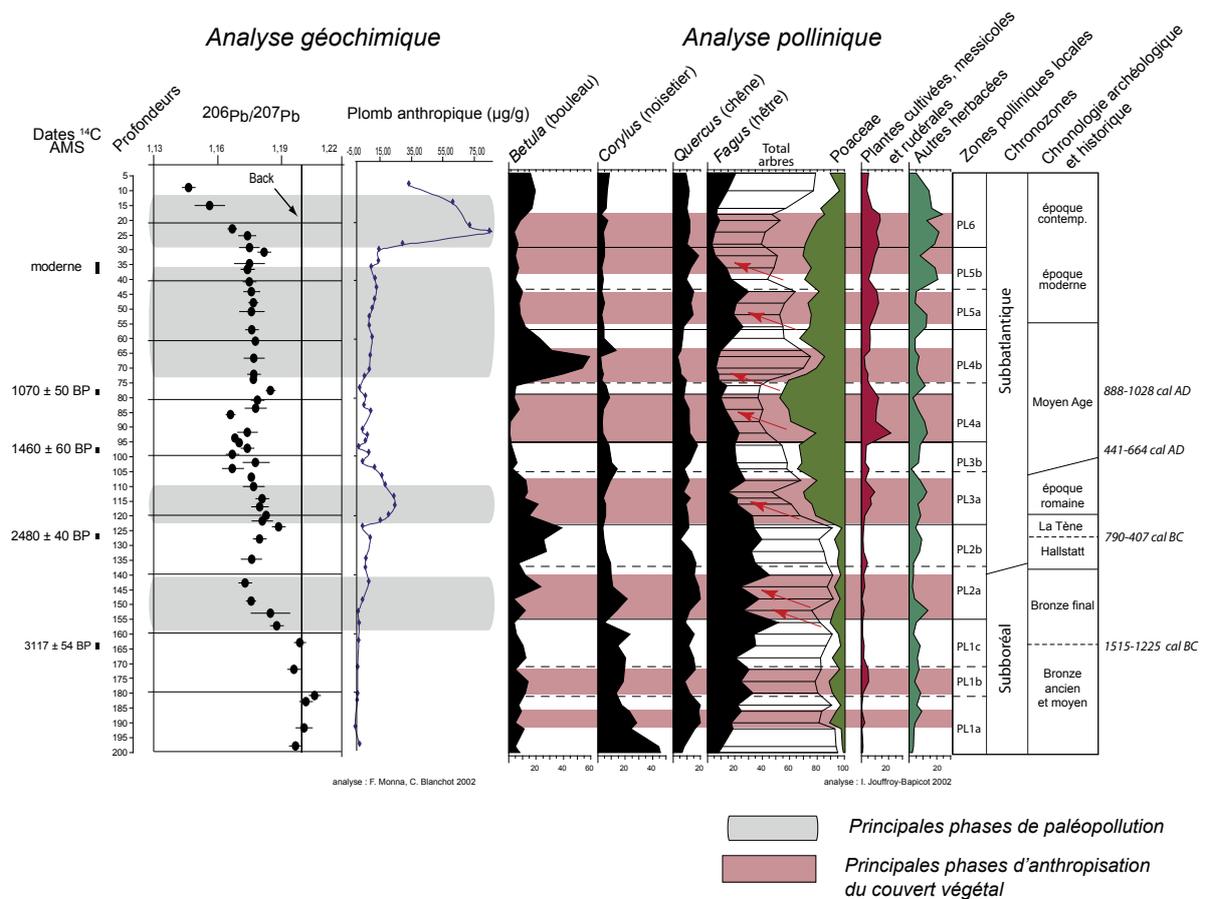


Figure 2. Résultat des analyses géochimique et palynologique sur le site de la tourbière du Port-des-Lamberts. Courbes géochimiques : rapport isotopique $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ et courbe du plomb anthropique. Diagramme pollinique simplifié

Sur la base de l'étude d'une seule séquence, il restait toutefois difficile d'établir clairement le caractère local de ces enregistrements. Deux nouvelles séquences ont donc été prélevées sur le massif, et ont fait l'objet d'une procédure analytique identique à celle appliquée au Port-des-Lamberts. La confrontation des résultats obtenus pour les trois séquences peut nous apporter des informations précieuses quant à la spatialisation des phénomènes mis en évidence : modifications du couvert végétal, défrichements, pollutions atmosphériques...

Analyses de deux nouvelles séquences

Le premier site choisi est localisé dans le haut Morvan ; il s'agit de la tourbière du Grand Montarnu (communes

d'Arleuf, Nièvre, et de Roussillon-en-Morvan, Saône-et-Loire). Il se situe à quelques kilomètres seulement de celle du Port-des-Lamberts. La tourbière se développe à une altitude de 771 m, en bas de pente du versant ouest du massif du Grand-Montarnu. C'est le plus haut site étudié à ce jour sur le massif, dans le secteur du Haut-Folin, point culminant du Morvan (901 m). Localisée dans un vaste massif forestier, la tourbière est aujourd'hui cernée par une plantation d'épicéas. Un forage dans la zone où l'on a identifié la plus grande épaisseur de tourbe a permis l'obtention d'une carotte de 97 cm. Cette séquence présente l'avantage de se trouver non loin d'une zone où une activité minière « ancienne » a pu être reconnue, même si l'absence de fouilles ne permet pas encore de dater les phases d'extraction antérieures au xix^{e} siècle (Tamas et Cauuet, 2004).

Le second site est localisé à une quarantaine de kilomètres plus au nord, proche de la ville de Saulieu. Il s'agit de la tourbière du Verny-des-Brûlons (commune de Saint-Agnan, Nièvre) qui se développe sur un petit plateau situé autour de 560 m d'altitude, en queue d'un étang. Le lieu présente plusieurs stades d'évolution de zones humides. Le forage a été effectué dans une boulaie à buttes de sphaigne et de callune et une séquence de 1,45 m a ainsi été prélevée.

Matériel et méthode

Pour l'analyse pollinique, 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 Faegri et Iversen, 1989). Les grains de pollen et spores ont été identifiés à l'aide de clés de détermination, de photographies (Moore *et al.*, 1991 ; Reille, 1999 ; Beug, 2004) et de la collection de référence du Laboratoire de chrono-écologie. Un minimum de 500 grains de pollen de plantes vasculaires terrestres par lame a été compté, en plus de l'aulne. Le diagramme a été constitué et tracé à l'aide du logiciel Tilia 2.0 et de l'extension TGview 2.0.2. (Grimm, 1991-1993). L'analyse pollinique des séquences a été réalisée avec un pas d'échantillonnage de 4 cm au Verny-des-Brûlons ; au Grand-Montarnu, la grande compaction des sédiments nous a amenés à resserrer la maille de lecture à 2 cm, voire 1 cm entre 10 et 65 cm.

Concernant les analyses géochimiques, l'échantillonnage a été, dans la mesure du possible, calé sur le même pas que celui opéré dans l'approche pollinique. La préparation des échantillons suit un protocole bien établi (Monna *et al.*, 2004) consistant principalement en la mise en solution par une attaque acide des métaux lourds (Pb, Cu, Zn, Bi...) et des éléments terrigènes (Sc, La...). Les métaux ainsi que les isotopes du plomb (^{206}Pb , ^{207}Pb et ^{208}Pb) sont mesurés par ICP-MS, tandis que les éléments terrigènes le sont par activation neutronique.

Le plomb qu'intègre la tourbière peut être subdivisé en deux composantes. La première est naturelle et traduit des arrivées, au sein de la tourbière, de plomb naturel, dont la signature isotopique $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ est, en Europe occidentale, voisine de 1,20. Quant à la seconde, elle est dite anthropique. Elle caractérise l'introduction d'un plomb issu notamment des activités métallurgiques. Ce plomb se distingue du naturel par un rapport isotopique $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ inférieur à la valeur de 1,20.

Notre approche a donc pour but d'isoler et de mettre en avant la part anthropique du plomb déposé au sein de la tourbière. Si cela a pu être réalisé au Port-des-Lamberts, les caractéristiques géochimiques des tourbières du Grand-Montarnu et du Verny-des-Brûlons ne permettent pas de le faire directement. Pour ces deux séquences, nous nous en sommes tenus au rapport Pb / Sc. Le scandium étant un élément exclusivement d'origine naturelle, un rapport Pb / Sc constant témoignera de l'introduction dans le système d'apports naturels. Lorsque ce rapport augmente, il souligne très probablement l'arrivée d'un plomb anthropique.

Les deux carottes ont fait l'objet de plusieurs datations radiocarbone par AMS, dont les résultats sont présentés dans le tableau de la figure 3.

La séquence très compactée du Grand-Montarnu a bénéficié de 7 datations réparties sur moins d'un mètre. Au Verny-des-Brûlons, 5 dates ont été réalisées sur 1,45 mètre.

Résultats

Tourbière du Grand-Montarnu

Le remplissage de la séquence du Grand-Montarnu (fig. 4a) débute très probablement à la fin de la chronozone du Boréal (autour de 7000 cal BC), caractérisée par la prédominance du noisetier (GM1). Très rapidement, la chênaie mixte datée de l'Atlantique apparaît, avec la présence marquée du pollen de chêne, accompagné de l'orme, du tilleul et du frêne, durant les phases GM2 et GM3. Durant cette période, qui correspond à la fin du Mésolithique et au Néolithique, quelques indices polliniques d'anthropisation (des grains de pollen de céréales, de plantain lancéolé, d'oseille...) sont présents de façon sporadique, notamment durant les phases GM2a et GM2b. Ce sont les témoins des premières activités agropastorales dans le haut Morvan.

Tout au long de ces phases, la signature isotopique du plomb présent reste à la valeur du bruit de fond naturel, autour de 1,198, et le rapport Pb / Sc reste stable. Les premiers indices liés à une activité anthropique polluante apparaissent entre -60 et -56 cm (G1). Nous pouvons observer à ce niveau l'augmentation du rapport Pb / Sc, et, au même moment, le rapport isotopique $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ s'éloigne de la valeur du bruit de fond naturel, atteignant des valeurs proches de 1,185. Aux mêmes niveaux, le diagramme pollinique montre une baisse significative des pourcentages de pollen d'arbres (GM4a et 4b), qui affecte le hêtre et l'aulne. Parallèlement à l'augmentation des

| Profondeur (cm) | Code labo | Âge 14C BP | Dates calibrées BC-AD (2 sigma) |
|-----------------|-----------|------------|---------------------------------|
| GM 14-15 | Poz-13091 | 730 ± 30 | [1220-1300] cal. AD |
| GM 18-20 | Poz-20338 | 1365 ± 30 | [610-700] cal. AD |
| GM 23-24 | Poz-20289 | 1845 ± 30 | [80-240] cal. AD |
| GM 35,5-36 | Poz-13160 | 2920 ± 40 | [1270-1000] cal. BC |
| GM 56-58 | Poz-20339 | 3375 ± 30 | [1750-1600] cal. BC |
| GM 61,5-62,5 | Poz-13094 | 4290 ± 40 | [3030-2870] cal. BC |
| GM 80-81 | Poz-13093 | 5750 ± 40 | [4710-4490] cal. BC |
| VdB 37,5-38,5 | Poz-13030 | 695 ± 30 | [1260-1310] cal. AD |
| VdB 68-70 | Poz-12013 | 2300 ± 30 | [402-235] cal. BC |
| VdB 76-77 | Poz-20364 | 3695 ± 35 | [2200-1970] cal. BC |
| VdB 105,5-107,5 | Poz-12014 | 7370 ± 40 | [6376-6087] cal. BC |
| VdB 133,5-134,5 | Poz-13031 | 11010 ± 60 | [11120-10910] cal. BC |

Figure 3. Datations radiocarbone réalisées au Poznan Radiocarbon Laboratory, Pologne. Calibration effectuée avec OxCal v3.10 (Bronk Ramsey, 2005)

graminées (*Poaceae*), des indices d'activités agropastorales sont présents et relativement diversifiés. Malgré une grande compaction des sédiments, qui rend difficile une datation précise, cet événement peut être attribué avec certitude au début du II^e millénaire avant J.-C., soit dès le Bronze ancien.

Au cours de l'Âge du Bronze, le rapport Pb / Sc diminue nettement. Dans le même temps, le couvert forestier, dans lequel le hêtre tient maintenant une place prépondérante, est largement dominant, et les indices d'activités anthropiques quasi inexistantes. Puis, une nouvelle chute du taux de pollen de hêtre est observable entre les niveaux -45 et -40 (GM4c). Cet épisode de défrichement, lié à un petit pic d'indices d'anthropisation, ne semble pas corrélé à des indices de paléopollution. Il peut être attribué à une période située au cours du Bronze moyen.

La phase d'anthropisation suivante (zone GM4e), est concomitante d'une variation du rapport isotopique et du rapport Pb / Sc (G2). Au départ, le couvert forestier n'est ici que très peu affecté, les courbes du chêne et du noisetier, puis du hêtre, chutent faiblement et temporairement. Outre la présence de quelques grains de pollen de *Cerealia*-type, les indices d'activités agropastorales restent sporadiques ; ce sont surtout les cypéracées qui augmentent.

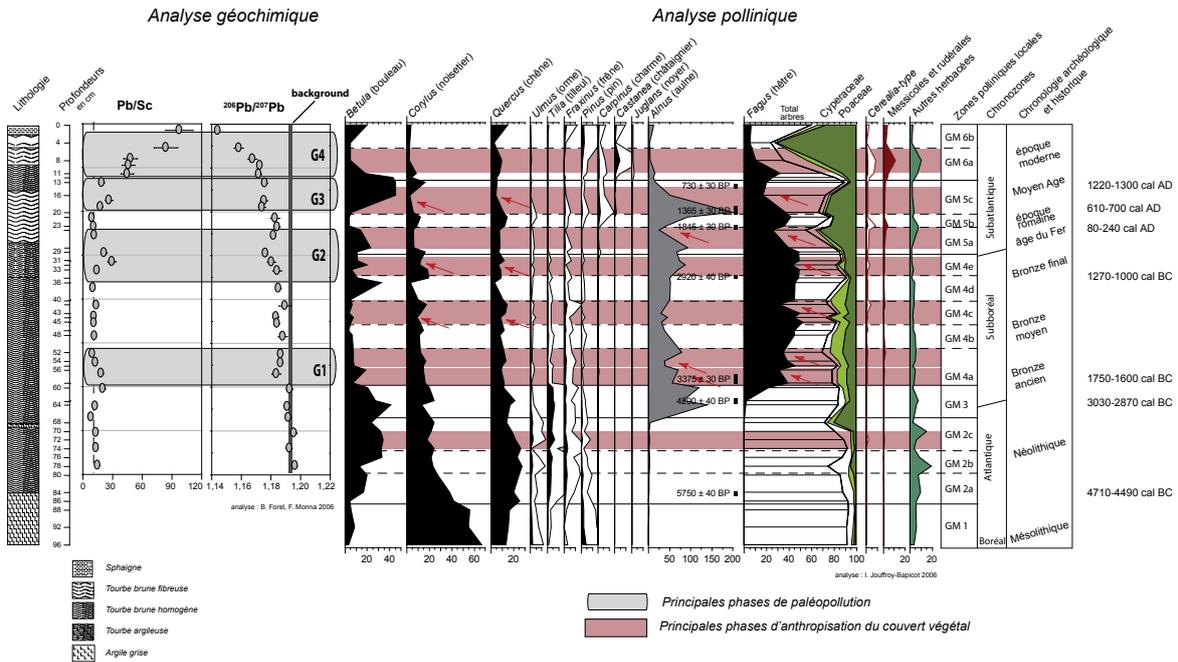
Une nouvelle phase de défrichements importants,

observable à partir du niveau -29 cm, peut être attribuée à la seconde moitié de l'Âge du Fer. Le pourcentage de pollen d'arbres chute de 80 % à moins de 55 %, et ce sont le hêtre et l'aulne qui sont alors massivement touchés (GM5a).

Vers -17 cm, une phase de paléopollution nettement marquée par une augmentation du rapport Pb / Sc et un décalage net de la signature isotopique du plomb vers 1,175 (G3) est liée à une chute drastique des principaux arbres : hêtre, aulne, chêne et noisetier, alors que le taux de pollen le bouleau, espèce pionnière et héliophile, augmente rapidement (ZPL GM5c). Cette attaque importante du couvert forestier, qui n'est pas associée à une augmentation des indices d'activités agropastorales, est très probablement à mettre en relation avec des activités métallurgiques. Celles-ci peuvent être situées chronologiquement, grâce à deux dates radiocarbone effectuées aux niveaux 24-23 et 20-18 : il s'agit d'une phase d'activité médiévale précoce, qui débiterait dès le VI^e siècle et qui se prolongerait jusqu'au XIII^e siècle.

Le début de la phase de paléopollution suivante (G4) est daté de la seconde moitié du XIV^e siècle, par une date effectuée au niveau 14-15. Sur la partie supérieure du diagramme, l'importante pollution contemporaine globale, caractérisée par une signature isotopique 206Pb / 207Pb

Tourbière du Grand-Montarnu
Arleuf (58)- Roussillon-en-Morvan (71)
771 m



Tourbière du Verny-des-Brûlons
Saint-Agnan (58)
560 m

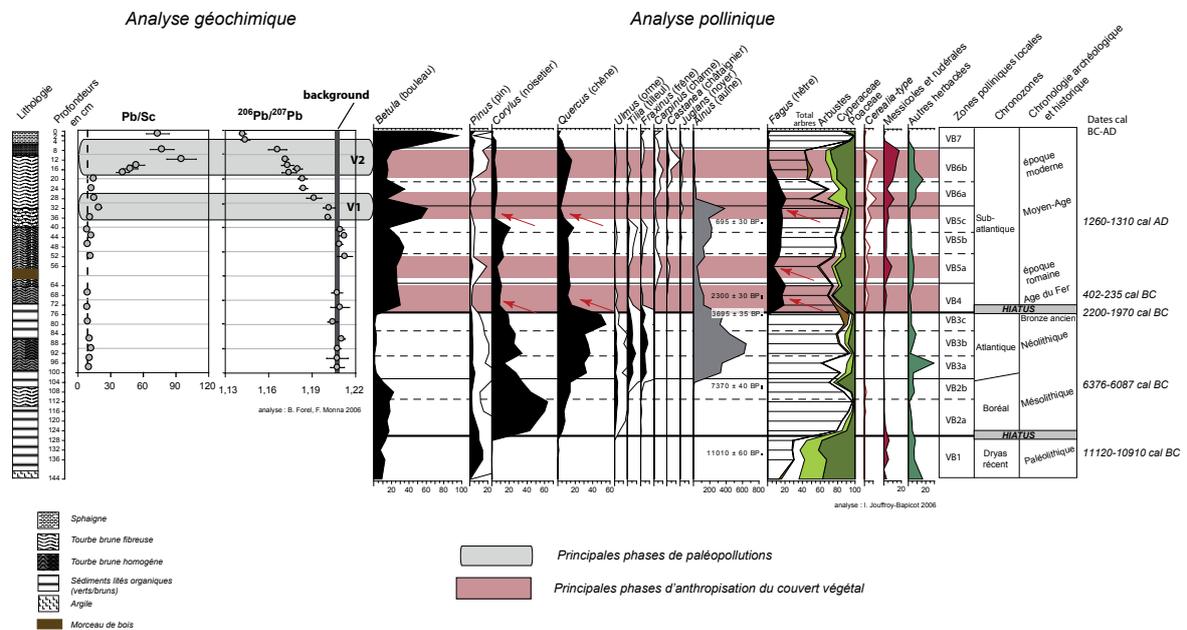


Figure 4a et b. Résultats des analyses géochimique et palynologique sur les sites de tourbières du Grand-Montarnu et du Verny-des-Brûlons. Courbes géochimiques : rapport Plomb / Scandium et rapport isotopique $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$. Diagramme pollinique simplifié ; Alnus a été retiré de la somme des grains de pollen terrestre comptés. La base des séquences, riche en matière minérale, ne présente pas les conditions requises pour mettre en évidence les seuls apports atmosphériques, et elle n'est donc pas représentée sur les diagrammes.

de 1,15-1,16, ne permet plus d'identifier un signal local, bien que des extractions du XIX^e soient connues sur le versant oriental du massif du Grand-Montarnu, au lieu-dit Fosse, à quelques centaines de mètres de la tourbière étudiée.

Tourbière du Verny-des-Brûlons

Le remplissage de la séquence du Verny-des-Brûlons (fig. 4b) concerne une plus longue période que les deux sites précédents, puisque la date la plus profonde, réalisée au niveau 133,5-134,5, est située entre 11120 et 10910 cal BC. Toutefois, la sédimentation est ici beaucoup plus irrégulière et elle présente deux hiatus majeurs.

Le diagramme pollinique montre une première phase (VB1) largement dominée par le couvert herbacé, typique de la steppe froide de la fin du Tardiglaciaire, la chronozone du Dryas récent.

Le premier hiatus, que l'on peut situer entre 10000 et 8000 cal BC, n'a pas permis l'enregistrement de la chronozone du Préboréal, caractérisée par la prédominance du pin.

La phase suivante, dominée par le noisetier (VB2), correspond à la chronozone du Boréal (entre 8500 et 7500 cal BC environ). Le développement du chêne et l'installation des arbres de la chênaie mixte de l'Atlantique : orme, tilleul, frêne, caractérisent la zone pollinique VB3. Cette phase est comprise entre 7500 et 3200 cal BC environ et concerne donc la seconde partie du Mésolithique et une grande partie du Néolithique. Durant cette période, les spectres polliniques ne montrent pas de trace d'impact d'activité humaine sur la végétation.

Il en est de même pour le début du Subboréal (zone VB3c), de la fin du Néolithique au début de l'Âge du Bronze ancien. La présence d'un second hiatus dans la sédimentation affecte ensuite une grande partie de la chronozone du Subboréal, d'environ 2000 à 500 cal BC. Pour ces zones (VB1, 2 et 3), le rapport Pb / Sc ne varie pas et le rapport isotopique $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ reste au niveau du bruit de fond naturel, entre 1,20 et 1,21.

Ensuite, si la palynologie montre deux phases d'anthropisation, bien marquées par la chute des pourcentages de pollens d'arbres et la présence d'indices polliniques d'anthropisation, durant les zones VB4 et VB5a, les données géochimiques n'indiquent toujours pas de paléopollutions. Dans cette séquence, la présence d'un morceau de bois n'a pas permis l'analyse géochimique des niveaux compris entre 60 et 50 cm. Au niveau du diagramme pollinique, cette phase correspond à la phase d'anthropisation mise en évidence dans la

zone VB5a. D'après les datations, cette phase se rapporte probablement à l'époque romaine, et pour cette période, les données archéologiques témoignent d'une activité de métallurgie du fer (Bigéard, 1996). Il est donc probable que la lacune dans la séquence tourbeuse ne nous permette pas de saisir la pollution relative à cette phase d'activité paléométallurgique. L'analyse d'une nouvelle séquence prélevée sur le même site est en cours pour tenter de combler cette lacune.

Le premier véritable indice de pollution anthropique ne semble donc apparaître que vers -35 cm, avec une variation du rapport $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ qui s'éloigne de la valeur du bruit de fond (V1). Cet événement peut être situé vers le XIV^e siècle de notre ère, d'après la date réalisée un peu plus bas dans la séquence, au niveau 38,5-37,5. La baisse du total de pollen d'arbres observable au même moment est surtout imputable à la diminution du noisetier et du chêne (VB5c et VB 6a). Enfin, une seconde phase, qui combine indices d'anthropisation en zone VB6b et paléopollutions (V2), affecte les époques modernes et contemporaines. Les pourcentages de hêtre chutent de façon drastique alors que les indices d'anthropisation atteignent leur maximum, et les analyses géochimiques montrent une forte augmentation du rapport Pb / Sc et une variation de la signature isotopique qui témoigne de la pollution actuelle.

Synthèse spatiale des données environnementales

L'histoire paléoenvironnementale reconstituée à partir de la séquence du Port-des-Lamberts ne se retrouve pas à l'identique dans les autres séquences, montrant clairement le caractère très local de ces enregistrements environnementaux (fig. 5). Bien que la datation précise des phases d'anthropisation du couvert végétal et / ou des phases d'exploitations minières soit parfois imprécise, du fait de la faible puissance des archives sédimentaires (faibles taux de sédimentation ou hiatus), la confrontation des enregistrements de ces trois séquences apporte des éléments nouveaux sur les origines et la chronologie des activités minières et métallurgiques sur l'ensemble du massif morvandiau.

En premier lieu, dans le haut Morvan, les premiers indices d'activités minières et métallurgiques précoces, qui remontent au début de l'Âge du Bronze, ne sont identifiés clairement qu'au Grand-Montarnu. Ensuite, une phase d'activités paléométallurgiques semble débiter au

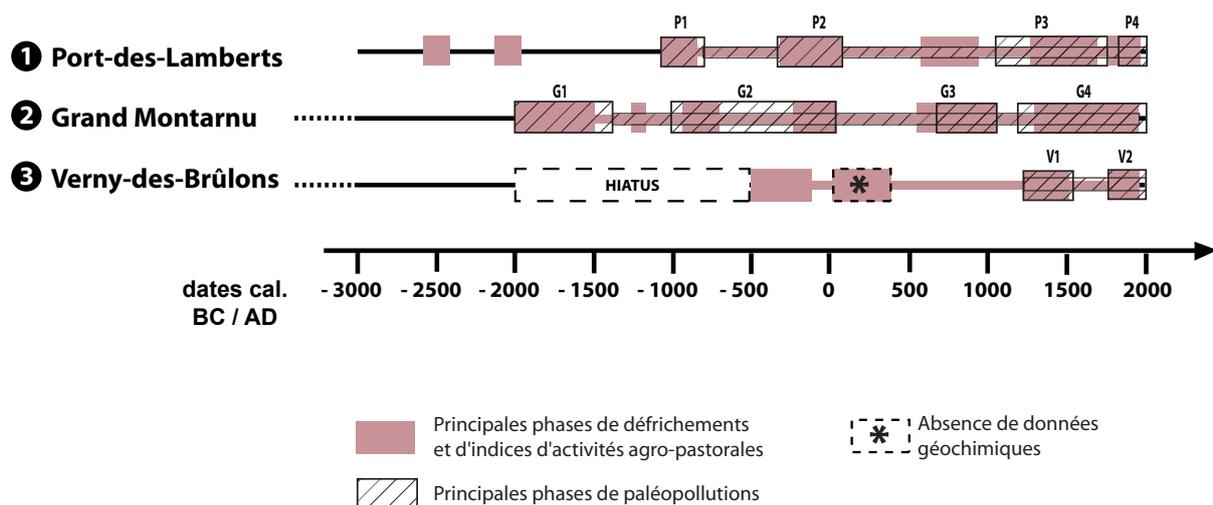


Figure 5. Principales phases d'anthropisation du couvert végétal (déforestations et / ou activités agropastorales) en regard des indices de paléopollutions clairement identifiées sur les trois tourbières analysées

même moment sur les deux séquences, aux environs de 1000 cal BC, au cours du Bronze final. Si les activités se poursuivent au Grand-Montarnu durant tout l'Âge du Fer, elles ne sont pas identifiées au cours du Hallstatt au Port-des-Lamberts. Pour la période de La Tène jusqu'au changement d'ère, les indices de défrichements et de paléopollutions sont concordants et bien marqués. Ensuite, les deux enregistrements, montrent la même déprise agropastorale après le 1^{er} siècle de notre ère et donc durant la majeure partie de l'époque romaine.

De la Préhistoire à l'Antiquité, la séquence du Verny-des-Brûlons, située à une quarantaine de kilomètres au nord des deux précédentes, a enregistré une histoire encore différente. La période du II^e millénaire jusqu'à la moitié du I^{er} millénaire avant notre ère n'étant pas représentée sur cette séquence, les premières traces d'anthropisation apparaissent au tout début du second Âge du Fer. Contrairement au secteur du haut Morvan, une baisse des indices d'anthropisation est enregistrée pour la fin de l'Âge du Fer, alors que l'époque gallo-romaine correspond à une phase de défrichements importants.

De la fin de l'Antiquité à l'an Mil, le haut Morvan et la partie nord du massif sont une nouvelle fois marqués par une histoire paléoenvironnementale différente. Sur les deux séquences du Port-des-Lamberts et du Grand-Montarnu, une phase de défrichement affecte principalement le hêtre. Elle est associée au Grand-Montarnu à des indices géochimiques d'activités métallurgiques. Au nord, sur le

site du Verny-des-Brûlons, on observe une phase de reconquête forestière durant laquelle les activités agropastorales restent peu importantes. À la même époque, il n'y a pas encore d'indice de pollutions atmosphériques.

À partir de l'époque moderne, il devient de plus en plus difficile de déceler l'histoire locale des activités minières et métallurgiques. La chute drastique de la représentation du couvert forestier est très largement conditionnée par l'exploitation du bois de la forêt morvandelle pour chauffer Paris, du XVI^e au début du XX^e siècle (Vigreux, 1994). À partir du XIX^e, la pollution anthropique, mise en évidence sur les trois séquences, rend compte principalement d'une pollution atmosphérique globale, avec notamment l'utilisation de l'essence au plomb.

Vers une interprétation archéologique

L'analyse de ces trois sites nous a donc permis de minimiser les biais d'enregistrements liés à l'étude d'une séquence. De plus, elle offre une meilleure perception spatiale des processus d'anthropisation de l'environnement liés aux activités agropastorales et / ou aux activités minières. La multiplication des séquences étudiées, certes coûteuse en temps et en argent, est néanmoins nécessaire pour comprendre l'histoire de la paléométaballurgie à l'échelle d'un massif comme celui du Morvan.

Pour les périodes protohistoriques, où les données archéologiques sont fragmentaires, cette approche

paléoenvironnementale offre la possibilité de discuter du statut socio-économique du massif du Morvan. Les indices d'activités minières et métallurgiques mis en évidence par cette étude, dès les débuts du II^e millénaire avant notre ère, font de cette région une probable zone productrice de métal. Comme cela a déjà été proposé (Gabillot *et al.*, à paraître), l'étude, tant typologique que chimique, du mobilier métallique trouvé dans cette région pourrait confirmer cette hypothèse et permettre d'aborder des problématiques aussi complexes que la circulation de la matière première métallique et des produits finis, le recyclage ou encore l'existence de zones-ateliers.

Ces recherches ont été menées dans le cadre du programme « Paléoenvironnement » du Centre archéologique européen du mont Beuvray et de l'ACR Bronze (UMR 5594, ARTÉHIS, Dijon, sous la direction de Jean-François Piningre), avec la collaboration du CNRS, des Universités de Bourgogne et de Franche-Comté. Les mesures géochimiques ont été réalisées avec la collaboration d'Olivier Bruguier, du laboratoire ISTEEM de l'Université de Montpellier II. Une partie des analyses géochimiques ont été conduites dans le cadre du mémoire de Master I « Archéosciences et Géoenvironnement » (Université de Bourgogne) de Rodrigue Guillon.

Bibliographie

BIGEARD H. (1996). *La Nièvre. 58*, Paris, Académie des Belles Lettres. Fondation Maison des sciences de l'Homme (Carte archéologique de la Gaule) , 300 p.

BEUG H.-J. (2004). *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiet.* München, Pfeil, 542 p.

BOUTRON C., ROSMAN K., BARBANTE C., BOLSHOV M., ADAMS F., HONG S., FERRARI C. (2004). L'archivage des activités humaines par les neiges et glaces polaires : le cas du plomb. *Comptes rendus Géosciences*, 336 (10), p. 847-867.

BRONK RAMSEY C. (2005). *OxCal program v3.10.*
Online: <http://www.rlaha.ox.ac.uk/O/oxcal.php>

BUCHSENSCHUTZ O. ET RICHARD H., éd. (1996). *L'environnement du mont Beuvray.* Glux-en-Glenne, Centre archéologique européen du mont Beuvray (Bibracte ; 1), 207 p.

CAUJET B., coord. (2006). Recherches sur les exploitations minières anciennes dans le Morvan. *In : Rapport annuel d'activité 2006*, Glux-en-Glenne, Centre archéologique européen du mont Beuvray, p. 127-164.

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.

FAEGRI K. et IVERSEN J. (1989). *Textbook of Pollen Analysis*, New York, Wiley, 338 p.

GABILLOT M., FOREL B., MONNA F., NAUDIN A., LOSNO R., PININGRE J.-F., MORDANT C., DOMINIK J., BRUGUIER O. (à paraître). Influences atlantiques dans les productions métalliques en Bourgogne et Franche-Comté au Bronze moyen. *In : L'isthme européen Rhin-Saône-Rhône dans la Protohistoire. Approche nouvelles en hommage à Jacques-Pierre Millotte. Actes du colloque de Besançon octobre 2006.*

GUILLAUMET J.-P. (2001). Exploitations minières en pays éduen. *Bulletin de l'Association française pour l'étude de l'Âge du Fer*, p. 35-37.

JOUFFROY-BAPICOT I. (sous presse). L'impact environnemental des activités métallurgiques sur la forêt du Morvan. *In : J.-L. Dupouey, éd., Actes du colloque Sylva 2004. INRA / ONF, Nancy, septembre 2004*, 13 p.

JOUFFROY-BAPICOT I., PULIDO M., BARON S., GALOP D., MONNA F., LAVOIE M., PETIT C., DE BEAULIEU J.-L., RICHARD H. (2007). Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analysis. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, p. 251-258.

LE ROUX G. (2005). *Fate of natural and anthropogenic particles in peat bogs.* Thèse de doctorat, Heidelberg, Ruprecht-Karls-Universität, 218 p.

MARTINEZ CORTIZAS A., GARCIA-RODEJA GAYOSO E., WEISS D. (2002). Peat bog archives of atmospheric metal deposition. *The Science of The Total Environment*, 292 (1-2), p. 1-5.

MONNA F., PETIT C., GUILLAUMET J.-P., JOUFFROY-BAPICOT I., BLANCHOT C., DOMINIK J., LOSNO R., RICHARD H., LÉVÊQUE J., CHÂTEAU C. (2004). 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. et 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.
- ROSMAN K. J. R., CHISOHOLM W., HONG S., CANDELONE J.-P., BOUTRON C. F. (1997). Lead from Carthaginian and roman Spanish mines isotopically identified in Greenland ice dated from 600 BC to 300 AD. *Environmental Science & Technology*, 31, p. 3413-3416.
- SHOTYK W., NORTON S. A., FARMER J. G. (1997). Summary of the Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition. *Water, Air, & Soil Pollution*, 100 (3-4), p. 213-219 (n° spécial : Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition).
- SHOTYK W., WEISS D., APPLEBY P., CHERBUKIN A, FREI R., GLOOR M., KRAMER J., REESE S., VAN DER KNAPP W. (1998). History of atmospheric lead deposition since 12,370 14C yr BP from peat bog, Jura mountains, Switzerland. *Science*, 281, p. 1635-1640.
- SUGITA S. (1994). Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: theory and method in patchy vegetation. *Journal of Ecology*, 82, p. 881-897.
- TAMAS C.-G. et CAUJET B. (2004). Recherches sur les exploitations minières anciennes du Morvan. In : *Rapport annuel d'activité 2004*, Glux-en-Glenne, Centre archéologique européen du mont Beuvray, p. 341-356.
- VIGREUX M. (1994). Une révolution économique pour le Morvan : le flottage du bois, *Courrier du Parc naturel régional du Morvan*, 25, p. 8-14.