



**HAL**  
open science

## Des tourbières et des mines en Haute-Combraille. Milieux naturels ou artificiels ?

Frédéric Trément, Jacqueline Argant, Élise Brémon, Hervé Cubizolle, Yun Deng-Amiot, Stéphane Laisné, Guy Massounie, Pierre Rigaud, Véronique Tripeau, Alain Veron

► **To cite this version:**

Frédéric Trément, Jacqueline Argant, Élise Brémon, Hervé Cubizolle, Yun Deng-Amiot, et al.. Des tourbières et des mines en Haute-Combraille. Milieux naturels ou artificiels?. Zones humides et archéologie. VIe colloque international du Groupe d'Histoire des Zones Humides, Corinne Beck; Marie-Christine Marinval, Nov 2017, Glux-en-Glenne, France. pp.114-126. halshs-01839348

**HAL Id: halshs-01839348**

**<https://shs.hal.science/halshs-01839348>**

Submitted on 7 Nov 2023

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

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



**Photographie 1.** Relevé topographique en cours sur la halde de l'aubrière de La Verrerie, dite du Parc d'Or, à Villosanges.





# Des tourbières et des mines en Haute-Combraille. Milieux naturels ou artificiels ?

Frédéric TRÉMENT<sup>1</sup>, Jacqueline ARGANT<sup>2</sup>, Élise BRÉMON<sup>1</sup>, Hervé CUBIZOLLE<sup>3</sup>, Yun DENG-AMIOT<sup>4</sup>, Stéphane LAISNÉ<sup>5</sup>, Guy MASSOUNIE<sup>1</sup>, Pierre RIGAUD<sup>6</sup>, Véronique TRIPEAU<sup>5</sup> & Alain VERON<sup>7</sup>

## Résumé

Les recherches conduites depuis 2010 sur les plateaux granitiques de la Haute-Combraille, dans l'ouest du département du Puy-de-Dôme, dans le cadre du programme MINEDOR (*Caractérisation archéologique et paléo-environnementale des mines d'or arvernes de Haute-Combraille*) de la MSH de Clermont-Ferrand, ont mis en évidence le rôle déterminant des exploitations minières dans le processus de turfigenèse à l'origine de la formation des tourbières. L'un des objectifs prioritaires de ce programme de recherche interdisciplinaire était de caractériser les phases d'exploitation aurifère anciennes à travers leur impact environnemental, en couplant analyses palynologiques et isotopiques d'échantillons prélevés dans des tourbières. Or il apparaît que toutes les tourbières identifiées et analysées sont étroitement connectées à des aurières, qu'elles se situent à proximité immédiate ou à l'intérieur même de ces mines dont les plus anciennes datent du Second Âge du Fer. En effet, les travaux miniers ont pour effet de désorganiser les réseaux de drainage locaux, soit volontairement pour les besoins de l'exploitation (réservoirs, laveries), soit indirectement lors de leur abandon (accumulation d'eau dans les cavités, colmatage des fossés du fait de l'érosion des haldes). Si la mise en évidence de ce phénomène a d'importantes conséquences méthodologiques (et même épistémologiques) pour les analyses paléo-environnementales, elle ouvre aussi de nouvelles perspectives en montrant le caractère fondamentalement anthropique de bon nombre de zones humides. Du point de vue de l'histoire des paysages, le lien étroit entre mines et tourbières est un résultat dont il faudra mesurer la portée, car les tourbières, qui sont considérées comme des « milieux naturels » par excellence, - à préserver pour leur ressource en eau et leur biodiversité -, apparaissent ici comme la conséquence d'aménagements liés à des activités en l'occurrence très polluantes. Toutefois, elles ont pu jouer un rôle essentiel dans le piégeage des paléo-pollutions, évitant ainsi leur diffusion dans l'environnement.

**Mots-clés** : archéologie du paysage, zone humide, mines d'or, palynologie, géochimie isotopique.

## Peat bogs and mines in Haute-Combraille (Puy-de-Dôme, France). Natural or artificial environments?

### Abstract

The research carried out since 2010 on the granitic plateaus of the Haute-Combraille, in the west of the department of Puy-de-Dôme, as part of the MINEDOR program (*Archaeological and palaeo-environmental characterization of Arverni's gold mines in Haute-Combraille*) of the Clermont-Ferrand MSH, have highlighted the key role of mining in the process of turfigenesis at the origin of peatland formation. One of the main objectives of this interdisciplinary research program was to characterize the ancient gold mining phases through their environmental impact, by coupling palynological and isotopic analyzes of samples taken in peat bogs. However, it appears that all peatlands identified and analyzed are closely connected to gold mines, whether they are in the immediate vicinity or even inside these mines, the oldest of which date back to the Second Iron Age. Indeed, mining works have the effect of disrupting local drainage networks, either voluntarily for the needs of the extraction (tanks, washery), or indirectly during their abandonment (accumulation of water in the cavities, clogging ditches due to the erosion of the dumps). While highlighting this phenomenon has important methodological (and even epistemological) consequences for palaeoenvironmental analyzes, it also opens up new perspectives by showing the fundamentally anthropogenic nature of many wetlands. From a landscape history point of view, the close link between mines and peatlands is a result whose scope will have to be measured, as peatlands, which are considered as "natural environments" to be preserved for their natural resources and their biodiversity, appear here as the consequence of highly polluting activities. However, they could play a key role in trapping paleo-pollutions, thus avoiding their diffusion into the environment.

**Key words** : landscape archaeology, wetland, gold mines, palynology, isotope geochemistry.

<sup>1</sup> Centre d'Histoire « Espaces et Cultures », CHEC-EA 1001, Université Clermont Auvergne - Maison des Sciences de l'Homme - 4 rue Ledru - BP 10448 - F-63057 Clermont-Ferrand cedex - elise.bremon@gmail.com - massounie-guy@bbox.fr - frederic.trement@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire Europe Afrique, LAMPEA-UMR 7269, Université Aix-Marseille - Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme - 5 rue du Château de l'Horloge - F-13094 Aix-en-Provence cedex 2 - j.argant@wanadoo.fr - yun.deng@bbox.fr

<sup>3</sup> Image, Société, Territoire, Homme, Mémoire, Environnement, EVS-ISTHME-UMR 5600, Université de Saint-Étienne - 6 rue Basses des Rives - F-42023 Saint-Étienne cedex 2 - herve.cubizolle@univ-st-etienne.fr

<sup>4</sup> Palynoscope - 34 rue Charles Darwin - F-38230 Charvieu-Chavagneux - yun.deng@bbox.fr

<sup>5</sup> Société Terramétrie - Salacrux - F-48700 Saint-Denis-en-Margeride - laisné.tripeau@wanadoo.fr

<sup>6</sup> Centre Ernest-Babelon, Institut de Recherches sur les Archéomatériaux, IRAMAT-UMR 5060 - 3 rue de la Férellerie - F-45071 Orléans cedex 2 - rigaud@cnsr-orleans.fr

<sup>7</sup> Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement, CEREGE-UMR 7330, Université Aix-Marseille - Europe Med - Arbois - BP 80 - F-13545 Aix-en-Provence cedex 4 - veron@cerege.fr

# 1. La place des tourbières dans les études paléoenvironnementales

Comme la plupart des zones humides, les tourbières ont longtemps été considérées comme des marais putrides qu'il fallait assécher et assainir au nom de la salubrité publique. Depuis une trentaine d'années, ce point de vue négatif s'est progressivement inversé, du fait de la prise de conscience du rôle majeur de ces milieux et de la nécessité de les protéger. Situées « à l'interface entre milieux terrestres et aquatiques », les tourbières sont en effet des « réservoirs de vie mais également de véritables infrastructures naturelles qui jouent un rôle essentiel dans le cycle de l'eau ». Cette formule est empruntée au site internet du Pôle-Relais Tourbières de la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, qui reconnaît aux tourbières « une multitude de fonctions, communes aux zones humides en général, mais aussi avec de nombreuses spécificités », les tourbières ayant notamment « une valeur biologique et écologique ; une valeur scientifique, archéologique et ethnologique ; une valeur fonctionnelle ; une valeur économique et une valeur paysagère, récréative et éducative »<sup>1</sup>.

Les palynologues ont très tôt reconnu l'intérêt des tourbières pour des reconstitutions paléoenvironnementales dont la visée est longtemps restée paléoclimatique, leur objectif étant de relier l'histoire de la végétation et celle du climat (CHARMAN, 2002). Dans cette perspective, les tourbières présentaient le triple avantage de constituer des milieux privilégiés pour la conservation des pollens, pour leur potentiel en matière de datation par le radiocarbone, mais aussi pour leur éloignement supposé par rapport aux principaux foyers de peuplement anciens, l'« anthropisation » apparaissant comme un facteur susceptible de brouiller l'information paléoclimatique, du fait de l'artificialisation progressive du couvert végétal depuis le Néolithique (LEVEAU, 2000). Si, dès les années 1950, des palynologues anglo-saxons, allemands et scandinaves ont fait de l'anthropisation de la végétation un objet d'étude important pour leur discipline (IVERSEN, 1949 ; TURNER, 1964 ; BEHRE, 1981, 1986 ; AABY, 1986 ; BERGLUND 2003 ; BRUN 2011), il faut attendre la fin des années 1990 pour assister en France à un renversement des paradigmes (GUENET, 1992 ; RICHARD, 1994), Didier GALOP faisant de la gestion agro-sylvo-pastorale l'objet central de sa thèse sur les Pyrénées (GALOP, 1998).

Un nouveau seuil dans la connaissance de l'origine et de la formation des tourbières a été franchi dans les années 2000, - le développement des recherches interdisciplinaires mettant en lumière le caractère multifactoriel des processus déclencheurs de la turfigenèse<sup>2</sup>. Dans le cadre de la Zone-Atelier Loire (CNRS-INEE), Hervé CUBIZOLLE a établi un lien très clair entre les variations d'intensité de la pression anthropique sur les milieux de moyenne montagne et le rythme de la turfigenèse sur la bordure orientale du Massif central (CUBIZOLLE *et al.*, 2004, 2012 ; CUBIZOLLE & ARGANT, 2006). L'origine de certaines tourbières a même pu être imputée directement à des aménagements visant à retenir l'eau pour les besoins de l'agriculture et de l'élevage.

## 2. Le programme MINEDOR

L'un des apports inattendus du programme MINEDOR est d'avoir mis en lumière le lien étroit entre les tourbières et les activités minières anciennes dans le secteur de la Haute-Combraille (TRÉMENT *dir.*, 2011, 2015, 2016). Dans cette région de hauts plateaux située à l'ouest du département du Puy-de-Dôme, aux confins occidentaux de la cité des Arvernes, Pierre RIGAUD et Guy MASSOUNIE ont identifié au cours des deux dernières décennies un nombre assez considérable de mines d'or anciennes avérées ou potentielles (RIGAUD, 1998a, 1998b, 2000 ; RIGAUD & BOUYER, 1995 ; MASSOUNIE, 2011, 2015) (figure 1).

L'objectif du programme MINEDOR, soutenu par la Maison des Sciences de l'Homme de Clermont-Ferrand, a consisté à caractériser les phases d'exploitation minière en datant leur impact sur l'environnement au moyen d'analyses paléobotaniques et géochimiques

1 <http://www.pole-tourbieres.org/a-la-decouverte-des-tourbieres/article/pourquoi-faut-il-protoger-les>.

2 Pour les Pyrénées, voir par exemple RIUS, VANNIÈRE & GALOP, 2009 ; MAZIER, GALOP & GAILLARD, 2009 ; les Alpes, COURT-PICON, 2007 ; GAUTHIER & RICHARD 2009 ; le Jura, GAUTHIER, 2004 ; le Morvan, JOUFFROY-BAPICOT, 2010. Pour le Massif central, qui concerne plus précisément la présente étude, MIRAS, 2004 ; MIRAS, LAGGOUN-DÉFARGE & GUENET, 2004 ; SURMELY *et al.*, 2009 ; MIRAS, GUENET & RICHARD, 2011 ; MIRAS, LAVRIEUX & FLOREZ, 2013 ; DENDIEVEL, 2017.

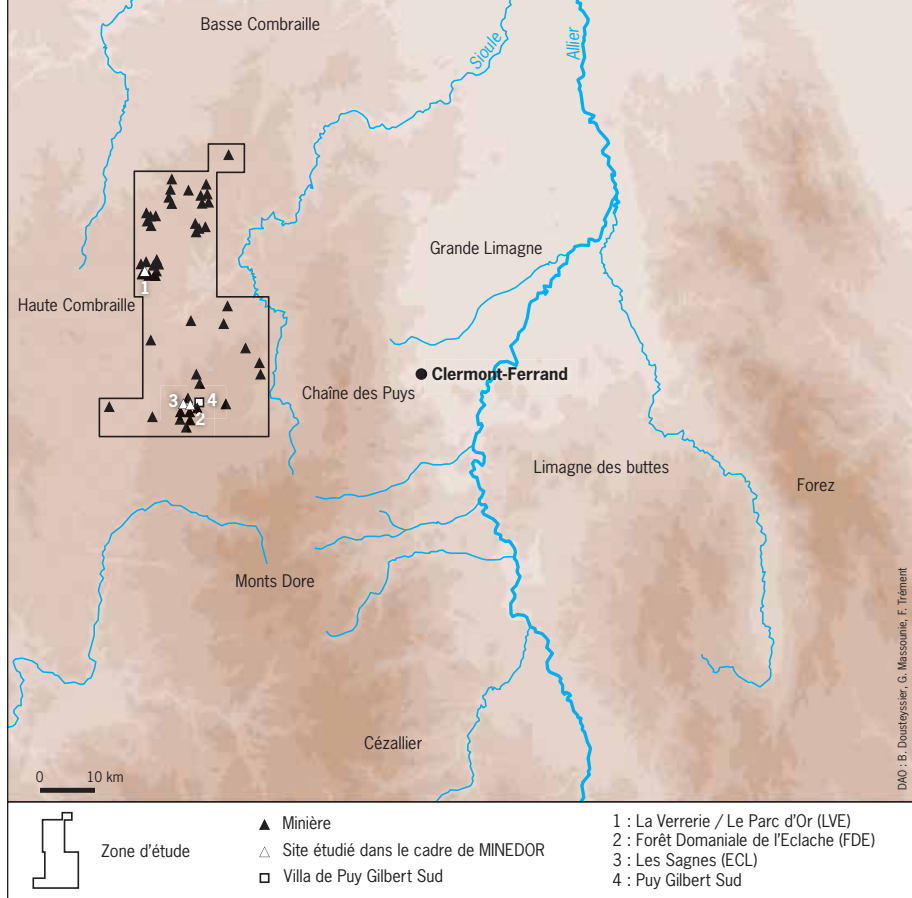


Figure 1. Localisation des sites étudiés.

réalisées sur des séquences sédimentaires prélevées dans des tourbières avoisinantes. Il s'agissait notamment de combiner palynologie et géochimie isotopique du plomb, afin de mettre en évidence d'éventuelles phases de pollution concomitantes avec des déboisements, et d'évaluer leur ampleur<sup>3</sup>. On peut supposer en effet que l'ouverture de mines dans un secteur donné a dû se traduire par des travaux de déboisement, et que l'exploitation elle-même a eu pour conséquence non seulement l'émission de pollutions dans l'atmosphère et dans les eaux de ruissellement, mais également une intensification des prélèvements en matériaux ligneux pour différents besoins liés aux travaux d'extraction ainsi qu'aux opérations minéralurgiques et métallurgiques (CAUQUET, 1999, 2004). L'utilisation massive de l'eau pour l'exhaure et pour le traitement du minerai a dû favoriser la dissémination des polluants dans le milieu environnant, notamment dans les cuvettes et les zones humides qui les ont piégés, en particulier les tourbières.

Le recours à la géochimie isotopique pour mettre en évidence les pollutions chimiques libérées dans l'atmosphère par les activités métallurgiques anciennes s'est progressivement développé au cours des trois dernières décennies (NRIAGU, 1983). Aux premières approches - fondées notamment sur l'analyse des séquences glaciaires du Groenland - ont succédé depuis une vingtaine d'années des études régionales plus interdisciplinaires, visant à discriminer signal géochimique global, régional et local. Des travaux emblématiques ont été conduits en Basse Saxe (MONNA *et al.*, 2000) et dans le Jura suisse (SHOTYK *et al.*, 1998). En France, des recherches ont été développées avec succès dans les ports méditerranéens antiques (VERON, 2004), dans les Pyrénées occidentales (MONNA *et al.*, 2004a), dans le Mont Lozère (BARON, 2005 ; BARON *et al.*, 2006 ; BARON, MAHÉ LE CARLIER & PLOQUIN, 2010), dans le Morvan (MONNA, PETIT & GUILLAUMET, 2004 ; MONNA *et al.*, 2004b ; JOUFFROY-BAPICOT, 2007 ; JOUFFROY-BAPICOT

<sup>3</sup> Les analyses polliniques ont été réalisées par Jacqueline ARGANT et Yun DENG-AMIOT ; les analyses géochimiques l'ont été par Élise BRÉMON, au CEREGE, sous la direction d'Alain VERON, dans le cadre d'un mémoire de master (BRÉMON, 2013).

et al., 2008) et dans les Alpes (PY et al., 2014). Ces travaux ont révélé l'ancienneté des pollutions générées par les activités minières, mais aussi des situations régionales très contrastées.

La méthodologie mise en œuvre dans le programme MINEDOR découle de ces différentes expériences. Elle est fondée sur la quantification des métaux lourds, sur la détection des éléments-traces et sur la géochimie isotopique du plomb libéré par les opérations d'extraction, de lavage et de traitement du minerai (la coupellation de l'or et de l'argent est réalisée au moyen du plomb). Les analyses entreprises en 2011 sur les carottes FDE-2 et ECL-4, réalisées par Alain VERON et Élise BRÉMON sur les mêmes échantillons que ceux prélevés pour l'étude palynologique, avaient pour but de caractériser qualitativement et quantitativement le signal local, et de préciser la nature de l'impact environnemental des activités minières anciennes dans deux tourbières de la commune de Prondines<sup>4</sup>.

### 3. Sites étudiés

Trois sites caractérisés par la juxtaposition d'importantes structures minières et de tourbières ont été retenus, auxquels s'ajoute un site étudié antérieurement, dans le courant des années 2000.

#### 3.1. L'aurière protohistorique de La Verrerie dite du « Parc d'Or » à Villosanges

Le site de La Verrerie (dit aussi du « Parc d'Or »), reconnu depuis le XIX<sup>e</sup> siècle sur la commune de Villosanges, se localise sur le « grand filon de quartz de la Combraille », à 3 km à l'ouest du village de Villosanges, dans le bassin-versant de La Saunade, affluent du Sioulet, à une altitude de 700 m NGF (MATHIEU, 1847 ; RIGAUD et al., 2008) (figure 2). D'autres aurières anciennes sont connues dans ce secteur. En 2004, le site de La Verrerie a été partiellement détruit par des engins de terrassement, qui ont complètement arasé le système de lavage occidental. La grande halde entourant la fosse principale est néanmoins encore parfaitement visible de nos jours dans le paysage. Le plan dressé en 1855 par le géomètre Marien PETIT<sup>5</sup> à la demande de Pierre-Pardoux MATHIEU permet d'en connaître l'organisation générale (RIGAUD et al., 2008). Le site s'étendait selon un axe SO/NE, celui du filon, sur une longueur minimale de 170 m. Il se composait d'une excavation principale d'environ 60 m de longueur, bordée d'une grande halde, dans l'alignement de laquelle s'échelonnaient trois monticules identifiables comme les éléments d'une laverie de minerai.

Les prospections conduites dans le cadre du programme MINEDOR ont révélé la présence jusqu'alors insoupçonnée d'une tourbière dans le fond de la fosse principale (TRÉMENT dir., 2011, 2015, 2016). Trois carottages à la sonde russe ont montré que l'épaisseur du remplissage tourbeux avoisine les 4 mètres (tableau I). Le sédiment prélevé sous la couche de tourbe est constitué d'un gravillon de granite décomposé semblable à celui qui compose la halde. De 398 à 372 cm, la base du remplissage sédimentaire présente un faciès argileux gris clair d'origine lacustre, de plus en plus riche en matière organique au-dessus de 376 cm. La couche de tourbe se développe amplement à partir de 372 cm jusqu'au sommet de la séquence. Des niveaux riches en gros débris de bois s'observent régulièrement. Il apparaît donc que la constitution de ce dépôt tourbeux a commencé peu de temps après

**Tableau I.** Forage et carottages réalisés dans le cadre du programme MINEDOR.

| Lieu-dit                     | Commune          | Nombre de carottages | Code carottage | Puissance cm |
|------------------------------|------------------|----------------------|----------------|--------------|
| Forêt domaniale de L'Eclache | Prondines (63)   | 2                    | FDE-1          | 270          |
|                              |                  |                      | FDE-2          | 120          |
| Les Sagnes                   | Prondines (63)   | 2                    | ECL-3          | 150          |
|                              |                  |                      | ECL-4          | 150          |
| La Verrerie                  | Villosanges (63) | 3                    | LVE-1          | 410          |
|                              |                  |                      | LVE-2          | 450          |
|                              |                  |                      | LVE-3          | 398          |

<sup>4</sup> ÉLISE BRÉMON a effectué les analyses au CEREGE sous la direction d'Alain VERON du 15 juin au 29 juillet 2011 et du 9 avril au 10 mai 2012 dans le cadre d'un mémoire de master (BRÉMON 2013).

<sup>5</sup> Archives départementales du Puy-de-Dôme, 1J429, lettre du 27 juin 1855.



**Figure 2.** L'aurière de La Verrerie, dite du « Parc d'Or » (Villosanges). **a** : Vue verticale de l'aurière (Géoportail - IGN) ; **b** : Vue de la base de la carotte LVE-1 ; **c** : Plan de l'aurière relevé par le géomètre Marien Petit en 1855. L'échelle est donnée par la distance (48 mètres) entre a et b (Archives départementales du Puy-de-Dôme, 1J429, lettre du 27 juin 1855) ; **d** : Coupes topographiques et restitution du profil original de l'aurière (relevé topographique et DAO F. TRÉMENT).

l'abandon de l'exploitation minière, la grande halde formant une cuvette complètement fermée et ennoyée, propice à la turfigénèse.

Cette situation offrait l'opportunité assez exceptionnelle de dater l'abandon de l'aurière grâce au radiocarbone. Les dates obtenues à la base des trois carottes présentent une grande cohérence, montrant de manière indiscutable que l'exploitation a cessé entre le début du IV<sup>e</sup> et le milieu du I<sup>er</sup> s. av. J.-C. (tableau II)<sup>6</sup>. L'aurière aurait par conséquent

6 Dans la carotte LVE-1, le niveau de tourbe basal échantillonné à 372-375 cm a été daté de 385-171 av. J.-C. (Lyon-8124 - GrA). Dans LVE-2, le niveau de tourbe basal prélevé à 442-443,5 cm l'a été de 354-51 av. J.-C. (Lyon-8125 - GrA). Dans LVE-3, le niveau de tourbe basal prélevé à 353-355 cm a été daté de 389-180 av. J.-C. (Lyon-8127- GrA) et le niveau de tourbe immédiatement sus-jacent, entre 351 et 353 cm, de 348-44 av. J.-C. (Lyon-8126 - GrA). Ces quatre dates, parfaitement cohérentes, permettent de situer la période de démarrage de la turfigénèse entre le début du IV<sup>e</sup> et le milieu du I<sup>er</sup> s. av. J.-C. (entre 389 et 44 av. J.-C.).



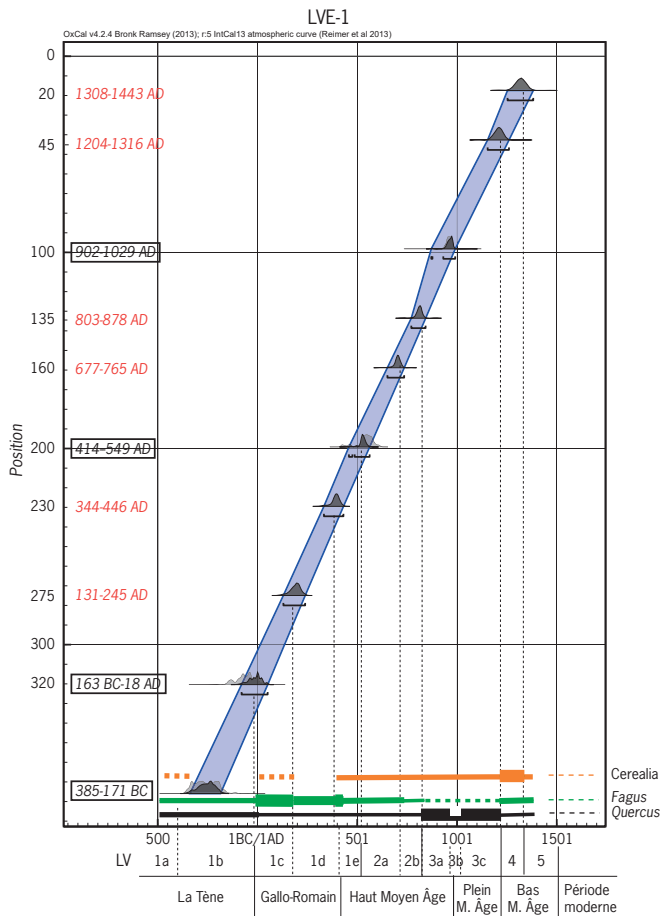
**Tableau II.** Datations par <sup>14</sup>C-AMS réalisées au Centre de Datation par le Radiocarbone de Lyon.

| Carotte | Profondeur échantillon (cm) | Nature de l'échantillon | Âge <sup>14</sup> C BP | Âge calibré                | Code laboratoire |
|---------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|------------------|
| FDE-2   | 95-96                       | Tourbe                  | 765 ± 30               | 1219-1281 ap. J.-C.        | Lyon-8247(GrA)   |
| ECL-4   | 90-91                       | Tourbe                  | 810 ± 30               | 1175-1270 ap. J.-C.        | Lyon-8355(GrA)   |
| ECL-4   | 127,5-130                   | Tourbe                  | 1140 ± 30              | 782-981 ap. J.-C.          | Lyon-8354(GrA)   |
| ECL-4   | 148 (base)                  | Tourbe                  | 3170 ± 35              | 1500-1397 av. J.-C.        | Lyon-8353(GrA)   |
| LVE-1   | 100                         | Tourbe                  | 1040 ± 25              | 902-1029 ap. J.-C.         | Lyon-8900(GrA)   |
| LVE-1   | 203                         | Tourbe                  | 1580 ± 30              | 414-549 ap. J.-C.          | Lyon-8899(GrA)   |
| LVE-1   | 326                         | Tourbe                  | 2050 ± 30              | 163 av. J.-C.-18 ap. J.-C. | Lyon-8900(GrA)   |
| LVE-1   | 372-375                     | Tourbe                  | 2205 ± 40              | 385-171 av. J.-C.          | Lyon-8124(GrA)   |
| LVE-2   | 442-443,5                   | Tourbe                  | 2140 ± 40              | 354-51 av. J.-C.           | Lyon-8125(GrA)   |
| LVE-3   | 351-353                     | Tourbe                  | 2120 ± 40              | 348-44 av. J.-C.           | Lyon-8126(GrA)   |
| LVE-3   | 353-355                     | Tourbe                  | 2220 ± 40              | 389-180 av. J.-C.          | Lyon-8127(GrA)   |

été exploitée dans le courant du Second Âge du Fer et abandonnée au plus tard dans les premiers temps qui ont suivi la conquête romaine. À partir de ce moment, le processus de turfigénèse s'est enclenché et s'est déroulé avec une régularité métronomique, comme le montre le modèle âge-profondeur, à raison de 2 mm/an en moyenne (figure 3).

On a donc ici l'exemple d'un milieu dont l'origine est complètement artificielle mais qui a fonctionné comme un parfait enregistreur des dynamiques paléoenvironnementales postérieures à l'exploitation minière, durant les deux derniers millénaires. Il n'est pas question d'entrer ici dans le détail des analyses palynologiques et géochimiques, qui donnent le reflet d'une histoire du paysage environnant après l'abandon de la mine<sup>7</sup>. Logiquement, les accidents observés dans les courbes de végétation et de rapports isotopiques renvoient davantage à une histoire agro-pastorale que minière. De ce fait, il faut envisager très sérieusement l'hypothèse que des défrichements opérés durant l'Antiquité, le Moyen Âge ou l'époque Moderne aient pu entraîner la remobilisation de polluants, d'autant que les matériaux dont sont formées les haldes sont particulièrement sensibles à l'érosion.

Notons que Béatrice CAUQUET a également observé la présence de niveaux organiques dans le comblement de certaines mines



**Figure 3.** L'aurière de La Verrerie, dite du « Parc d'Or » (Villosanges). Modèle âge-profondeur de la carotte LVE-1 (DAO J. Argant).

<sup>7</sup> Ces données ont été publiées dans TRÉMENT dir. 2016. Un rapport complet du programme MINEDOR est consultable en ligne : <https://www.researchgate.net/publication/271512070>.



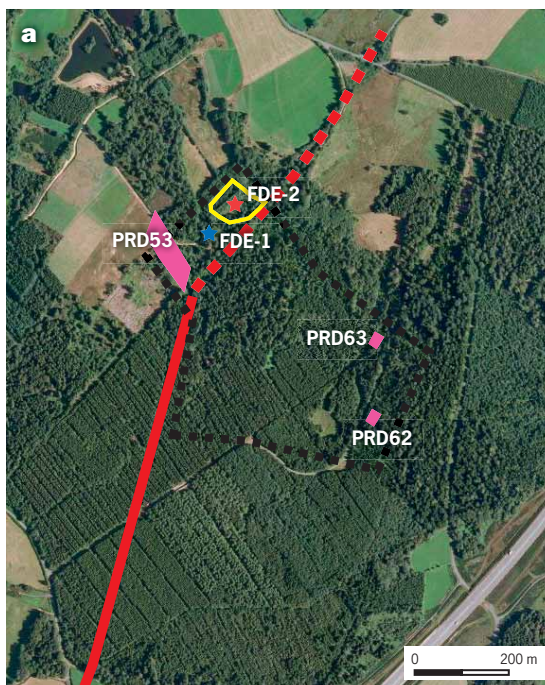
protohistoriques du Limousin. C'est le cas par exemple dans la fosse principale de la mine de Laurières, à Saint-Yrieix-la-Perche, en Haute-Vienne, où un niveau de bois d'une épaisseur de 3 m, constitué de souches, de troncs et de branches de chêne et de hêtre, était conservé dans les remblais gorgés d'eau. Daté par dendrochronologie des VII<sup>e</sup>-VIII<sup>e</sup> siècles, il a été interprété comme le signe d'un « important déboisement effectué à l'époque mérovingienne dans et aux abords immédiats de la fosse » (CAUJET, 1999, p. 41). Mais, à la différence de La Verrerie, il ne s'agissait pas d'une tourbière.

### 3.2. Deux mines d'or médiévales à Prondines ?

Les deux sites suivants ont été découverts en 2008 à une vingtaine de kilomètres au sud du précédent, sur la commune de Prondines, à une altitude comprise entre 950 et 1000 m NGF (TRÉMENT dir., 2011, 2015, 2016). Ils présentent un cas de figure assez différent, car ici les tourbières ne se sont pas développées à l'intérieur des zones minières mais en position limitrophe, contiguë. Cela s'explique certainement par la nature différente des travaux miniers, réalisés ici davantage en extension qu'en profondeur, dans le but d'extraire l'or concentré dans les formations de surface, produisant ce que nous qualifions de « terrains chahutés ».

#### Le site de la Forêt domaniale de L'Éclache (Prondines)

Dans la Forêt domaniale de L'Éclache, la densité du couvert forestier ne permet pas d'avoir une vision extensive de la zone minière, qui semble s'étendre approximativement sur 600 m du nord au sud, et 500 m d'est en ouest, soit une superficie d'une trentaine d'hectares (figure 4). La zone minière est longée à l'ouest par le tracé de la voie romaine dite « Burdigalaise », et trois établissements gallo-romains ont été identifiés sur ses bordures.



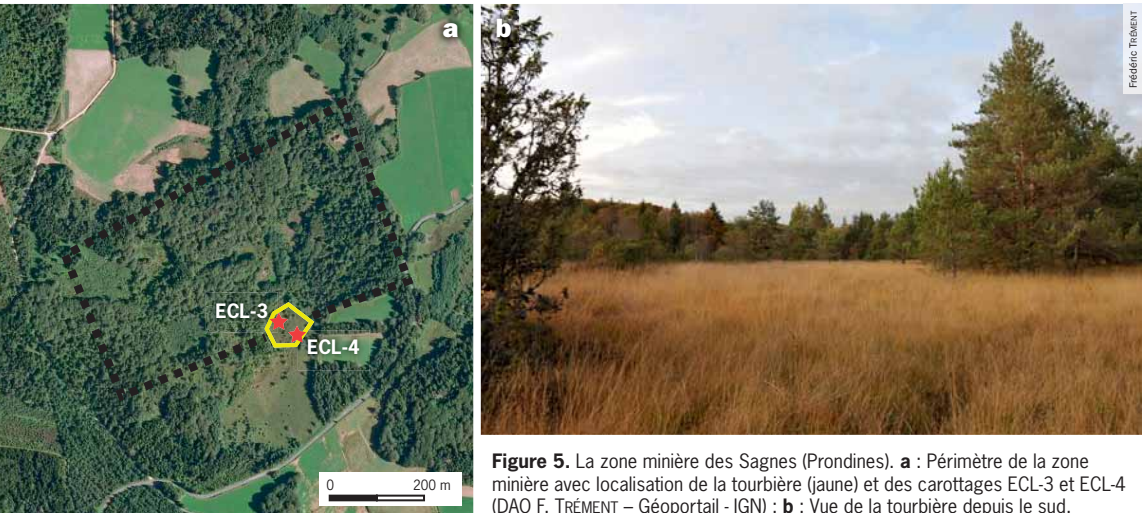
**Figure 4.** La zone minière de la Forêt domaniale de l'Éclache (Prondines). **a** : Périmètre de la zone minière avec localisation de la tourbière (jaune), du forage FDE-1, du carottage FDE-2, du tracé de la voie romaine (rouge) et des sites gallo-romains (rose) (DAO F. TRÉMENT – Géoportail - IGN) ; **b** : Exemple de « terrain chahuté » ; **c** : Vue de la tourbière depuis l'ouest.

Le relevé microtopographique réalisé dans la partie nord de la zone minière a mis en évidence un réseau hydrographique complètement artificiel<sup>8</sup>. Au nord, la zone minière est en outre bordée par une petite tourbière de forme triangulaire d'environ 100 m de longueur et 50 m de largeur, d'une superficie avoisinant les 3000 m<sup>2</sup>. Un carottage effectué en son centre montre que l'épaisseur de tourbe n'excède pas 120 cm (tableau I). Une datation radiocarbone réalisée à 95-96 cm de profondeur donne un âge calibré compris entre 1219 et 1281 ap. J.-C.<sup>9</sup>, ce qui situe le début du processus de formation de la tourbière en plein XIII<sup>e</sup> siècle, ou peu avant (tableau II).

Ces données invitent à s'interroger sur les causes du démarrage de la turfigenèse en bordure nord de la zone minière, en son point le plus bas, à l'aval du réseau hydrographique qui en assure le drainage. Deux hypothèses peuvent être avancées : - la première consiste à considérer la formation de la petite tourbière comme le résultat de la désorganisation locale du réseau hydrographique, consécutive aux travaux miniers ou à leur abandon ; - la seconde consiste à y voir un aménagement hydraulique délibéré (réservoir ou bassin de lavage). La forme régulière de la tourbière et les aménagements hydrauliques qui lui sont liés invitent à privilégier cette seconde hypothèse. Les données palynologiques et géochimiques montrent d'ailleurs que l'extension de la zone humide est concomitante d'une intensification des déboisements et de la pollution locale<sup>10</sup>.

### Le site des Sagnes (Prondines)

Le site des Sagnes, lui, se trouve à 1 km au nord-ouest du précédent. Les traces d'exploitation présumées s'étendent sur un quadrilatère d'environ 700 m d'ouest en est et 400 m du nord au sud, soit une superficie approchant également la trentaine d'hectares (figure 5). La zone minière présente des caractéristiques topographiques très similaires au site précédent et, comme lui, s'étend sous un dense couvert forestier. Comme lui aussi, elle est bordée par une tourbière, qui est toutefois nettement plus étendue (environ 4 ha), et se localise non pas en aval mais en amont de la zone minière.



**Figure 5.** La zone minière des Sagnes (Prondines). **a** : Périimètre de la zone minière avec localisation de la tourbière (jaune) et des carottages ECL-3 et ECL-4 (DAO F. TRÉMENT – Géoportail - IGN) ; **b** : Vue de la tourbière depuis le sud.

Les deux carottages effectués au cœur de la tourbière montrent une épaisseur de tourbe identique à celle du site précédent (soit environ 120 cm) (tableau I). Ils ont permis de caler les principaux épisodes de l'histoire de la végétation et des pollutions minières. Il apparaît que le dépôt sablo-graveleux basal, daté du Bronze moyen, est beaucoup plus ancien que le faciès organo-minéral sus-jacent, mis en place durant le

<sup>8</sup> Le relevé microtopographique a été réalisé par Stéphane LAISNÉ et Véronique TRIPEAU (société Terramétrie).

<sup>9</sup> Lyon-8347 - GrA.

<sup>10</sup> Nous renvoyons aux données publiées dans TRÉMENT dir. 2016 et au rapport consultable en ligne : <https://www.researchgate.net/publication/271512070>.

haut Moyen Âge, tandis que le démarrage de la turfigenèse a lieu au plus tard dans le Moyen Âge central (tableau II)<sup>11</sup>.

Le déclenchement du processus de formation de tourbe dans cette tête de bassin peut être imputé soit à des aménagements hydrauliques liés à l'extraction minière, soit plus vraisemblablement à la désorganisation du drainage consécutive à l'arrêt des travaux d'exploitation.

### **Deux mines d'or médiévales ?**

Ces deux sites des Sagnes et de la Forêt domaniale de L'Éclache présentent de nombreuses similitudes : proximité, contexte géologique et métallogénique, dimensions, topographie, morphologie, gestion hydraulique. Il s'agit là très vraisemblablement de zones d'exploitation minière. Dans les deux cas, toutefois, l'absence d'enregistrement sédimentaire antérieur au Moyen Âge ne permet pas de replacer l'activité d'extraction dans un contexte paléoenvironnemental de longue durée, et de mettre en évidence d'éventuelles phases anciennes d'exploitation, notamment pour l'Âge du Fer et l'époque romaine.

L'examen des archives du BRGM permet toutefois d'envisager très sérieusement la piste d'exploitations aurifères<sup>12</sup>. De l'or libre alluvionnaire a été identifié à l'intérieur et/ou à proximité immédiate des deux zones étudiées : - dans la partie orientale de la zone des Sagnes, ainsi que 300 m en contrebas à l'est ; - en deux points respectivement situés à 300 et 400 m au nord de la zone de la forêt domaniale de L'Éclache, sur le cours du ruisseau qui la draine. C'est probablement en recourant aux mêmes méthodes de prospection alluvionnaire que ces filons aurifères ont été repérés au Moyen Âge, ou plus anciennement, les prospecteurs de l'époque utilisant alors la traditionnelle batée dans ces petits ruisseaux. À côté des grandes aurières désormais « classiques » du Second Âge du Fer, semblables en tout point à celles des Lémovices, représentées ici par le site de La Verrerie évoqué plus haut, les deux sites découverts sur la commune de Prondines pourraient correspondre à des formes d'exploitation plus superficielles et extensives, produisant des paysages très particuliers, les « terrains chahutés », difficiles à repérer et à interpréter, qui pourraient être liés à l'extraction de particules d'or concentrées dans les formations de surface.

La datation de ces mines s'avère plus délicate que prévu, du fait de l'interaction étroite entre exploitations minières et processus de turfigenèse, les données paléobotaniques et géochimiques n'étant pas forcément contemporaines des principales phases d'extraction, ou tout au moins des plus anciennes. L'hypothèse de mines médiévales remontant au haut Moyen Âge peut être envisagée, mais on ne peut exclure des phases d'exploitation plus anciennes, à l'Âge du Fer ou à l'époque romaine. Quant à la phase d'exploitation médiévale, elle pourrait être liée à l'abbaye cistercienne de L'Éclache, distante d'un kilomètre. Toutefois, les sources disponibles concernant celle-ci n'évoquent pas la ressource minière<sup>13</sup>.

### **3.3. Le site de Puy-Gilbert Sud à Prondines : une villa minière ?**

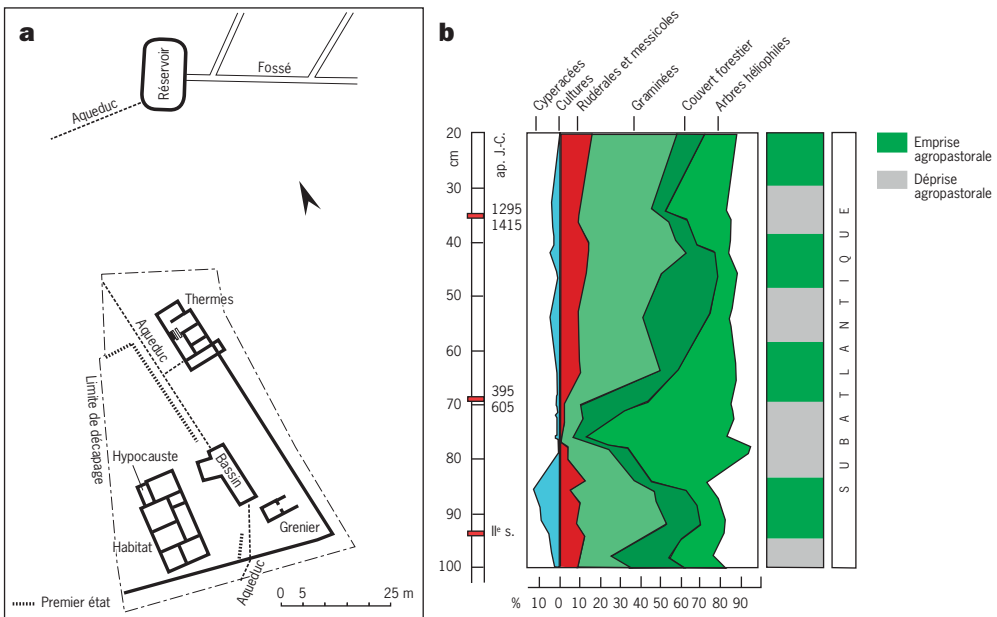
Un dernier exemple illustre parfaitement le rôle de certains aménagements dans le déclenchement de la turfigenèse. Il s'agit en l'occurrence d'un réservoir relié à un système d'adduction et d'écoulement mis au jour à l'occasion de la fouille de la *villa* de Puy-Gilbert Sud dans le cadre de la construction de l'autoroute A89, sur cette même commune de Prondines, à quelques centaines de mètres à l'est du site de la Forêt domaniale de L'Éclache (figure 6). Le fouilleur, André REBISCOUL, a reconnu dans cette structure une installation liée à l'exploitation de minerai (REBISCOUL, 2003 ; REBISCOUL *et al.*, 2009). Le remplissage, constitué d'un mètre de tourbe, a fait l'objet d'une analyse palynologique conduite par Béatrice PRAT (PRAT, 2006). Le démarrage du processus turfigénétique coïncide avec

11 La base, à 148 cm de profondeur, est datée de 1500-1397 av. J.-C. (Lyon-8353 - GrA). L'échantillon prélevé à 127,5-130 cm est daté de 782-981 ap. J.-C. (Lyon-8354 - GrA) ; celui prélevé à 90-91 cm de 1175-1270 ap. J.-C. (Lyon-8355 - GrA). Voir les données publiées dans TRÉMENT *dir.* 2016 et le rapport consultable en ligne : <https://www.researchgate.net/publication/271512070>.

12 Permis exclusif de recherche (PER) dit « de L'Éclache », BRGM, 1984 ; Rapport J.-L. MARRONCLE, BRGM, 1992. TRÉMENT *dir.* 2016 et rapport consultable en ligne : <https://www.researchgate.net/publication/271512070>.

13 Information orale Emmanuel GRÉLOIS.





**Figure 6.** La villa de Puy Gilbert Sud (Prondines). **a** : Plan de la villa (DAO F. TRÉMENT d'après REBISCOUL 2003) ; **b** : Diagramme palynologique d'anthropisation de la séquence tourbeuse formant le comblement du réservoir (DAO F. TRÉMENT d'après PRAT 2006).

l'abandon de la *villa* à la fin du II<sup>e</sup> siècle de notre ère. Le diagramme pollinique montre une succession de cycles alternant emprise et déprise agricole entre l'époque romaine et l'époque moderne. La *villa* était installée dans un paysage largement ouvert, dominé par les activités agricoles et pastorales. Son abandon se traduit par une nette déprise agricole, suivie par un nouveau cycle d'expansion agropastorale durant le haut Moyen Âge.

## Conclusion

En conclusion, les recherches conduites dans le cadre du programme MINEDOR montrent que toutes les tourbières étudiées à ce jour en Haute-Combraille sont étroitement liées aux activités d'extraction aurifère qui s'y sont développées depuis l'Âge du Fer. Le facteur déclenchant le processus de turfigenèse est consécutif soit directement de travaux de creusement réalisés pour les besoins de l'exploitation (réservoirs, laveries), soit indirectement d'une désorganisation du drainage lors de l'abandon de la mine. Lorsque les structures en question cessent de fonctionner, leur colmatage, accéléré par la grande sensibilité à l'érosion des matériaux concernés, provoque un phénomène de rétention d'eau propice à la formation de tourbe, dans un contexte climatique marqué par une forte pluviosité. Les tourbières de Haute-Combraille sont donc tout sauf des « milieux naturels », si tant est que cette expression ait un sens pour les périodes qui nous intéressent, et pour des espaces injustement considérés jusqu'alors comme marginaux, alors que l'occupation y a été beaucoup plus dense qu'on ne l'imaginait durant certaines périodes (MASSOUNIE, 2011, 2015 ; TRÉMENT, 2011-2013, 2014). Pour autant, ces « milieux artificiels » peuvent s'avérer d'excellents enregistreurs des dynamiques paléoenvironnementales à partir du moment où le processus de formation de tourbe, consécutif à l'abandon de l'exploitation, est enclenché.

Ce constat invite à jeter un nouveau regard sur le rôle des tourbières dans les recherches archéo-environnementales. La méthode mise en œuvre dans le cadre du programme MINEDOR - qui consistait à explorer les tourbières pour y repérer et dater l'impact environnemental de l'exploitation des mines - atteint ici une limite évidente, qui n'était pas envisagée initialement. Cette limite tient à l'interdépendance, constatée sur les quatre sites étudiés, entre les mines et les tourbières, ces dernières se formant en lien direct avec l'aménagement et/ou plus vraisemblablement l'abandon des mines. Il en résulte que l'enregistrement du contexte paléoenvironnemental n'est pas contemporain des principales phases d'exploitation minière, tout au moins des plus anciennes. Dans le cas de La Verrerie, le processus de turfigenèse est clairement postérieur à l'activité d'extraction de l'or. Dans



### Frédéric TRÉMENT

Archéologue, il est Professeur d'Antiquités Nationales à l'Université Clermont Auvergne ; il a reçu pour ses recherches sur les interactions sociétés-milieux la médaille de bronze du CNRS en 2005, et a été président de l'Association d'étude du monde rural gallo-romain (AGER) de 2004 à 2014.

le cas des sites des Sagnes et de la Forêt domaniale de L'Éclache, il ne faut pas exclure que les pollutions identifiées puissent témoigner, avec retard, d'une activité minière plus ancienne, protohistorique, antique ou alto-médiévale, ce qui obligerait alors à « découpler » données géochimiques et palynologiques, à moins que ces pollutions ne correspondent qu'à une ultime phase d'exploitation, comme cela a été observé en Limousin (CAUQUET, 1999).

Enfin, du point de vue de l'histoire des paysages, la mise en évidence d'un lien étroit entre mines et tourbières est un résultat dont il faudra mesurer la portée, car les tourbières, qui sont considérées comme des « milieux naturels » par excellence, - à préserver pour leur ressource en eau et leur biodiversité -, apparaissent finalement comme la conséquence d'aménagements liés à des activités en l'occurrence très polluantes. Toutefois, en constituant des zones de rétention, elles ont pu jouer un rôle essentiel dans le piégeage des paléopollutions, évitant ainsi leur diffusion dans l'environnement.

### Bibliographie

- AABY B. 1986. Trees as anthropogenic indicators in regional pollen diagrams from Eastern Denmark. In : BEHRE K.E. (ed.) Anthropogenic indicators in pollen diagrams. Balkema, Rotterdam: 73-93.
- BARON S. 2005. Étude de la traçabilité et de l'évolution d'une pollution liée au fonctionnement d'ateliers métallurgiques médiévaux au plomb argentinifère sur le Mont Lozère. Thèse de doctorat. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, Nancy.
- BARON S., CARIGNAN J., LAURENT S. & PLOQUIN A. 2006. Medieval lead making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): Tracing ore source using Pb isotopes. *Applied Geochemistry* 21: 241-252.
- BARON S., MAHÉ LE CARLIER C. & PLOQUIN A. 2010. Géochimie isotopique du plomb en archéologie minière et métallurgique. Exemple du Mont Lozère dans les Cévennes. *Archéosciences* 34: 149-157.
- BEHRE K.E. 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores* 23: 225-245.
- BEHRE K.E. 1986. Anthropogenic indicators in pollens diagrams. Balkema, Rotterdam, 232 p.
- BERGLUND B.E. 2003. Human impact and climate changes. Synchronous events and a causal link? *Quaternary International* 105: 7-12.
- BRÉMON É. 2013. L'apport de la géochimie à l'étude des paléo-pollutions des sociétés anciennes. Master dirigé par F. Trément. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- BRUN C. 2011. Anthropogenic indicators in pollen diagrams in Eastern France: A critical review. *Vegetation History and Archaeobotany* 20: 135-142.
- CAUQUET B. 1999. L'exploitation de l'or en Gaule à l'Âge du Fer. In : CAUQUET B. (ed.) L'or dans l'Antiquité. De la mine à l'objet. Aquitania, supplément 9, Bordeaux: 31-70.
- CAUQUET B. 2004. L'or des Celtes du Limousin. Culture et patrimoine limousin, collection Archéologie, Limoges, 123 p.
- CHARMAN D. 2002. Peatlands and Environmental Change. John Wiley & Sons, Chichester.
- COURT-PICON M. 2007. Mise en place du paysage dans un milieu de moyenne et haute montagne du tardiglaciaire à l'époque actuelle: analyse du signal palynologique en Champsaur (Hautes-Alpes, France) à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales. Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté, Besançon.
- CUBIZOLLE H. & ARGANT J. 2006. Les facteurs de la mise en place des tourbières du Massif Central oriental granitique à l'Holocène. In : MIRAS, Y. & SÜRMEY, F. (ed.) Environnement et peuplement de la moyenne montagne du Tardiglaciaire à nos jours. Actes de la table ronde de Pierrefort (juin 2003). Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté, Annales Littéraires 799, Série Environnement, sociétés et archéologie 9: 93-108.
- CUBIZOLLE H., FASSION F., ARGANT J., LATOUR C., GALET P. & OBERLIN C. 2012. Mire initiation, climatic change and agricultural expansion over the course of the Late-Holocene in the Massif Central mountain range (France): what are the causal links and what are the implications for mire conservation? *Quaternary International* 251: 77-96.
- CUBIZOLLE H., GEORGES V., LATOUR C., ARGANT J. & SERIEYSSOL K. 2004. La turfigenèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif Central oriental granitique (France) : une manifestation de l'action humaine ? *Quaternaire* 15(4): 343-359.
- DENDIEVEL A.-M. 2017. Paléoenvironnements holocènes du plateau du Béage (massif du Mézenc, Massif central, France). Les variations climatiques et les activités anthropiques révélées par l'étude des macrorestes dans les sédiments tourbeux et la gyttja. Thèse de doctorat. Université de Lyon - Université Jean-Monnet de Saint-Étienne.
- GALOP D. 1998. La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée. Géode, Laboratoire d'écologie terrestre, FRAMESP, Toulouse, 285 p.
- GAUTHIER E. 2004. Forêts et agriculteurs du Jura. Les quatre derniers millénaires. Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon.
- GAUTHIER E. & RICHARD H. 2009. Bronze Age at Lake Bourget (NW Alps, France): Vegetation, human impact and climatic change. *Quaternary International* 200: 111-119.
- GUENET P. 1992. L'impact de l'homme sur son environnement en moyenne montagne du Céziilien au plateau de Millevaches (Massif Central, France). 117<sup>e</sup> Congrès national des sociétés savantes, Clermont-Ferrand: 515-528.
- IVERSEN J. 1949. The influence of prehistoric man on vegetation. *Danmarks Geologiske Undersogelse* 4(3/6): 5-25.
- JOUFFROY-BAPICOT I. 2007. L'impact environnemental des activités métallurgiques sur la forêt du Morvan. In : DUPOUEY J.-L., DAMBRINE E. & DARDIGNAC C. (ed.) La mémoire des forêts. ONF-INRA-DRAC, Nancy: 45-55.
- JOUFFROY-BAPICOT I. 2010. Évolution de la végétation du massif du Morvan (Bourgogne, France) depuis la dernière glaciation à partir de l'analyse pollinique. Variations climatiques et impact des activités anthropiques. Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté, Besançon.
- JOUFFROY-BAPICOT I., FOREL B., MONNA F. & PETIT C. 2008. Paléoméallurgie dans le Morvan: l'apport des analyses polliniques et géochimiques. In : RICHARD H. & GARCIA D. (ed.) Le peuplement de l'arc alpin. Actes du 131<sup>e</sup> Congrès national des sociétés historiques et scientifiques « Tradition et innovation » (Grenoble, 24-28 avril 2006). CTHS, Documents préhistoriques, édition électronique 2, Paris: 323-334.
- LEVEAU P. 2000. Le paysage aux époques historiques. Un document archéologique. *Annales HSS* 55(3): 555-582.

- MASSOINIE G. 2011. La Haute-Combraille. In : TRÉMENT F. (ed.) Les Arvernes et leurs voisins du Massif Central à l'époque romaine. Une archéologie du développement des territoires. Revue d'Auvergne, Tome 1, t.124-125, n°600-601: 383-408.
- MASSOINIE G. 2015. Peuplements et paysages aux confins du territoire des Arvernes de la Protohistoire au Moyen Âge. Le cas de la Haute-Combraille (Puy-de-Dôme). Thèse de doctorat sous la direction de F. Trément. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- MATHIEU P.-P. 1847. Anciens monuments découverts dans les communes de Villosanges, Biolet et Vergeas, près de Pontaurmur. Imprimerie Thibaud-Landriot, Clermont-Ferrand, 36 p.
- MAZIER F., GALOP D. & GAILLARD M.-J. 2009. Multidisciplinary approach to reconstructing local pastoral activities: An example from the Pyrenean Mountains (Pays Basque). *The Holocene* 19: 171-188.
- MIRAS Y. 2004. L'analyse pollinique du plateau de Millevaches (Massif central, France) et de sites périphériques limousins et auvergnats: Approche des paléoenvironnements, des systèmes agro-pastoraux et évolution des territoires ruraux. Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté, Besançon.
- MIRAS Y., GUENET P. & RICHARD H. 2011. Holocene vegetation, landscape and reconstruction of human activity from Prehistory to the Roman period based on new pollen data performed in 'The plateau de Millevaches' (Limousin, Massif Central, France). *Quaternaire* 22: 147-164.
- MIRAS Y., LAGGOUN-DÉFARGE F. & GUENET P. 2004. Multi-disciplinary approach to changes in agro-pastoral activities since the Sub-Boreal in the surroundings of the 'Narse d'Espinasse' (Puy de Dôme, French Massif Central). *Vegetation History and Archaeobotany* 13: 91-103.
- MIRAS Y., LAVRIEUX M. & FLOREZ M. 2013. Holocene ecological trajectories in lake and wetland systems (Auvergne, France): A palaeoenvironmental contribution for a better assessment of ecosystem and land use's viability in management strategies. *Ann. Bot. (Roma)* 3: 127-133.
- MONNA F., HAMER K., LÉVÉQUE J. & SAJER M. 2000. Pb isotopes as a reliable marker of early mining and smelting in the Northern Harz province (Lower Saxony, Germany). *Journal of geochemical exploration* 68: 201-210.
- MONNA F., GALOP D., CAROZZA L., TUAL M., BEYRIE A., MAREMBERT F., CHÂTEAU C., DOMINIK J. & GROSSSET F.E. 2004a. Environmental impact of early Basque mining and smelting recorded in a high ash minerogenic peat deposit. *Science of the total environment* 327: 197-214.
- MONNA F., PETIT C., GUILLAUMET J.-P., JOUFFROY-BAPICOT I., BLANCHOT C., DOMINIK J., LOSNO R., RICHARD H., LÉVÉQUE J. & CHÂTEAU C. 2004b. History and environmental impact of mining activity in Celtic Aeduan territory recorded in a peat bog (Morvan, France). *Environmental science and technology* 38(3): 665-673.
- MONNA F., PETIT C. & GUILLAUMET J.-P. 2004. History and environmental impact of mining activity in Celtic Aeduan territory recorded in a peat-bog (Morvan - France). *Environmental Science & Technology* 38: 665-673.
- NRIAGU J.O. 1983. Lead and lead poisoning in Antiquity. John Wiley & Sons, New York, 437 p.
- PRAT B. 2006. Systèmes agro-pastoraux et milieux périurbains en Basse Auvergne au cours des trois derniers millénaires : contribution de l'analyse palynologique à l'étude des interactions sociétés-milieux. Thèse de doctorat sous la direction de M.-F. André, F. Trément et J. Argant. Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, 368 p.
- PY V., VERON A., DE BEAULIEU J.-L., ANCEL B., SEGARD M., DURAND A. & LEVEAU P. 2014. Interdisciplinary characterisation and environmental imprints of mining and forestry in the upper Durance valley (France) during the Holocene. *Quaternary International* 353: 74-97.
- REBISCOUL A. 2003. Fouille de la villa de Puy-Gilbert, commune de Prondines, Puy-de-Dôme. Rapport n°2003-77. SRA Auvergne, Clermont-Ferrand.
- REBISCOUL A., VALLAT P., HERMARY A. & PRAT B. 2009. Archéologie et autoroute A89, la villa gallo-romaine de Puy-Gilbert-Sud (commune de Prondines, Puy-de-Dôme). *Fines* 4: 45-72.
- RICHARD H. 1994. Indices polliniques d'une néolithisation précoce sur le premier plateau du Jura (France). *Comptes rendus de l'Académie des sciences* 318(2): 209-270.
- RIGAUD P. 1998a. Un patrimoine archéologique méconnu : les minières de la Combraille. *Mémoires de la Société des sciences naturelles et archéologiques de la Creuse* 46: 413-419.
- RIGAUD P. 1998b. Rapport de l'opération de prospection thématique n°98/076 « Les mines au Nord-Ouest du département de Puy-de-Dôme ». RAP00453. SRA Auvergne, Clermont-Ferrand.
- RIGAUD P. 2000. L'apport de Pierre-Pardoux Mathieu à l'archéologie minière de la Combraille. *Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne* 101(747): 241-264.
- RIGAUD P. & BOUYER P. 1995. Les mines antiques de la Combraille : une introduction à leur étude. *Travaux d'archéologie limousine* 15: 97-103.
- RIGAUD P., COURTADON J.-L., NÉNOT M., GANNE P. & MENNESSIER-JOUANNET C. 2008. L'aurière du Parc d'Or (commune de Villosanges, Puy-de-Dôme). Études non destructives avant destruction. *Fines* 3: 7-13.
- RIUS D., VANNIERE B. & GALOP D. 2009. Fire frequency and landscape management in the northwestern Pyrenean piedmont, France, since the early Neolithic (8000 cal. BP). *The Holocene* 19: 847-859.
- SHOTYK W., WEISS D., APPELBY P.G., CHEBURKIN A.K., FREI R., GLOOR M., KRAMERS J.D., REESE S. & VAN DER KNAAP W.O. 1998. History of atmospheric lead deposition since 12,370 <sup>14</sup>C yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland. *Science* 281: 1635-1640.
- SURMELY F., MIRAS Y., GUENET P., NICOLAS V., SAVIGNAT A., VANNIERE B., WALTER-SIMONNET A.-V., SERVERA G. & TZORTZIS S. 2009. Occupation and land-use history of a medium mountain from the Mid-Holocene: A multidisciplinary study performed in the South Central (French Massif Central). *C. R. Palevol* 8(8): 737-748.
- TRÉMENT F. 2014. Quel modèle de développement régional pour le Massif Central à l'époque romaine ? Essai d'application du modèle « centre/périphérie » au cas de la cité des Arvernes. In : DALL'AGLIO P.L., FRANCESCHELLI C. & MAGANZANI L. (ed.) Atti del IV Convegno Internazionale di Studi Veleiati (Veleia - Lugagnano Val d'Arda, 20-21 septembre 2013). Ante Quem, Ricerche Series Maior 4, Bologne: 433-454.
- TRÉMENT F. dir. 2011-2013. Les Arvernes et leurs voisins du Massif Central à l'époque romaine. Une archéologie du développement des territoires. Revue d'Auvergne, Tome 1, t.124-125, n°600-601, 2011: 512 p. Tome 2, t.127, n°606-607, 2013: 450 p.
- TRÉMENT F. dir., ARGANT J., BRÉMON E., CUBIZOLLE H., DOUSTEYSSIER B., LÓPEZ-SÁEZ J.A., MASSOINIE G., RIGAUD P. & VERON A. 2011. Le programme MINEDOR. Caractérisation archéologique et paléoenvironnementale des mines d'or arvernes de Haute-Combraille (Auvergne, France). In : BRAZ MARTINS C.M., BETTENCOURT A.M.S., MARTINS J.I.F.P. & CARVALHO J. (ed.) Povoamento e exploração dos recursos mineiros na Europa atlântica ocidental. Actes du colloque international de Braga (10-11 décembre 2010). CITCEM, Braga: 55-69.
- TRÉMENT F. dir., ARGANT J., BRÉMON E., CUBIZOLLE H., DENG-AMIOT Y., LAISNÉ S., MASSOINIE G., RIGAUD P., TRIPEAU V. & VERON A. 2015. À la recherche de l'or des Arvernes. Le programme MINEDOR « Caractérisation archéologique et paléoenvironnementale des mines d'or arvernes de Haute-Combraille (Protohistoire - Moyen Âge) ». Rapport scientifique du programme de recherche déposé dans le cadre de l'Appel à Projets « Programme Interdisciplinaire » de la MSH de Clermont-Ferrand. Centre d'Histoire « Espaces et Cultures » (CHEC-EA 1001) - Maison des Sciences de l'Homme (USR 3550). Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. Consultable en ligne : <https://www.researchgate.net/publication/271512070>.
- TRÉMENT F. dir., ARGANT J., DENG-AMIOT Y., CUBIZOLLE H., LAISNÉ S., TRIPEAU V., MASSOINIE G., BRÉMON E., RIGAUD P. & VERON A. 2016. Le programme MINEDOR. À la recherche de l'or des Arvernes. In : LOUIS J.-P. & RIEUTORT, L. (ed.) La Maison des Sciences de l'Homme de Clermont : une décennie au service des SHS et de l'interdisciplinarité. *Revue d'Auvergne* 130(618): 127-148.
- TURNER C. 1964. The anthropogenic factor in vegetational history. *New phytologist* 63: 73-89.
- VERON A. 2004. Le plomb : un poison pour l'homme, de l'or pour le géochimiste. Habilitation à diriger les recherches. Université Aix-Marseille III, 73 p.