



Paléontologie humaine et préhistoire

Dynamique holocène de la végétation et occupation des Pyrénées andorranes depuis le Néolithique ancien, d'après l'analyse pollinique de la tourbière de Bosc dels Estanyons (2180 m, Vall del Madriu, Andorre)

Yannick Miras^{a,b,*}, Ana Ejarque^b, Santiago Riera^a, Josep Maria Palet^b,
Hector Orengo^b, Itxaso Euba^b

^a *Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, Carrer de Montalegre, 6–8, 08001 Barcelona, Espagne*

^b *Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC), Pl. Rovellat, s/n, 43003 Tarragona, Espagne*

Reçu le 14 décembre 2006; accepté après révision le 19 février 2007

Disponible sur Internet le 30 mars 2007

Présenté par Philippe Taquet

Résumé

Nous présentons l'analyse pollinique de la séquence sédimentaire de la tourbière de Bosc dels Estanyons (2180 m, Pyrénées orientales, Andorre). Sept dates ¹⁴C, l'analyse des macro-charbons, des stomates et l'utilisation des influx polliniques permettent de préciser et de dater la dynamique des communautés végétales depuis la fin du Tardiglaciaire. Menée à haute résolution, cette étude constitue une contribution inédite, dans ce secteur, à la compréhension des rythmes d'anthropisation depuis la transition Mésolithique–Néolithique ancien. *Pour citer cet article : Y. Miras et al., C. R. Palevol 6 (2007).*

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Holocene vegetation changes and land-use history in the Andorran Pyrenees since the Early Neolithic: The pollen record of Bosc dels Estanyons (2180 m a.s.l., Vall del Madriu, Andorra). The pollen analysis of a new sedimentary sequence performed at the Bosc dels Estanyons peat bog (2180 m a.s.l., Eastern Pyrenees, Andorra) is presented. Seven radiocarbon measurements and complementary macro-charcoal, stomata, and pollen influx analyses are employed to illustrate the dynamics of high-mountain vegetal communities since the end of the Late Glacial period. This high-resolution pollen analysis outlines the evolution of human activities since the Mesolithic–Early Neolithic transition for the first time in this area. *To cite this article: Y. Miras et al., C. R. Palevol 6 (2007).*

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Analyse pollinique ; Anthropisation ; Holocène ; Néolithique ; Andorre ; Pyrénées

Keywords: Pollen analysis; Human impact; Holocene; Neolithic; Andorra; Pyrenees

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : yannickmiras@yahoo.fr (Y. Miras).

Abridged English Version

The palaeoecological study (pollen, stomata, macro-charcoal) of ‘Bosc dels Estanyons’ peat bog (eastern Pyrenees, Andorra), was performed as a part of a multi-proxy and micro-regional research project in the Madriu–Perafita–Claror valley. The overall objective is to understand the shaping through time of this mountainous cultural landscape, registered in the UNESCO World Heritage List in 2004.

Previous pollen research on human impact carried out in the southern slope of the eastern Pyrenees has provided general pollen diagrams with low sampling resolution and poor chronological control. In contrast, this research was performed at a very high resolution, not only to account for changes in local and regional vegetation since the end of the Late Glacial, but also to allow a first detailed reconstruction of land-use history.

Bosc dels Estanyons (Bosc) is located at the sub-alpine vegetation belt (2180 m a.s.l.), on the northern slope of the Madriu valley. Pollen, stomata, and macro-charcoal were retrieved from the sedimentary sequence. The results are presented in a simplified form as a relative and absolute frequency diagram integrating stomata and macro-charcoal data. Seven ¹⁴C AMS dating measurements were performed, supporting the end of the Late Glacial and Holocene chronology.

Sub-alpine grassland was the dominant vegetation type at the Late Glacial/Early Holocene boundary. However, an early moderate presence of *Pinus* within the grassland at 2100–2200 m high since ca 11200 cal BP was observed. This was probably a response to the favourable insolation conditions of the Madriu valley. Subsequently, as a consequence of Holocene warming, *Pinus* spread within the grassland and *Betula* appeared at lower altitudes. The trend toward a dryer climate between ca 10680 and 9700 cal BP is reflected in the optimum of *Corylus*, high values of xerophytic taxa, the appearance of Mediterranean species (mainly *Quercus ilex*) and the peak of macro-charcoal. This phase seems to have persisted until ca 9100 cal BP, when *Corylus* was replaced by *Quercus* as the dominant arboreal taxa at lower altitudes. The expansion of the oak forest filled by *Tilia* since ca 8800 cal BP signalled the beginning of the postglacial thermal and humid optimum. Taking advantage of the increasing moisture, *Abies* began to spread as early as 7100 cal BP. Nevertheless, *Abies*’ installation remained moderate during the entire Holocene, which could be explained by the southern location of the Madriu valley and its accentuated Mediterranean influence.

In the Mid-Holocene, a slight forest retreat, accompanied by the first signs of *Cerealia*-type, the presence

of many apophytes, and the sudden appearance of *Humulus*-type were interpreted as indications of land clearance and agropastoral activities. This possible human impact on the Madriu valley occurred between ca 8400 and 7800 cal BP (6420 and 5850 BC). Human activities are also observed between ca 7000–6300 BP (5050 and 4350 BC). Pollen evidence of woodland clearance, together with an overall increase of many ruderals, reflects the impact of a shifting pastoral system on the site’s immediate surroundings during the second half of the Early Neolithic period. Considering that the mesophytic climatic *optimum*, for which the highest mean annual temperature and lowest fire activities were recorded in the Iberian Peninsula, is dated between ca 7300 and 5200 cal BP, then the impact of climatic factors on these high-altitude occupation processes may be significant.

Subsequently, pollen data reveal some key-phases of the anthropogenic pressure on the environment. Even though early arable and pastoral activities are witnessed during the Middle Neolithic at ca 5300–5050 cal BP (ca 3350–3100 BC) and at the end of the Final Neolithic, the first real threshold corresponds to the Early Bronze age, around 4100–3600 cal BP (ca 2150–1700 BC). In this last period both the anthropogenic indicators’ irregularity and the prominent increase of macro-charcoal may suggest a shift toward pastoralism. At the same time, *Fagus* became more frequent across the landscape. Even if its dispersal may be connected to the climatic deterioration around 4800 cal BP, the pollen analysis presented here also advocates the possibility of an anthropogenic trigger for the beech expansion. For the rest of the Bronze Age and the Early Iron Age, pollen analysis indicates fairly stable conditions. Even though the slight increase of the agro-pastoral pressure at ca 2600 cal BP (ca 630 BC) can be regarded as a turning point of this tendency, the second real threshold was dated between ca 2050–1800 cal BP (110 BC–235 AD). During this period, large forest openings – associated with increased pastoral activity in the surroundings of the peat bog – emerged, while a combination of cereal (*Secale*) crop fields and arboriculture (*Olea*) spread out at lower altitudes of the Madriu valley. The excavation of a contemporary furnace close to the studied site suggests that the deforestation could be partly due to metallurgical activities. According to pollen data, this fully agro-pastoral landscape seems to have been developing continuously until the onset of the third threshold during the 16th–17th centuries, when overexploitation was witnessed. At this phase, the exploitation system became highly complex and versatile: an extensively open-grazed landscape appeared

at high altitudes, while permanent or semi-permanent mixed cereal fields and arboriculture (*Olea*, *Castanea*, *Juglans*) spread at medium and lower altitudes. The existence of *Pinus* remnants around the peat bog must be linked to charcoal production. Archaeological excavations of numerous charcoal mounds next to the site suggest that this activity could have been strongly developed in this area, particularly during the 18th century.

1. Introduction

L'étude paléocéologique d'un profil sédimentaire prélevé dans la tourbière de Bosc dels Estanyons (Andorre) s'inscrit dans un cadre de recherches micro-régionales menées dans la vallée du Madriu–Perafita–Claror, situées dans le haut bassin du Sègre (Pyrénées orientales) et inscrites au patrimoine de l'humanité par l'Unesco en 2004 (Fig. 1). Ce programme en cours, fondé sur une approche pluridisciplinaire d'archéologie du paysage et de paléocéologie [6], se propose d'analyser, sur la longue durée, les interactions socio-environnementales qui ont conduit à la configuration des paysages culturels de haute montagne. Les sites choisis (tourbières et lacs) se distribuent suivant un transect altitudinal, entre 2000 et 2600 m d'altitude.

Cette note présente les résultats préliminaires des analyses polliniques, radiométriques et de l'étude

des macro-charbons menées à Bosc dels Estanyons (2180 m), et tente de répondre à deux questions majeures :

- quelle fut la dynamique holocène de la végétation ?
- quelles ont été les causes des changements environnementaux constatés : naturelles (variabilité climatique, *feedback* écologique, etc.) et/ou anthropiques (variabilité spatiale et temporelle des modèles de peuplement, des systèmes d'exploitation développés, etc.) ?

Or, la richesse archéologique du Madriu est démontrée par les résultats des prospections et fouilles obtenus à ce jour. Depuis 2004, sur une superficie de 4250 ha, près de 147 structures associées à 33 sites ont été inventoriés dans le haut bassin de la vallée, reflétant l'intense pression d'occupation de ce territoire. Leur diversité typologique (cabanes de bergers et de charbonniers, enclos pastoraux, terrasses de charbonnières, four probablement métallurgique, etc.) traduit la complexité des activités, avec des cas de haute spécialisation fonctionnelle (charbonnage à Bosc, Fig. 1), évoquant une forte structuration dans l'organisation des vallées par type d'exploitation.

À l'inverse du cas du versant français des Pyrénées orientales, où de nombreux travaux pollenanalytiques

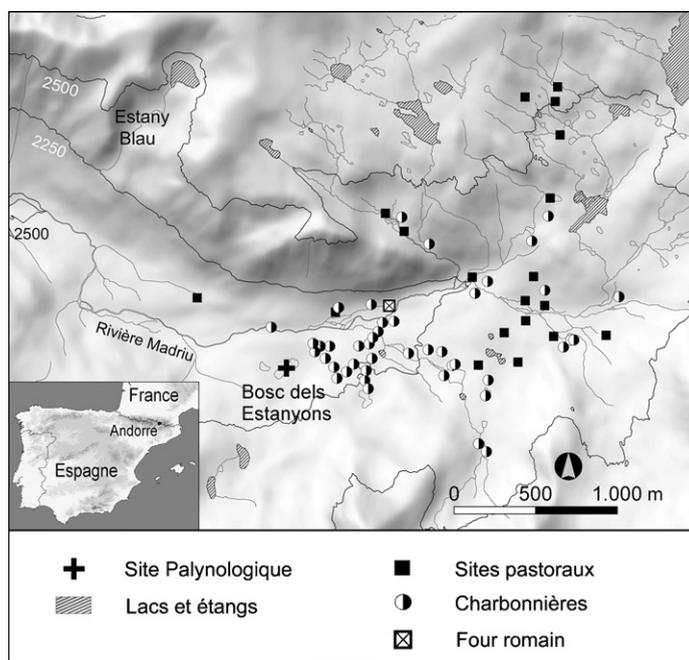


Fig. 1. Localisation du site étudié et cadre archéologique.

Fig. 1. Study site location and archaeological context.

existent [11,15,18,28], les rares études menées sur le versant espagnol et andorran [8,24,26] souffrent de carences importantes pour étudier l'anthropisation des espaces montagnards : nombre réduit de sites étudiés, faible résolution spatiale et temporelle, cadres chronologiques lâches et démarche pluridisciplinaire rare. Aussi, le travail présenté ici constitue pour ce secteur de haute montagne méditerranéenne une première contribution à la réponse aux deux questions précédemment exposées.

2. Localisation. Contexte géomorphologique. Végétation

La vallée du Madriu est située au sud-est de la coprincipauté d'Andorre, sur la paroisse d'Escaldes-Engordany. S'étendant sur près de 4247 ha, la vallée principale est dessinée par le bassin de la rivière Madriu. La tourbière de Bosc dels Estanyons (42° 28' 49,67" N ; 1° 37' 44,96" E), dite Bosc, est située à 2180 m d'altitude sur le versant septentrional de la vallée, caractérisé par son caractère abrupt et la présence de nombreux tabliers d'éboulis, témoignant d'un important morphodynamisme glaciaire et périglaciaire. Cette tourbière, de 162 × 50 m de diamètre, s'étendant sur une superficie de 0,7 ha, se trouve au sein d'une dépression occupée par de petits étangs et délimitée par une moraine latérale. Elle est entourée d'une forêt peu dense de pins à crochet (*Pinus uncinata*), typique de l'association *Rhododendro-Pinetum uncinatae pinetosum* [10]. Cette communauté acidophile est largement répandue à l'étage subalpin (entre 1700 et 2200/2400 m d'altitude) et remplace les formations caducifoliées caractéristiques de l'étage montagnard (d'abord à *Corylus avellana*, puis les chênaies médio-européennes et subméditerranéennes, entre 900 et 1700 m). Le climat de la vallée du Madriu est de type montagnard soumis aux influences atmosphériques océaniques et surtout méditerranéennes, en raison de sa situation franchement méridionale [10].

Tableau 1
Datations ¹⁴C
Table 1
Radiocarbon data

Référence de l'échantillon	Niveau et interval stratigraphique (cm)	Âge ¹⁴ C non calibré (années ¹⁴ C BP)	Âge ¹⁴ C calibré à 2 sigma (années BP)	Âge ¹⁴ C calibré à 2 sigma (années BC/AD)
Poz-13611	19–20	185 ± 30	[300–137]	[1650–1952] AD
Poz-16645	76	1785 ± 30	[1816–1616]	[134–334] AD
Poz-13612	112	2860 ± 30	[2913–2878]	[1124–929] BC
Poz-16646	187–189	4215 ± 35	[4852–4627]	[2734–2678] BC
Poz-13613	257	5680 ± 40	[6567–6395]	[4618–4446] BC
Poz-16647	431–433	9270 ± 50	[10576–10277]	[8627–8328] BC
Poz-13614	515–520	10040 ± 50	[11771–11312]	[9822–9363] BC

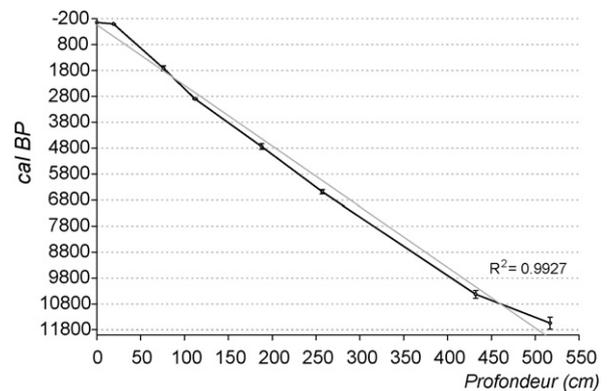


Fig. 2. Modèle âge-profondeur (âges calibrés BP en fonction de la profondeur).

Fig. 2. Depth-age model (calibrated years BP plotted versus depth).

3. Matériel et méthodes

3.1. Datations ¹⁴C

Sept échantillons de matière organique (tourbe) ont été datés par AMS au Poznań Radiocarbon Laboratory (Tableau 1). Les mesures et les âges calibrés [31] ont permis la construction d'un modèle âge-profondeur fiable (Fig. 2). Dans le texte, toutes les dates présentées sont calibrées BP ou calibrées BC/AD.

3.2. Analyse pollinique et étude des macro-charbons

Un profil sédimentaire de 550 cm a été prélevé au centre de la tourbière, au moyen d'un carottier russe. Une haute résolution (tous les 5 cm) a été menée, sauf entre 390 et 550 cm, où la résolution plus lâche s'explique par une problématique directement axée sur les processus d'anthropisation. L'extraction pollinique a été réalisée selon une méthode décrite par Faegri et Iversen [9].

L'expertise au microscope a été effectuée sous un grossissement $600\times$ sous immersion d'huile ; la somme pollinique moyenne comptée est de 350 grains (près de 1000 lorsque des taxons dominaient). À l'instar de travaux récemment menés dans les Pyrénées orientales [15], les pourcentages polliniques ont été calculés sur la base des sommes polliniques totales, dont sont exclus le pollen de *Pinus* (fréquence moyenne à près de 80 % durant tout l'Holocène), des taxons aquatiques et hygrophytiques, ainsi que les spores. Les concentrations polliniques, calculées par adjonction de pastilles de *Lycopodium*, sont exprimées en pollen par gramme sec de sédiment.

Le diagramme pollinique simplifié en fréquences relatives et absolues est présenté sur la Fig. 3. La zonation du diagramme (B1 à B6) a été conçue en tenant compte des assemblages polliniques majeurs, tandis que des sub-zonations (lettres en minuscule) reposent sur des variations du cortège des indicateurs polliniques classiques d'anthropisation (IPA) [3] et de ceux distingués dans les Pyrénées orientales [7].

Les particules charbonneuses étudiées ($>150\mu\text{m}$) sont considérées comme des macro-charbons [4] et leur quantification est faite à la loupe binoculaire. Les résultats (Fig. 3) sont exprimés en nombre de macro-charbons par gramme sec de sédiment.

4. Résultats et discussion

4.1. Zone pollinique B1 (environ 11900–11200 BP) : une restructuration précoce de la végétation tardiglaciaire

Les fréquences d'*Artemisia*, des Chenopodiaceae, des Asteroideae et des Poaceae ont largement entamé leur décroissance, pour quasiment l'achever autour de 11550 BP (B1), ce qui apparaît précoce par rapport à d'autres séquences comme celle de la vallée de la Têt, sur le versant septentrional du massif pyrénéen, où les plantes steppiques présentent toujours des fréquences polliniques de 20 % autour de 11160 BP [15]. À Bosc, la végétation steppique caractéristique du Dryas récent est en pleine réorganisation, même si la végétation dominante reste de type herbacé (PA/T minimal vers 10 %). Néanmoins, l'observation régulière de stomates de *Pinus* à partir de 11200 BP environ atteste son extension précoce jusque vers 2100–2200 m d'altitude ; le même événement se produit postérieurement sur le versant nord, vers 10700 BP [28]. En raison de conditions micro-locales (meilleur ensoleillement) ou plus générales (conditions thermiques plus favorables de la vallée du Sègre), des îlots de *Pinus* dispersés dans la

pelouse subalpine ont pu persister à relativement haute altitude durant le Dryas récent, expliquant une réponse précoce de la végétation de la vallée du Madriu aux premières pulsations de l'amélioration climatique du début de l'Holocène.

4.2. Zones polliniques B2 et B3 (environ 11200–9700 BP) : la reconquête forestière postglaciaire

Postérieurement à 11200 BP, les données polliniques (B2) montrent une extension régionale de *Betula*, réponse à l'amélioration climatique du Préboréal constatée régionalement dans la même fourchette chronologique [28]. Localement, les pinèdes (probablement à *Pinus uncinata*) s'étendent et se densifient (concentration maximale en pollen de 23×10^4 poll/g et de stomates). Les démarrages des courbes de *Quercus*, très vite concurrencé par *Corylus*, et la présence d'*Ulmus* indiquent l'installation progressive, à plus basse altitude, d'une forêt traduisant l'instauration de conditions climatiques plus chaudes. Ces taxons arboréens apparaissent donc dans le même ordre que celui précédemment établi sur le versant nord des Pyrénées orientales [20]. L'arrivée et l'expansion de *Corylus* sont identiquement datées à Bosc et à la Têt [15] de 11200 BP environ.

L'expansion de *Quercus ilex*, le léger regain de plantes xérophytiques (*Artemisia*, Chenopodiaceae) et la hausse synchrone des macro-charbons révèlent la mise en place progressive d'un climat plus sec, qui s'affirme entre 10680 et 9700 BP environ (B3). Cette phase d'assèchement du climat a été mise au jour dans toute la Méditerranée occidentale entre 10900 et 9700 BP environ [21].

Au Boréal, la végétation du Madriu semble donc se structurer suivant le modèle préalablement décrit dans les Pyrénées orientales [28] : *Quercus* et *Ulmus* dominant en basse altitude (vers 800 m), *Corylus*, entre 800 et 1800 m, *Betula* et surtout *Pinus*, jusque vers 2200 m au moins, remplacé à très haute altitude par la pelouse alpine.

4.3. Sub-zone pollinique B4-a (environ 9700–8370 BP) : la mise en place des formations forestières de la mi-Holocène

Au Madriu, entre 9400 et 9100 BP environ, une réorganisation de la couverture forestière a lieu à toutes les altitudes (B4-a). Autour de 2200 m d'altitude, les pinèdes subalpines se maintiennent, mais sont moins denses ou s'éloignent de la tourbière (concentrations absolues et densité de stomates plus faibles). Aux alti-

tudes intermédiaires, l'augmentation des fréquences de *Quercus* (à 30 %), synchrone de la réduction de *Corylus* (à 10 %), caractérisant la transition Boréal-Atlantique, évoque une progression altitudinale dans le Madriu d'une forêt décidue (sûrement au-delà de la limite supérieure actuelle, autour de 1700 m), qui se diversifie notamment en *Tilia* et en *Fraxinus* à partir de 8800 BP environ (date légèrement antérieure à celle de 8000 BP environ, obtenue régionalement [18,19,28]). Cela laisse présager la mise en place progressive de conditions climatiques plus humides, dont semble profiter *Abies* à l'étage supérieur.

Cette phase plus mésophile démarre dans toutes les Pyrénées orientales entre 9700 et 9600 BP [15,28] étayant les datations obtenues à Bosc. Elle entraîne probablement une ascension des étages de végétation ; les oscillations des courbes de *Quercus* indiquent la complexité du processus de restructuration des chênaies montagnardes : tandis qu'elles gagnent de l'espace sur les pinèdes subalpines, elles entrent en compétition, à plus basse altitude, avec la chênaie sclérophylle (fréquences de *Quercus ilex* à 5 %).

4.4. Sub-zones polliniques B4-b/c (environ 8370–7230 BP) : un possible premier impact anthropique très ancien

Entre 8370 et 7800 BP environ (soit 6420 et 5850 BC environ), les indices polliniques (relatifs et absolus, B4-b) et la concentration en stomates témoignent d'un recul des essences forestières des étages subalpin et montagnard (PA/T minimal à 60 %). *Quercus* et *Abies* semblent les plus affectés. Cette possible ouverture du milieu affecterait donc préférentiellement les zones d'altitudes intermédiaires de contact et de concurrence entre les chênaies et les bois aciculaires (probablement au-dessus de la limite actuelle, située entre 1600 et 1800 m [10]). Parallèlement, le tapis herbacé s'enrichit en Poaceae (ca 5 %), en herbacées héliophiles (Ranunculaceae, Asteroideae), en Ericaceae (*Rhododendron*), en Fabaceae (*Genista*-type) et en diverses apophytes (*Spergularia*, *Rumex*, *Lamium*-type). L'hypothèse d'une origine anthropique à cette perturbation est renforcée par la légère hausse des macro-charbons, synchrone de l'observation de pollen d'*Humulus*-type [23], plante indigène en Europe de l'Ouest et héliophile, favorisée, lors de défrichements notamment mésolithiques [17], par l'apparition de spores de *Sordaria*-type, groupe d'ascomycètes majoritairement coprophiles [32] et par des occurrences de *Cerealia*-type. Ces dernières ne constituent pas une preuve formelle d'activité agricole ; certaines espèces

de poacées sauvages semblent avoir joué un rôle dans la végétation depuis le Tardiglaciaire [25]. Mais à Bosc, leurs notations sont ponctuelles et circonscrites à cet événement.

Postérieurement (B4-c), entre 7500 et 7200 BP (environ 5600–5300 BC), des augmentations remarquables de *Betula* (20 %), puis de *Corylus* (40 %), sont contemporaines d'une hausse des taxons arboréens (PA/T à 80 %, croissances simultanées des concentrations polliniques et des stomates de pin) et d'un appauvrissement en taxons herbacés. Cette succession végétale pourrait suggérer une régénération forestière des espaces précocement défrichés et ultérieurement abandonnés.

4.5. Sub-zones polliniques B5-a/b (environ 7120–5040 BP) : premiers indices d'occupation pastorale de la montagne

Au Madriu, l'extension des sapinières (B5-a) s'amorce autour de 7100 BP, ce qui est similaire à ce qui est observé sur le versant septentrional (environ 7500 BP [15]) ; leur développement semble néanmoins plus modeste à Bosc (maximum de 18 %) qu'à la Têt (40 % [15]). L'exposition plus méridionale de la vallée du Madriu et la tendance méditerranéenne plus accusée en sont probablement la cause.

Entre 7000 et 6300 BP (environ 5050 et 4350 BC), les indices polliniques (PA/T à 60 %, B5-a) montrent une tendance à la réduction progressive des essences forestières montagnardes (valeurs moyennes d'*Abies* autour de 5 % et de *Corylus* <10 %) et subalpines (baisse des concentrations absolues et des stomates de *Pinus*), ainsi qu'un accroissement synchrone des Poaceae. Cette ouverture graduelle de l'espace est vraisemblablement la conséquence de défrichements pastoraux. En effet, les IPA traduisent des activités anthropiques jusqu'à l'altitude de Bosc. Un cortège plus important et diversifié de marqueurs anthropiques (hausses d'*Artemisia*, de *Rumex*, présence de *Cannabis*-type), des occurrences d'indicateurs pastoraux (*Plantago lanceolata*, dont c'est la réapparition depuis le Tardiglaciaire, de *Plantago*) et nitrophiles (*Urtica*) suggèrent une fréquentation du site par l'homme et ses troupeaux au cours de la seconde moitié du Néolithique ancien. Ces rencontres encore sporadiques d'IPA traduisent probablement des activités pastorales épisodiques, mais de plus en plus répétées, comme l'indique la baisse de plus en plus accusée de PA/T. La question de l'influence climatique sur cette première phase d'occupation en altitude se pose. En effet, dans toute la péninsule Ibérique, c'est entre 7300 et 5200 BP que les conditions mésophytiques sont optimales : températures moyennes annuelles hautes,

accroissement de l'humidité et fréquences de feux minimales (d'où les faibles concentrations en macro-charbons) [2,5]. Cette période est aussi une phase de très basse continentalité du climat, comme le suggère l'acmé de *Quercus ilex* (à 5%). C'est dans ce contexte, à partir de 6500 BP environ (4550 BC environ), qu'*Ulmus* ce raréfie, ce qui plaide en faveur d'une composante anthropique de la cause de son déclin [27].

4.6. Sub-zones polliniques B5-b/c/d (environ 6200–1700 BP) : les premiers seuils d'expansion de l'anthropisation

Entre 6200 et 5300 BP environ (soit entre 4360 et 3350 BC environ), les indices polliniques (B5-b) suggèrent un regain modéré des formations forestières des étages subalpin et montagnard supérieur (concentration maximale de stomates de *Pinus*, hausse des concentrations absolues et des fréquences relatives de *Pinus* et d'*Abies*), en relation avec un allègement probable de la pression anthropique (diversité moindre des IPA). C'est donc aux altitudes des forêts caducifoliées que semblent se concentrer les activités humaines (faibles concentrations de *Quercus* et de *Corylus*).

Entre 5300 et 5050 BP environ (soit entre 3350 et 3100 BC environ), les indices d'activités pastorales deviennent plus évidents (*Urtica*, *Plantago lanceolata*, etc., fin B5-b), associant ponctuellement des marqueurs agricoles (*Cerealia*-type) et leurs messicoles (Papaveraceae). La couverture forestière, notamment d'altitude (sapinières montagnardes et pinèdes subalpines) est ensuite soumise à des déforestations plus conséquentes à partir de 5170 BP (ca 3200 BC), ouvrant l'espace à une plus large échelle (chute des concentrations polliniques et des stomates, fin B5-b). Elles sont probablement conduites par le feu, dont une partie affecte le voisinage de la tourbière, comme peut en témoigner le fort accroissement en macro-charbons, dont l'aire de dispersion est relativement réduite [4]. Cette phase d'anthropisation de la montagne pyrénéenne a été également mise au jour par l'archéologie en Cerdagne française [29]. Au Madriu, il s'initierait donc, au Néolithique moyen, une phase d'expansion des activités pastorales, qui s'accroîtraient légèrement au Néolithique final, à partir de 4650 BP environ (soit 2720 BC, B5-c), et plus sérieusement entre 4100 et 3600 BP environ (soit entre 2150 et 1700 BC environ) (B5-d). Le Bronze ancien apparaît donc comme une phase d'intensification des activités anthropiques. Les irrégularités des IPA et du signal paléo-feux suggèrent que le système agro-pastoral qui se met en place est probablement de type itinérant, mais avec des fréquences

d'occupation vraisemblablement plus grandes. C'est dans ce contexte, autour de 4800 BP (2850 BC environ), que les premières observations régulières de *Fagus* témoignent de la pénétration de cette essence dans la vallée (à partir de la sub-zone B5-c). Le même événement est régionalement daté d'environ 5000 BP (3100 BC) dans les Pyrénées orientales [13,28]. Le travail présenté relance l'hypothèse d'une participation anthropique à la diffusion de *Fagus* [13,18,28], même si celle-ci doit résulter aussi de l'installation de nouvelles conditions climatiques (diminution des températures estivales, hausse des précipitations annuelles) vers 4850–4800 BP [22].

4.7. Sub-zone pollinique B5-e et zone B6 (3500 BP–période subactuelle) : phases de stabilité et d'explosion des activités anthropiques

En comparant tous les marqueurs, la diminution des Poaceae (à 3 %, début B5-e), entre 3400–3050 BP environ (soit 1450–1100 BC environ), et les augmentations des fréquences des différentes essences arboréennes (PA/T de 65 %) paraissent indiquer un repli de la pression anthropique et une reconstitution des peuplements forestiers. Néanmoins, l'absence de dynamique locale des marqueurs anthropiques et le maintien des concentrations de stomates de *Pinus* à des taux très bas invitent plutôt à envisager localement une stabilité des activités humaines. La décroissance significative en macro-charbons peut évoquer une modification du système d'exploitation agro-sylvo-pastoral ou de sa réorganisation spatiale durant presque tout l'âge du bronze et le premier âge du fer.

Ce n'est qu'à partir des environs de 2600 BP (630 BC) qu'un essor sensible de la pression anthropique autour de la tourbière est indiqué par un nouveau minimum dans la concentration des stomates de *Pinus*, corrélé à des concentrations polliniques d'arbres très faibles, à un léger accroissement des indicateurs de l'activité humaine (*Plantago sp.*, *Plantago lanceolata*, *Galium*, *Artemisia*, *Lamium*-type, *Echium vulgare*) et des Poaceae (15 %) et à un pic de macro-charbons (moitié B5-e). L'étage des chênaies caducifoliées et des sapinières semble également affecté. Toutefois, le développement in situ d'une cariçaie assez dense (taux des Cyperaceae >60 %), biaisant l'enregistrement pollinique régional [1], rend impossible toute interprétation plus fine pour le reste de la zone.

À partir de 2050–1800 BP environ (soit 110 BC–235 AD), la pérennisation et l'accroissement de tous les indicateurs de l'activité humaine indiquent une nouvelle intensification de la pression pastorale et agricole durant

la période romaine (B6-a). Les domaines forestiers de tous les étages altitudinaux ont été fortement dégradés, notamment la chênaie montagnarde et la pinède sub-alpine (concentrations polliniques de *Pinus* les plus basses depuis le Tardiglaciaire, PA/T de 20 %). À partir de la période romaine, les environs de Bosc doivent alors être au cœur d'une zone d'élevage fortement et continûment fréquentée et qui annexe l'étage alpin [7]. À l'échelle de la vallée, le système agro-pastoral se diversifie : une culture céréalière (*Cerealia*-type, *Secale*) à moyenne et basse altitude où se développe aussi une arboriculture (*Olea*). Cette récurrence des défrichements (sans recours au feu) peut aussi indiquer l'émergence et le développement de nouvelles pratiques. Autour du site, un four probablement de forge a été fouillé et la datation radiométrique le situe entre la fin du I^{er} siècle AD et la première moitié du III^e siècle AD. Ce système d'exploitation poursuit son développement avec une accentuation de la pression pastorale et une extension régionale des champs de céréales et de chanvre, notamment à partir du VII^e siècle. Localement, les indices polliniques (taux des Apiaceae de 40 %, des Cyperaceae de 30 %) attestent le développement de ceintures d'atterrissement de la tourbière (B6-a) et un début d'assèchement du site, expliquant la réduction du taux de sédimentation. Il est alors difficile de caractériser les modalités de l'anthropisation pour le dernier millénaire ; d'autres sites plus appropriés sont concernés par cette problématique (site de l'Estany Blau, Fig. 1, Ejarque, thèse en cours).

Néanmoins, à partir des XVI^e et XVII^e siècles (B6-b), les indices polliniques témoignent d'une exploitation forestière et pastorale optimale et complète d'un espace montagnard bien ouvert (concentrations polliniques minimales des arbres) et d'une extension de la culture céréalière et de l'arboriculture (*Olea*, surtout, mais aussi *Juglans* et *Castanea*) à basse altitude. Dans les environs de Bosc, le maintien de populations de *Pinus* semble cohérent avec la présence d'une grande quantité de charbonnières dont la base a été datée du XVIII^e siècle et où la présence de charbons de *Pinus* est dominante (Euba, thèse en cours).

5. Conclusion

Le travail présenté se fonde sur l'étude, sur la longue durée, des interactions existantes entre les sociétés et leurs environnements dans la vallée de haute montagne pyrénéenne du Madriu. Les résultats montrent en premier lieu qu'elles sont anciennes. Si les possibles manifestations de l'activité humaine centrées autour de 6100 BC doivent encore être confirmées, il apparaît

nécessaire de rappeler l'existence du gisement proche et relativement contemporain de la Balma Margineda [14]. De plus, elles font écho à des données similaires obtenues dans des contextes socio-environnementaux bien différents : entre 6500–6400 BC environ sur le plateau du Jura suisse [16] ou autour de 5800 BC dans de très nombreuses régions françaises de montagne (Jura, Alpes, Massif central) ou de plaine (Berry) [30].

En second lieu, les relations sociétés–environnements mises au jour pour la première fois sur le versant méridional des Pyrénées orientales apparaissent rythmées selon une chronologie qui rejoint, dans l'ensemble, celle établie sur le versant septentrional [11]. Des phases d'initiation de l'occupation des secteurs d'altitude ont été révélées dans la vallée du Madriu au Néolithique ancien (5050–4350 BC environ) et à la charnière Néolithique moyen–Néolithique final (entre 3350 et 3100 BC). De même, des périodes-clé d'expansion de l'anthropisation semblent communes, comme le Bronze ancien (2150–1700 BC environ), mais d'autres non, comme l'emprise observée à partir du I^{er} siècle de notre ère. Au Madriu, la romanisation semble marquer un seuil important, incluant des déforestations des pinèdes subalpines, peut-être à mettre en rapport avec l'émergence de nouvelles activités (métallurgiques notamment). En revanche, en Cerdagne française, aucun bouleversement paysager n'est constaté à haute altitude durant l'Antiquité. La romanisation aurait alors seulement exacerbé une dynamique d'anthropisation probablement mise en place dès l'âge du Bronze [12]. Si la reconstruction des dynamiques d'anthropisation mérite d'être poursuivie et affinée sur le versant sud des Pyrénées orientales, cette disparité souligne l'importance d'une approche micro-régionale dans la caractérisation des paysages culturels de haute montagne.

Remerciements

Nous tenons à remercier H. Richard (UMR 6565/CNRS, université de Franche-Comté, Besançon, France) et A. Livarda (université de Leicester, Royaume-Uni) pour leur relecture du manuscrit. Nous témoignons également toute notre reconnaissance à R. Julià (institut Jaume-Almera, CSIC-Barcelona) pour ses descriptions sédimentologiques.

Références

- [1] J.-L. de Beaulieu, A. Pons, M. Reille, Recherches pollenanalytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des monts d'Aubrac (Massif central, France), *Rev. Paleobot. Palynol.* 44 (1985) 37–80.

- [2] J.-L. de Beaulieu, Y. Miras, V. Andrieu-Ponel, F. Guiter, Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions: instability of the Mediterranean bioclimate, *Plant Biosyst.* 139 (2) (2005) 114–126.
- [3] K.E. Behre, The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams, *Pollen Spores* 23 (1981) 225–245.
- [4] C. Carcaillet, B. Fréchet, A.-C. Larouche, P.J.H. Richard, Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history, *The Holocene* 11 (4) (2001) 467–476.
- [5] J.S. Carrión, Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe, *Quat. Sci. Rev.* 21 (2002) 2047–2066.
- [6] H.P. Chapman, B.R. Gearey, Palaeoecology and the perception of prehistoric landscapes: some comments on visual approaches to phenomenology, *Antiquity* 74 (284) (2000) 316–319.
- [7] A. Ejarque, Evolución paleoambiental y ritmos de antropización del Vall del Madriu-Perafita-Claror (Andorra) a partir del estudio polínico del Estany Blau (2471 m), DEA, ICAC/université Rovira i Virgili, Tarragone, Espagne, 2006.
- [8] A. Esteban Amat, Evolución del paisaje durante los últimos 10000 años en las montañas del Mediterráneo Occidental: ejemplos del Pirineo Oriental y Sierra Nevada, thèse, université de Barcelone, Espagne, 1995.
- [9] K. Faegri, J. Iversen, Textbook of pollen analysis, 4th edition, The Blackburn Press, NJ, USA, 1989.
- [10] R. Folch i Guillen, La vegetació dels països catalans, Ketres Editora, Barcelone, Espagne, 1981.
- [11] D. Galop, La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées, 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée, Framespa, Toulouse, 1998.
- [12] D. Galop, Les transformations de l'environnement pyrénéen durant l'Antiquité: l'état de la question à la lumière des données polliniques, in: IV^e Colloque Aquitania (septembre 2003), Saintes, 2005, pp. 317–327.
- [13] D. Galop, G. Jalut, Differential human impact and vegetation history in two adjacent Pyrenean valleys in the Ariège basin, southern France, from 3000 BP to the present, *Veget. Hist. Archaeobot.* 3 (1994) 225–244.
- [14] J. Guilaine, M. Martzluff, Les excavacions a la Balma de la Margineda (1979–1991), Edicions del Govern d'Andorra, Andorre, 1995.
- [15] F. Guiter, V. Andrieu-Ponel, G. Digerfeldt, M. Reille, J.-L. de Beaulieu, P. Ponel, Vegetation history and lake-level changes from the Younger Dryas to the present in the eastern Pyrenees (France): pollen, plant macrofossils and lithostratigraphy from Lake Racou (2000 m a.s.l.), *Veget. Hist. Archaeobot.* 14 (2005) 99–118.
- [16] J.N. Haas, Pollen and plant macrofossil evidence of vegetation change at Wallisellen-Langachermoo (Switzerland) during the Mesolithic–Neolithic transition 8500 to 6500 years ago, J. Cramer, Berlin–Stuttgart, 1996.
- [17] G. Hornberg, E. Bolin, E. Hellberg, I. Bergman, O. Zackrisson, A. Olofsson, J.E. Wallin, T. Pass, Effects of Mesolithic hunter-gatherers on local vegetation in a non-uniform glacio-isostatic land uplift area, northern Sweden, *Veget. Hist. Archaeobot.* 15 (1) (2006) 13–26.
- [18] G. Jalut, Évolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées, université Toulouse-Le-Mirail, Toulouse, 1974.
- [19] G. Jalut, G. Delibrias, J. Dagnac, M. Mardones, M. Bouhours, A palaeoecological approach to the last 21 000 years in the Pyrenees: the peat-bog of Freychinède (alt. 1350 m, Ariège, South France), *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 40 (1982) 321–359.
- [20] G. Jalut, J.M. Montserrat, M. Fontugne, G. Delibrias, M. Vilaplana, R. Julià, Glacial to interglacial vegetation changes in the northern and southern Pyrenees: deglaciation, vegetation cover and chronology, *Quat. Sci. Rev.* 11 (1992) 449–480.
- [21] G. Jalut, A. Esteban-Amat, L. Bonnet, T. Gauquelin, M. Fontugne, Holocene climatic changes in the Western Mediterranean from South-East France to South-East Spain, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 160 (2000) 255–290.
- [22] M. Magny, Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements, *Quat. Int.* 113 (2004) 65–79.
- [23] A.M. Mercuri, C.A. Accorsi, M.B. Mazzanti, The long history of Cannabis and its cultivation by the Romans in central Italy shown by pollen records from Lago Albano and Lago di Nemi, *Veget. Hist. Archaeobot.* 11 (2002) 263–276.
- [24] J.M. Montserrat, Evolución glaciari y postglaciari del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo, Estudio Palinológico, CSIC Zaragoza, Spain, 1992.
- [25] M. O'Connell, C.C. Huang, U. Eicher, Multidisciplinary investigations, including stable-isotope studies, of thick Late-Glacial sediments from Tory Hill, Co. Limerick, western Ireland, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 147 (1999) 169–208.
- [26] A. Pèlachs, Deu mil anys de geohistòria ambiental al Pirineu central català. Aplicació de tècniques paleogeogràfiques per a l'estudi del territori i del paisatge a la Coma de Burg i a la Vallferrera, thèse, université autonome de Barcelone, Espagne, 2004.
- [27] M. Ralska-Jasiewiczowa, D. Nalepka, T. Goslar, Some problems of forest transformation at the transition to the oligocratic/*Homo sapiens* phase of the Holocene interglacial in northern lowlands of Central Europe, *Veget. Hist. Archaeobot.* 12 (2003) 233–247.
- [28] M. Reille, J.J. Lowe, Re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the Last Glacial to the Present, *Quat. Sci. Rev.* 12 (1993) 47–77.
- [29] C. Rendu, La montagne d'Enveig, une estive pyrénéenne dans la longue durée, Éditions Trabucaire, Canet-en-Roussillon, France, 2003.
- [30] H. Richard, Introduction, Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques, n° 777, Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, France, 2004, pp. 7–10.
- [31] M. Stuiver, P.J. Reimer, R. Reimer, CALIB Radiocarbon Calibration (HTML Version 5.0.) (2005), <http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/calib/>.
- [32] B. van Geel, A. Aptroot, Fossil ascomycetes in Quaternary deposits, *Nova Hedwigia* 82 3–4 (2006) 313–329.