

Écologie / Ecology

Dynamique et contexte passés du développement d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France)

Marion Bottollier-Curtet ^{a,b,*}, Serge D. Muller ^{a,b}

^a *Université Montpellier-2, 34095 Montpellier cedex 05, France*

^b *CNRS, Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (ISE-M), case 061, Université Montpellier-2, 34095 Montpellier cedex 05, France*

Reçu le 6 juin 2008 ; accepté après révision le 20 septembre 2008

Disponible sur Internet le 2 décembre 2008

Présenté par Philippe Morat

Résumé

Une tourbière minérotrophe du Massif de l'Aigoual (France du Sud) a fait l'objet d'une cartographie de la végétation actuelle et d'une étude palynologique. Ce travail a permis de dater son origine vers 2300 cal. BP et de caractériser son développement, qui apparaissent fortement conditionnés par les activités agropastorales. La régression des communautés hydrophiles, au profit des espèces nitrophiles et de refus de pâturage, marque l'évolution du site, même durant la déprise agricole. Cette étude met en évidence l'importance des perturbations subies par les zones humides du massif et leur état de dégradation, et souligne la nécessité d'une gestion conservatoire adaptée. **Pour citer cet article :** *M. Bottollier-Curtet, S.D. Muller, C. R. Biologies 332 (2009).*

© 2008 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Past context and dynamics of the development of a Mediterranean peatland (Mont Aigoual, France). A minerotrophic peatland (fen) located on Mont Aigoual (southern France) is investigated for both modern vegetation and fossil pollen. The site is shown to originate around 2300 cal. BP and to have been strongly influenced by agro-pastoral activities. The spread of nitrophilous and not-grazed plant communities, at the expense of hydrophilous ones, characterized the evolution of the site, even during the recent decline of agricultural activities. This study highlights the role of disturbance on the development of the Aigoual peatlands, and their present-day degradation status, and underlines the need of a well-adapted conservatory management. **To cite this article:** *M. Bottollier-Curtet, S.D. Muller, C. R. Biologies 332 (2009).*

© 2008 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Holocène récent ; Massif Central français ; Parc National des Cévennes ; Dynamique végétale ; Palynologie ; Anthropisation

Keywords : Late Holocene; French Massif Central; Cévennes National Park; Plant dynamics; Palynology; Anthropisation

Abridged English version

The National Park of Cévennes (southern France) harbours the southernmost European northern peatlands. Some of these ecosystems developed under the Mediterranean climate, thanks to the high precipitations

* Auteur correspondant. Adresse actuelle : 29 rue Jeanne Marvig, BP 24349, 31 055 Toulouse cedex 4, France.

Adresse e-mail : marion.bottollier@cict.fr (M. Bottollier-Curtet).

occurring on the southern mountains of the French Massif Central. These ecosystems have long been investigated on Mont Aigoual, Montagne noire, Mont Lozère, Espinouse and Monts de Lacaune for phytosociology by Braun-Blanquet and for their palynological record by Firbas, de Beaulieu, and more recently Pulido. These studies were, however, mostly interested in regional vegetation dynamics and failed to provide local information usable for designing conservatory management policies. Despite their major biogeographical and conservation interests, recent researches and management actions were only conducted on Mont Lozère, where peatlands are more frequent and larger than those of other massifs. The present study aims at: (1) investigating the past dynamics of peatland vegetation at the southern limit of the Massif Central (Mont Aigoual); and (2) specifying the origin and status of the present-day peatland vegetation in order to estimate its patrimonial value.

The studied peatland (les Vaquiers) belongs to a series of three minerotrophic peatlands (fens) located on the Montals plateau, on the southern flank of Mont Aigoual. It is a pastured wet meadow, dominated by Juncaceae, Poaceae and Cyperaceae. First, in order to characterise the present-day vegetation, 17 phytosociological relevés were realised in homogeneous zones and computed by the way of a correspondence analysis (CA). The CA clearly distinguishes undisturbed wet zones, dominated by *Carex nigra* (= *C. goodenovii*) and *Juncus acutiflorus*, associated to hydrophilous species comprising *Carum verticillatum*, *Viola palustris* and *Oenanthe peucedanifolia*, and pastured dry zones, characterised by *Festuca arundinacea* associated to meso-xerophilous species, such as *Dianthus deltoides*, *Lathyrus linifolius* subsp. *montanus*, *Tulipa sylvestris*, *Ornithogalum umbellatum* and *Gentiana lutea*.

Second, a sediment core was taken in the central part of the fen, and analysed for pollen and radiocarbon-dated. The peat accumulation began around 2400 and 2300 cal. BP, within landscapes dominated by *Fagus*, which still constitutes today extensive forests in the mountain vegetation belt. The high time-resolution of the pollen analysis reveals three human-induced declines of regional beech forests, around 2000, 1200 and 700 cal. BP, followed by the reforestation of the end of the 19th century.

The synchronicity between the initiation of peat accumulation at les Vaquiers fen and in most of the other peatlands of the massif, and the expansion of human activities during the Iron Age, suggests a major role played by man in this process. That feature points to a very different situation on the Aigoual and Es-

pinouse ranges than on Monts de Lacaune, Montagne Noire and Lézou, where peatlands initiated previously, during the Boreal and Atlantic periods. The influence of human activities is locally perceptible through the progressive replacement of hydrophilous communities by nitrophilous ones. Grazing appears notably to have strongly favoured the expansion of wet meadows of *Carex nigra* (*Caricetum goodenovii*) and *Juncus acutiflorus* (*Juncetum silvatici*), and of meso-xerophilous meadows of Poaceae and *Rumex* spp.

On Mont Aigoual, the modification of soil usage resulting from the agro-pastoral decline at the end of the 19th century induced an important forest recovery, moreover enhanced by reforestation works (*Restauration des Terrains de Montagne*). This recent expansion of natural ecosystems is however not visible locally, les Vaquiers fen remaining dominated by grazing-favoured species. This certainly translates the persistence (or even the concentration) of sheep flocks on the site, which today constitutes an open zone within a forested matrix.

This study underlines the major role played by human activities in the initiation and development of peatlands on Mont Aigoual. It provides new insights about the status and the historical significance of the present-day plant communities, likely to orient their conservatory management. The hydrophilous communities of Ranunculaceae, presently dominated by *Caltha palustris* and *Ranunculus flammula*, appear as the most ancient plant communities of the site, and while their local development is probably related to Antic human activities, they can be considered as a patrimonial element. The *Sphagnum* communities, maybe of recent origin, are clearly restricted today to wetter places by grazing. Finally, the dominant sedge meadows appear to have been favoured by human activities, especially grazing. Since these changes appear as a general feature on Mont Aigoual, human activities can be considered to have resulted in the pauperisation and banalisation of the floristic assemblages, by affecting the hydrophilous communities and favouring the disturbance-related ones. While further similar studies are needed, the present study highlights the important degradation of the peatlands of Mont Aigoual, and underlines the urgency of developing conservatory management policies in order to preserve and restore the rare Mediterranean fens of the southern French Massif Central.

1. Introduction

L'exploitation et la pression anthropique ont entraîné, depuis plusieurs siècles, la régression des tour-

bières françaises qui couvraient encore 120 000 ha avant 1945, contre 60 000 aujourd'hui [1,2]. Comparée aux importantes surfaces occupées par ces écosystèmes dans les pays nordiques, cette superficie apparaît très faible. Néanmoins, en raison de la grande variété des substrats géologiques, de la géomorphologie, des altitudes et des climats, les tourbières présentent en France une grande biodiversité, en particulier végétale. Beaucoup d'espèces arctiques-alpines s'y trouvent en outre en limite méridionale de répartition. Cette richesse écologique et l'importance fonctionnelle des zones humides (en terme d'hydrologie notamment) ont récemment motivé leur prise en compte dans les programmes de gestion et de conservation des milieux naturels [3,4], soulignant ainsi la nécessité de mieux connaître leur fonctionnement et leur dynamique passée.

En région méditerranéenne, en raison des faibles précipitations et des fortes températures estivales, les milieux tourbeux sont très rares. Dans le sud du Massif Central, il faut atteindre 1000 m d'altitude, au voisinage immédiat de la ligne de partage des eaux, pour trouver de petites tourbières qui appartiennent alors à la région tempérée [5]. Certaines d'entre elles restent cependant, au moins partiellement, sous influence méditerranéenne, comme sur le versant sud du Massif de l'Aigoual [6–8]. C'est sur ce massif, situé en bordure du Parc national des Cévennes, que sont localisées certaines des tourbières à sphaignes les plus méridionales du Massif Central [9]. Malgré cette singularité, les recherches menées dans cette région, de même que les actions de gestion, se sont essentiellement concentrées sur des zones telles que le Mont Lozère, où les tourbières sont plus fréquentes et de plus grande superficie [10–15].

Sur l'Aigoual, aucun inventaire complet des zones humides n'a été réalisé [16–18] et les seuls relevés de végétation disponibles sont anciens et concernent les tourbières du plateau de Montals [9,19]. Le complexe tourbeux de Montals a déjà fait l'objet de deux études palynologiques, d'abord en 1932 [20], puis en 1979 dans le cadre d'un travail comparatif des tourbières de l'Aigoual et du Mont Lozère [21]. Ces travaux se sont focalisés sur les dynamiques régionales de la végétation et ne se sont intéressés aux milieux humides que pour leur capacité à enregistrer les événements biologiques et climatiques passés. Ils constituent un référentiel chronologique régional, permettant de préciser le contexte du développement des tourbières depuis plus de 2000 ans et soulignent le rôle majeur joué par les activités anthropiques sur les dynamiques végétales régionales.

Le caractère exceptionnel des écosystèmes tourbeux en région méditerranéenne et les menaces dont ils font

l'objet (drainage, pâturage, reboisement...) ont motivé la présente étude, dans le but d'obtenir des données concernant leur origine et leur développement passé, indispensables à leur gestion conservatoire. Bien que l'étude palynologique non datée de Firbas [20] suggère une origine ancienne pour au moins l'une des tourbières du plateau de Montals (10 000 ans ?), une initiation à peu près synchrone entre 3000 et 2000 cal. BP semble caractériser les autres sites du Massif [21]. La végétation actuelle y est d'ailleurs relativement homogène (cariçaies, jonçaies) et comprend sur certaines tourbières des espèces à forte valeur patrimoniale (*Drosera rotundifolia*, *Lycopodiella inundata*, *Sphagnum* spp.). Nous proposons ici de coupler une étude de la flore actuelle à des analyses palynologiques dans le but de reconstituer la dynamique de la végétation d'une des tourbières du plateau de Montals et d'en préciser les déterminismes. Une attention particulière est portée au rôle de l'Homme qui a constitué le principal facteur d'évolution de la végétation régionale au cours des quatre derniers millénaires [15,21].

2. Matériels et méthodes

La tourbière étudiée (les Vaquiers) est située sur le massif de l'Aigoual, dans les Cévennes méridionales (Fig. 1). Ce massif granitique se trouve sur la ligne de partage des eaux, entre l'Atlantique et la Méditerranée. Son climat très contrasté est caractérisé par d'abondantes précipitations, dépassant 2000 mm/an et essentiellement centrées sur l'automne et le printemps [22]. Une des particularités du massif est d'avoir été totalement déforesté au milieu du 19^{ème} siècle. Des reboisements intensifs réalisés dans le but de réduire l'érosion des sols ont par la suite permis de constituer les vastes peuplements forestiers présents aujourd'hui [5,23].

La tourbière des Vaquiers appartient à un groupe de trois dépressions tourbeuses acides, comprenant également la tourbière du Pont double déjà étudiée par de Beaulieu et Pons [21]. Ces tourbières, situées en bas de versant, se sont développées à la faveur de ruissellements (Fig. 1). Elles correspondent à des prés pâturés dont la végétation est dominée par des Juncaceae, des Poaceae et des Cyperaceae. La dépression étudiée a une superficie de 3,5 ha (Fig. 2). Elle est traversée dans sa longueur par un ruisseau se divisant en plusieurs bras secondaires. Elle présente des zones gorgées d'eau, autour des ruissellements, caractérisées par une végétation hydrophile, principalement à base de joncs (*Juncus acutiflorus* et *J. conglomeratus*) et de *Carex nigra*. Les zones en bordure des ruisseaux, surélevées et plus sèches, sont dominées par des Poaceae (*Deschampsia*

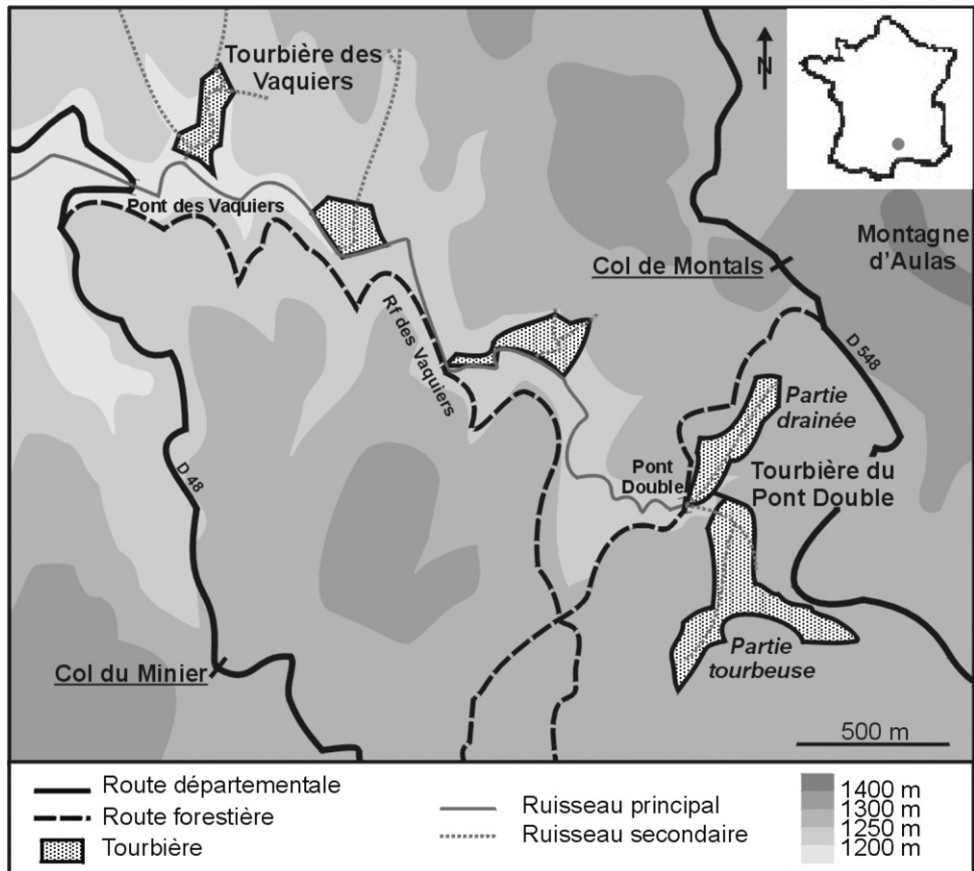


Fig. 1. Localisation de la tourbière des Vaquiers au sein du complexe tourbeux du plateau de Montals.

caespitosa, *Festuca arundinacea* subsp. *fenas* et *F. rubra*) au sein desquelles se développent quelques arbres (principalement *Pinus sylvestris*). Le site est entouré de peuplements forestiers diversifiés dont la régénération est essentiellement assurée par *Fagus sylvatica* et *Abies alba*.

Des relevés de végétation exhaustifs ont été effectués en mai 2006 et août 2007 au sein de 17 zones présentant des communautés floristiques homogènes (Fig. 2). L'importance relative de chaque espèce, par zone, est retranscrite par un indice de recouvrement (1–5). L'analyse factorielle des correspondances a été réalisée sur les indices avec le logiciel STATOS [24]. Les ligneux arborescents, dont l'indice de recouvrement surestime l'importance écologique, n'ont pas été pris en compte dans l'analyse. Une carotte sédimentaire a été prélevée dans la partie centrale de la tourbière, à l'aide d'un carottier russe [25]. L'extraction du pollen a été réalisée sur des échantillons sédimentaires de 1 cm³ tous les 8 cm, selon la méthode conventionnelle [26]. Le diagramme pollinique a été construit à l'aide du logiciel GpalWin [27]. Les proportions des différents taxons y

sont exprimées en pourcentage de la somme pollinique. Celle-ci est de 500 grains minimum et exclut les plantes aquatiques et les Ptéridophytes.

Trois datations radiocarbone ont été réalisées par spectrométrie de masse (AMS) afin d'établir la chronologie du développement de la tourbière des Vaquiers (Tableau 1). La date Poz-14108 est rejetée sur la base de corrélations palynostratigraphiques avec la tourbière du Pont Double [21]. Le modèle âge-profondeur est basé sur les 2 dates restantes, étalonnées avec le logiciel Calib 5.0 [28] et sur une corrélation palynostratigraphique avec les autres diagrammes du massif correspondant au début de l'époque romaine (marqué par le début de l'enregistrement d'*Olea* et par une chute des pourcentages du pollen arboréen) (Fig. 3).

3. Résultats

3.1. Végétation actuelle

Les relevés floristiques mettent en évidence l'importante richesse spécifique de la tourbière, qui comprend

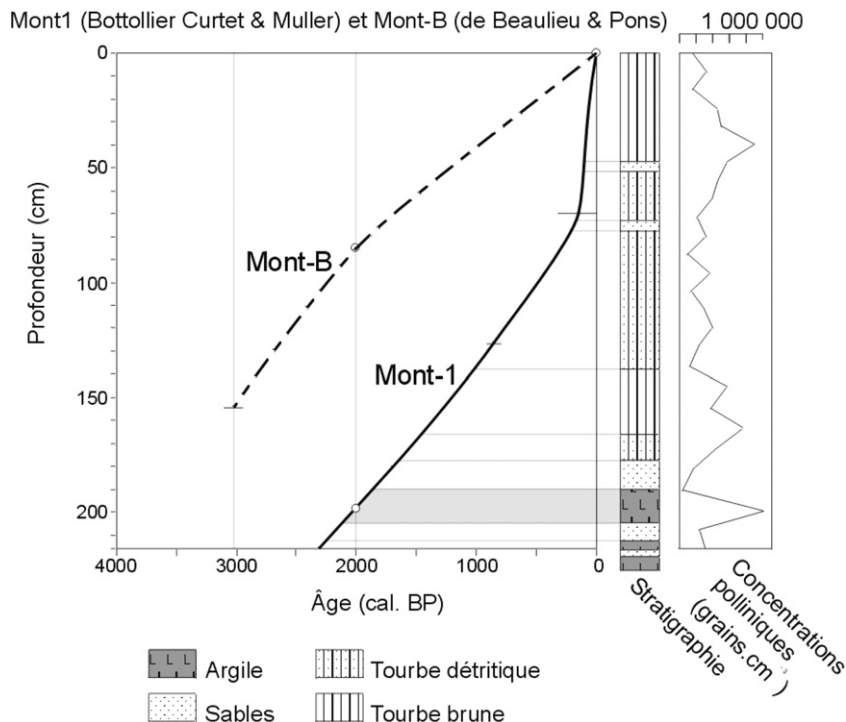


Fig. 3. Modèle âge-profondeur des profils Mont-1 (les Vaquiers) et Mont-B (Pont Double [21]). Les barres d'erreur correspondent aux intervalles de confiance à 95,4% (2-sigma) des dates radiocarbone étalonnées. Les points blancs marquent la surface du sédiment (actuel) et les dates obtenues par corrélations palynostratigraphiques avec le profil Mont-B.

86 espèces dont 4 arbres. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) oppose, avec un « effet Guttman » qui traduit une interdépendance des deux axes, les zones humides peu perturbées aux zones plus sèches affectées par le pâturage (Fig. 4). Les zones humides (3, 5, 7, 11, 13, 16) sont dominées par *Carex nigra* et *Juncus acutiflorus*, associés à un cortège d'espèces hydrophiles comprenant *Carum verticillatum*, *Viola palustris* et *Oenanthe peucedanifolia*. Les zones 5 et 7 sont en outre caractérisées par des espèces absentes du reste de la tourbière, comme *Eriophorum angustifolium*, *Molinia caerulea* et *Carex echinata*. A l'opposé, *Rumex acetosa* et *R. acetosella* caractérisent les zones pâturées (2, 6 et 9). La sécheresse édaphique plus prononcée y permet le développement d'un couvert dense de Poaceae dominées par *Festuca arundinacea*. La zone la plus sèche (9) est caractérisée par la présence d'espèces de pelouses méso-xérophiles, parmi lesquelles *Dianthus deltoides*, *Lathyrus linifolius* subsp. *montanus*, *Tulipa sylvestris*, *Ornithogalum umbellatum* et *Gentiana lutea*. Les zones 1, 10 et 15 apparaissent intermédiaires, à l'interface entre les zones humides peu perturbées et les zones sèches pâturées. Des espèces associées aux deux pôles de l'AFC s'y développent, ainsi que des espèces tolérantes aussi bien au niveau hydrique que trophique,

comme *Deschampsia cespitosa*. Les zones 4, 8 et 17, également intermédiaires, sont principalement liées à *Juncus conglomeratus*, espèce indicatrice à la fois d'humidité et de pâturage. Les zones 4 et 8, enfin, sont entourées des zones les plus pâturées, et des espèces hydrophiles mais tolérantes aux nitrates y sont associées : en particulier, *Gentiana pneumonanthe* et *Polygonum bistorta*.

3.2. Végétation passée

Les corrélations palynostratigraphiques avec les autres études régionales [21] permettent de dater le début de la sédimentation dans la tourbière des Vaquiers entre 2400 et 2300 cal. BP (Fig. 3). La base du diagramme (zone 1 ; Fig. 5) montre une dominance de *Fagus*, qui se développe actuellement dans l'étage montagnard. Les apports polliniques de *Quercus* type *pubescens*, qui caractérise l'étage supra-méditerranéen, ainsi que de *Pinus* type *sylvestris*, de *Corylus* et d'*Alnus*, sont faibles mais continus. Les herbacées ne sont que peu perçues et dominées par les Ranunculaceae. *Fagus* connaît une première régression à l'époque gallo-romaine (2000 cal. BP, zone 2), simultanément à l'enregistrement de *Castanea* et *Juglans* et à l'augmenta-

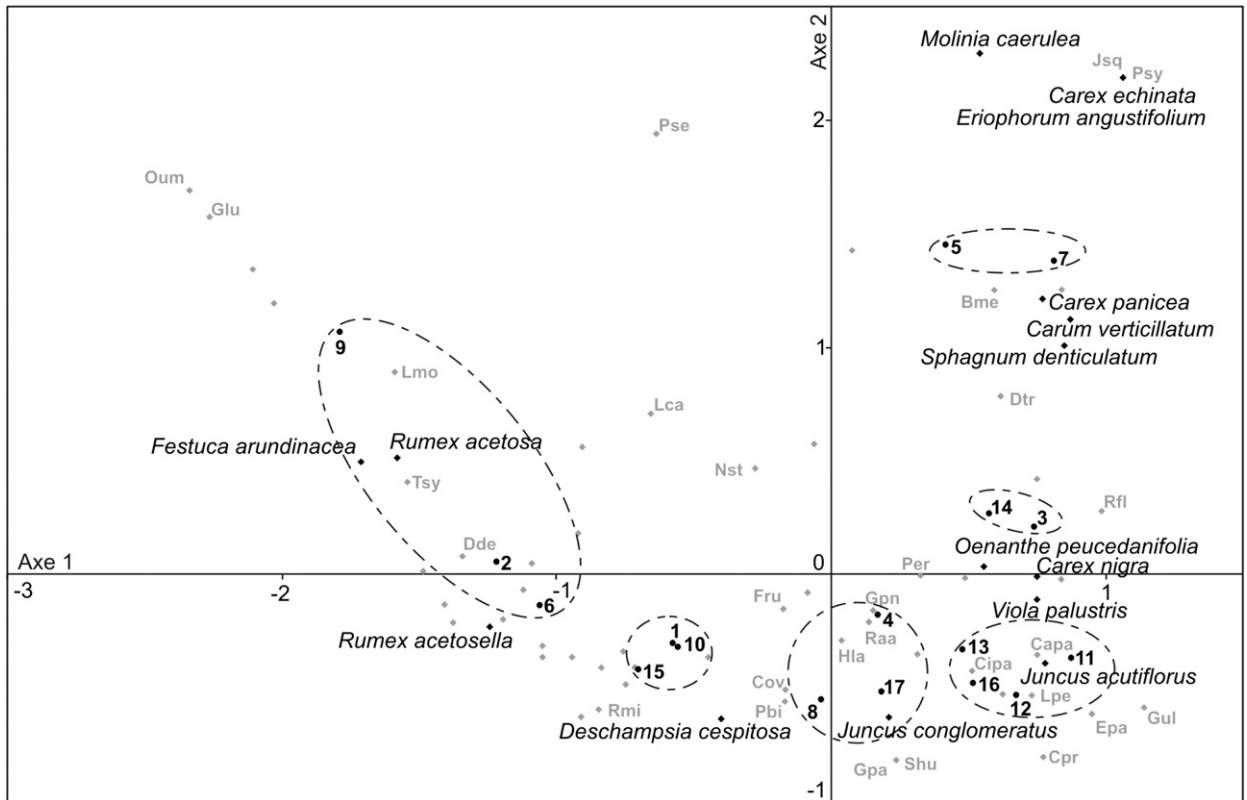


Fig. 4. Répartition des espèces et des zones de la tourbière des Vaquiers selon les deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances. L'analyse a été réalisée sur les indices de recouvrement des espèces indiqués Tableau 2. Les axes 1 et 2 ont respectivement des inerties de 20 et 13,5%. La signification des codes est donnée Tableau 2.

tion des pourcentages de *Calluna* et des Poaceae. Une deuxième régression de *Fagus* accompagnée d'une réduction de la fréquence pollinique de *Pinus* type *sylvestris*, de *Corylus* et d'*Alnus* est perceptible vers 1200 cal. BP (Haut Moyen-Age, zone 3). Ce changement est contemporain d'un meilleur enregistrement des principaux taxons indicateurs d'anthropisation (*Castanea*, *Juglans*, *Calluna*, Poaceae, Cerealia [29]). Une troisième diminution des pourcentages de *Fagus* est observée vers 700 cal. BP (Moyen-Age féodal, zone 4), associée à une régression de *Quercus* type *pubescens*. Cet événement est également accompagné d'une meilleure perception des taxons indicateurs d'anthropisation. Enfin, la dernière zone du diagramme (zone 5) témoigne du développement des espèces ligneuses (en particulier, *Pinus* type *sylvestris* et *Abies*) au détriment de *Calluna* et des herbacées au cours des derniers siècles. Des fougères à spores monolètes (*Dryopteris*-type) sont enregistrées tout au long du profil, mais l'absence de périne (enveloppe portant les caractères diagnostiques) empêche de les attribuer à une espèce particulière. Malgré la pré-

sence actuelle de sphaignes sur la tourbière, aucune spore n'a été trouvée dans les sédiments.

4. Discussion

4.1. Contexte régional du développement de la tourbière des Vaquiers

La suprématie de *Fagus* observée à la base de l'enregistrement de la tourbière des Vaquiers (Fig. 5) est trouvée dans l'ensemble des profils étudiés sur le Mont Aigoual par de Beaulieu et Pons [21] : Pont Double (Fig. 6A), Bramabiau, les sources du Trévezel et ceux de la Dourbie. Un seul diagramme, réalisé dans une tourbière non localisée de Montals (Fig. 6B, [20]), présente un stade initial à *Betula* et semble remonter à une période antérieure, malheureusement non datée. Par corrélation avec les études palynologiques conduites sur le Mont Lozère [10,13,15], ce profil pourrait être attribué au début de l'Holocène. Toutefois, aucune des études réalisées ultérieurement sur le plateau de Montals (Figs. 5 et 6A, [21]) n'a révélé d'enregistrement aussi ancien. Le très faible enregistrement pollinique

Les Vaquiers - Analyse: M. Bottollier & S. Muller, cette étude

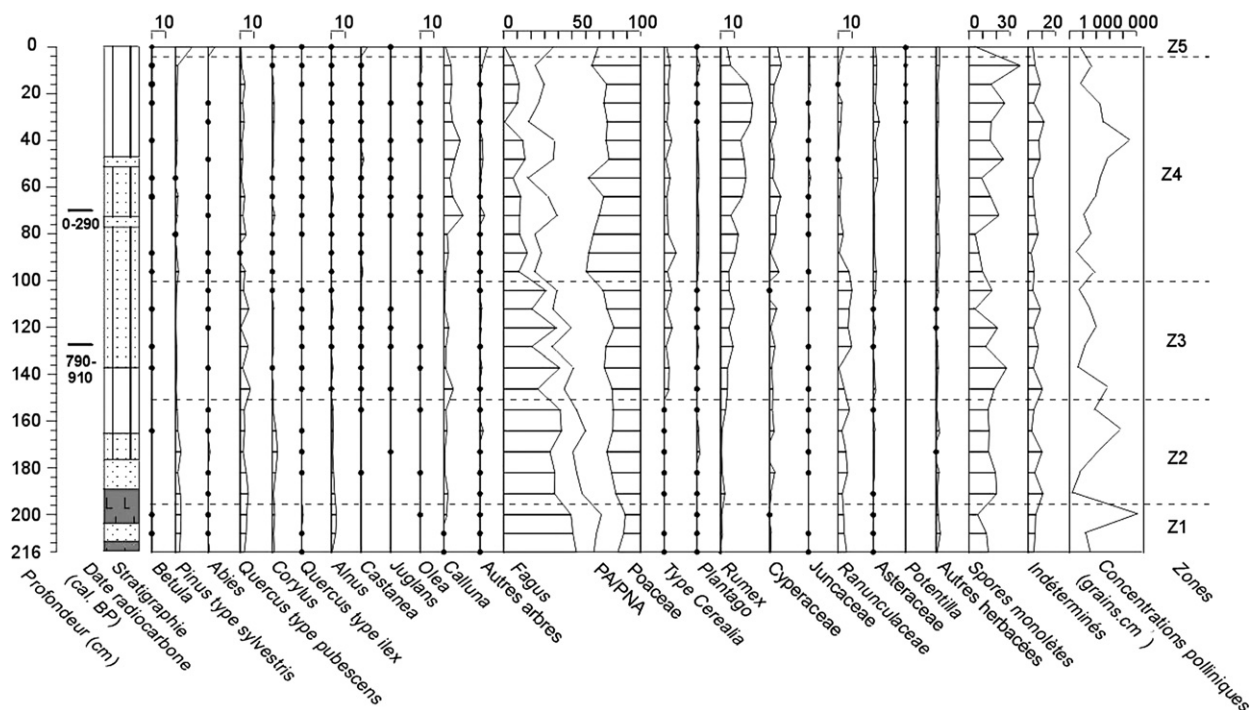


Fig. 5. Diagramme pollinique simplifié (en pourcentages) de la tourbière des Vaquiers. Les points représentent les valeurs inférieures à 1%. La courbe PA/PNA correspond au rapport entre pollen arboréen et pollen non arboréen. La légende de la stratigraphie est donnée Fig. 3.

d'*Abies* dans les différents sites du Mont Aigoual suggère que ce massif n'a pas présenté de développement de hêtraie-sapinière. *Fagus* semble plutôt y avoir été associé à *Pinus* type *sylvestris* [23], bien que le rôle passé de ce dernier fut probablement très réduit et limité aux falaises et aux zones rocheuses (Fig. 5) [13, 30, 31]. Le rôle d'*Abies* dans le sud du Massif Central apparaît néanmoins très variable et si sa présence reste anecdotique dans certains massifs dont l'Aigoual et la Montagne noire [32, 33], des hêtraies-sapinières ont été enregistrées sur le Mont Lozère [11, 15, 21], l'Espinoise [32] et surtout les Monts de Lacaune [33, 34]. Ces variations importantes d'un massif à l'autre pourraient révéler des différences de conditions stationnelles ou une influence de l'Homme qui paraît avoir favorisé l'extension de la hêtraie-sapinière sur la chênaie dans les Monts de Lacaune [33, 34]. La dominance de *Fagus* durant l'Atlantique est cependant un trait caractéristique des Cévennes, qui les distingue des autres massifs montagneux, et notamment des Alpes où le hêtre est demeuré inféodé au sapin jusqu'à l'époque gallo-romaine [35–37].

L'importante résolution temporelle de l'analyse pollinique des Vaquiers, permise par un taux d'accumulation rapide (ca. 0,06 cm an⁻¹ de 216 à 70 cm ;

0,49 cm an⁻¹ de 70 à 0 cm), met en évidence une régression des hêtraies en trois temps. Ainsi, l'augmentation des pourcentages de *Calluna* et des *Poaceae* atteste l'ouverture du milieu à l'échelle régionale dès l'époque gallo-romaine (vers 2000 cal. BP) (Fig. 5). L'accroissement simultané de l'enregistrement des plantes cultivées (*Castanea*, *Juglans*, *Olea* et *Cerealia*) et des espèces nitrophiles (*Plantago*, *Rumex*) suggère la nature anthropique de ces déforestations [29] et l'intensification progressive des pratiques agropastorales. L'augmentation de la fréquence pollinique de *Castanea* vers 1200 cal. BP correspond au développement des cultures de châtaigniers sur les flancs de l'Aigoual durant le Haut Moyen-Age [38], simultanément à l'extension des cultures de céréales en plaine. Il est probable que ce développement des activités anthropiques soit lié à une augmentation de la démographie dans les contreforts cévenols au début du Moyen-Age. Enfin, vers 700 cal. BP, la déforestation semble affecter l'étage méditerranéen, où elle provoque la régression des chênes caducifoliés (*Quercus* type *pubescens*) au profit notamment des cultures d'oliviers. L'extension des taxons arborescents, enregistrée dans le niveau de surface du diagramme des Vaquiers (Fig. 5) et également perçue dans la plupart des séquences étudiées dans les Cévennes méridionales [11,

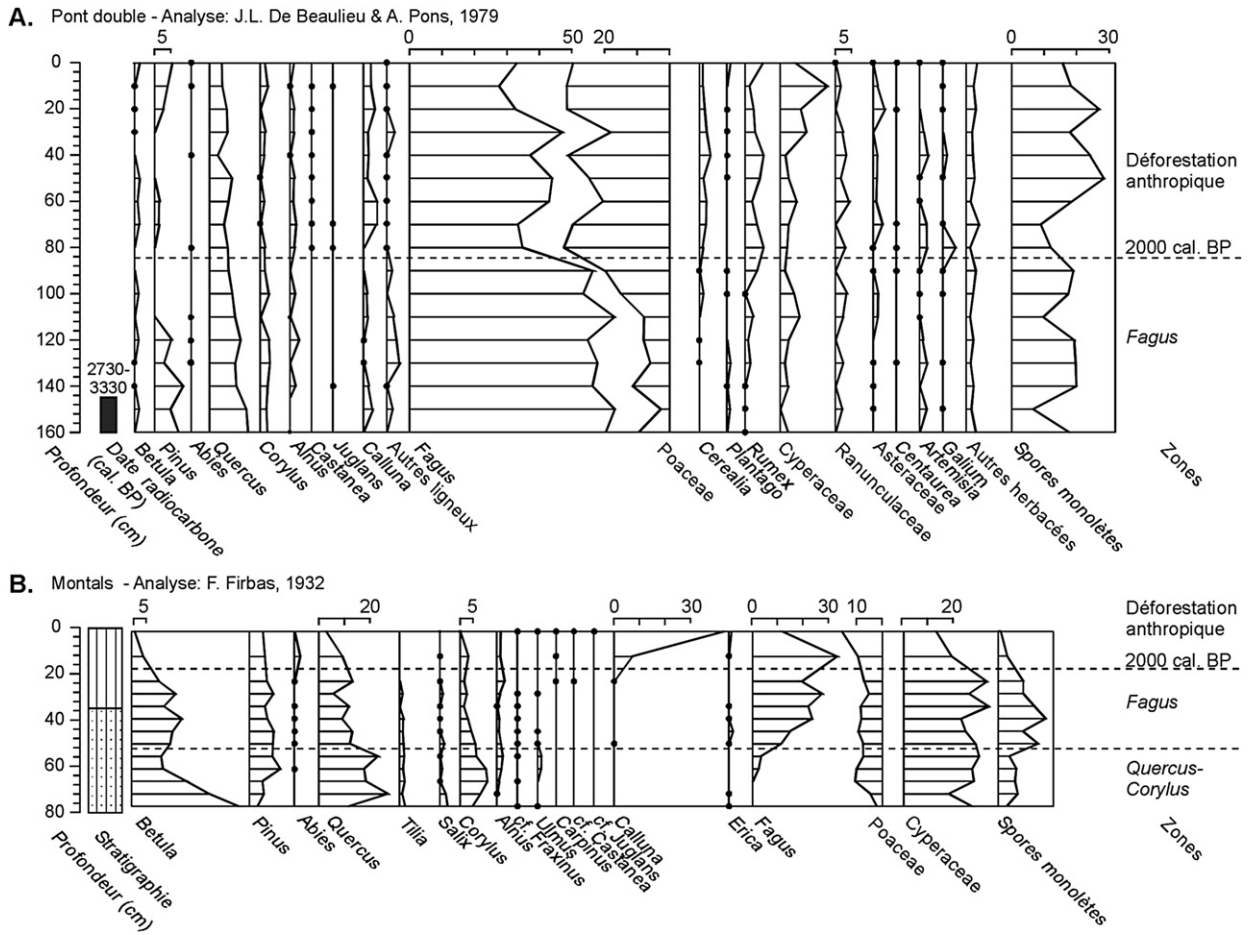


Fig. 6. Diagrammes polliniques antérieurs du plateau de Montals. A. Tourbière du Pont Double, d'après Beaulieu & Pons [21]; B. Tourbière non identifiée, d'après Firbas [20]. Voir légende de la Fig. 5. La légende de la stratigraphie est donnée Fig. 3.

13,15,21], correspond clairement aux campagnes de reboisement de la fin du 19^e siècle [5,23].

4.2. Origine et développement de la tourbière des Vaquiers

Le profil sédimentaire des Vaquiers (Fig. 5) rend compte d'une origine de la zone humide datant d'environ 2300 cal. BP. A l'exception du diagramme de Firbas (Fig. 6B, [20]), les études palynologiques réalisées sur l'Aigoual mettent en évidence une initiation relativement synchrone pour toutes les tourbières du massif. Bien qu'un déterminisme climatique ne puisse être écarté, la contemporanéité de ces événements avec l'extension des activités anthropiques de la fin de l'Age du Fer [15,21,39] suggère un rôle majeur joué par l'Homme. Dès le début de la sédimentation, le site des Vaquiers apparaît dominé par une communauté à Ranunculaceae (Fig. 5), probablement composée de *Cal-*

tha palustris et *Ranunculus flammula*, encore présents actuellement sur les bords des ruisseaux. Les données polliniques suggèrent la présence locale d'*Alnus* et peut-être de *Corylus*, bien que leurs faibles pourcentages indiquent des populations réduites, ne limitant pas le développement des herbacées. Les argiles et les sables caractérisant la base du profil suggèrent la présence d'un ruisseau ou de ruissellements à l'origine du site et une apparition de la tourbière *sensu stricto* vers 1800 cal. BP, avec le début de l'accumulation de la tourbe détritique. A l'exception des passées sableuses à la base du profil qui pourraient traduire une instabilité des sols liée aux déforestations (Fig. 3), peu de marqueurs anthropiques sont enregistrés pendant cette période. Lors de cette phase d'initiation, l'ensemble des tourbières de l'Aigoual est caractérisé par le développement de communautés végétales similaires [21] : les Ranunculaceae, *Alnus* et *Corylus* apparaissent en particulier bien développés sur la totalité des sites et sont parfois associés

aux Rosaceae (sources de la Dourbie et du Trévezel). *Alnus* paraît avoir joué un rôle particulièrement important sur la tourbière de Bramabiau, où ses pourcentages dépassent 20% [21]. La présence de spores monolètes [21] suggère le développement sur ce site d'un marécage à aulnes et fougères, sans équivalent actuel, mais similaire à ceux observés à la même époque dans les Alpes du Sud [S.D. Muller, données non publiées]. Seule l'étude réalisée par Firbas sur le plateau de Montals [20] montre une phase à *Salix* et *Betula* précédant le développement des aulnes (Fig. 6B).

La diminution des pourcentages d'*Alnus* et de *Corylus* vers 1200 cal. BP, et la régression des communautés à Ranunculaceae vers 700 cal. BP (Fig. 5) font suite à une intensification des pratiques agropastorales. L'extension simultanée des taxons nitrophiles et rudéraux (*Rumex*, *Plantago* et les Asteraceae), et le développement des espèces à souche traçante (Cyperaceae et Juncaceae) suggèrent plus particulièrement l'utilisation du site pour le pâturage. Les deux passées sableuses à 50 et 75 cm traduisent la présence d'un ruisseau à l'endroit du carottage, tel qu'il en existe actuellement sur la tourbière. Associées à une augmentation des pourcentages de *Calluna* et à une diminution des pourcentages de *Rumex*, elles suggèrent une ouverture forestière locale, responsable de l'érosion des sols et de l'apport de sables exogènes sur la tourbière. Ces changements locaux sont enregistrés de manière similaire dans l'ensemble des sites de l'Aigoual [21]. Les activités humaines semblent ainsi être à l'origine d'un changement majeur de la couverture végétale des tourbières du massif, entre le début de l'époque gallo-romaine et le Moyen-Âge.

Bien que l'absence de spores de *Sphagnum* aux Vaquiers puisse s'expliquer par la localisation du carottage et/ou le caractère aléatoire de leur sporulation [40], ce taxon n'a pas été enregistré non plus dans les autres profils du plateau de Montals (Fig. 5, [20,21]) alors qu'il est bien représenté dans plusieurs diagrammes de la région (sources du Trévezel, le Peschio [21], Monts de Lacaune [33,34], Baissescure [32]). Il est donc plus vraisemblable que le développement des sphaignes sur la tourbière des Vaquiers est resté très limité ou n'a eu lieu que très récemment.

4.3. Evolution récente de la tourbière des Vaquiers

La comparaison des données floristiques disponibles pour le complexe tourbeux du plateau de Montals [9,16,18], et le Tableau 2 montre une richesse végétale importante de ces zones humides et permet de préciser l'évolution récente de leur végétation, en particulier pour la tourbière des Vaquiers. Sur cette dernière, les données

actuelles mettent en évidence 18 des 22 espèces du *Caricetum goodenovii*, déjà identifiées en 1915 sur le site du Pont Double [9]. Le *Caricetum* a par la suite été retrouvé lors des inventaires ultérieurs [16,18, cette étude] et semble donc s'être maintenu sur le plateau en dépit des activités agropastorales. Sur l'AFC dont il occupe l'un des pôles, il est lié aux zones les plus humides et les moins affectées par le pâturage et est particulièrement bien développé au sein des zones 3 et 14 (Figs. 1 et 3).

A l'inverse, malgré la présence de sphaignes dans plusieurs zones de la tourbière des Vaquiers, celles-ci sont trop faiblement développées pour attester l'existence du *Sphagnetum* décrit sur le site du Pont Double par Braun-Blanquet en 1915 [9]. Sur le plateau de Montals, cette association à forte valeur patrimoniale semble être toujours localisée et bien développée sur la seule partie tourbeuse du Pont Double [16,18]. Le statut passé de cette tourbière comme haute tourbière à sphaignes [9] est cependant remis en question par les analyses polliniques, au sein desquelles aucune spore n'a été identifiée [20,21]. Sur l'AFC (Fig. 3), les éléments de cette association (*Sphagnum denticulatum* en particulier) apparaissent mêlés au *Caricetum goodenovii*. Les Vaquiers semblent avoir évolué vers une prairie humide (bas marais *sensu* [9]). La présence de *Gentiana pneumonanthe* et *Polygonum bistorta*, liée au pâturage, et le développement de Poaceae telles que *Deschampsia cespitosa*, indicatrices d'un assèchement (« assainissement » [9]) des zones humides, confirment cette tendance. L'absence de recolonisation par les ligneux des zones les plus sèches malgré la présence d'individus adultes sur et autour du site peut être attribuée à la pression de pâturage.

L'AFC (Fig. 3) met en évidence l'existence d'une autre association végétale, déjà notée sur certains sites de l'Aigoual [9], mais inventoriée seulement récemment sur le plateau de Montals [16,18] : le *Juncetum silvatici*. Les relevés floristiques ont permis d'inventorier 16 des 21 espèces de cette communauté qui couvre les zones 11, 12 et 16. Le *Juncetum* apparaît proche du *Caricetum goodenovii* aussi bien par la nature des espèces qui le caractérisent (de nombreuses espèces communes) que par sa position dans les analyses statistiques. Seule l'espèce caractéristique dominante, qui est un géophyte à souche traçante (rhizome) dans les deux cas (*Juncus acutiflorus* pour le *Juncetum* et *Carex nigra* pour le *Caricetum*), détermine nettement ces associations.

Une dernière communauté végétale importante sur la tourbière occupe le pôle opposé au *Caricetum* au sein de l'AFC (Fig. 3). Elle est caractérisée par des espèces nitrophiles et rudérales, dominées par *Rumex acetosa* et

Tableau 2

Relévés phytosociologiques réalisés sur la tourbière des Vaquiers en mai 2006 et août 2007. Les espèces dominantes de la tourbière sont notées en gras.

Espèce	Code	Association	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Achillea millefolium</i> L.			+	1				1			+	1					+		+
<i>Agrostis capillaris</i> L. subsp. <i>capillaris</i>			1	1		1		1	+		1	2			1		2-3	3	1
<i>Ajuga reptans</i> L.								+	+	+									
<i>Alopecurus pratensis</i> L.																	1		
<i>Anemone nemorosa</i> L.			+	+	+			+	1		+	1			+		+		+
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J. & C.Presl			+	1-2								+							
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwägr.			+			+		1						3		1			+
<i>Briza media</i> L.	<i>Bme</i>	<i>J.s.</i>	+	+		2	3	2								2			
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull									+		+								
<i>Caltha palustris</i> L.	<i>Capa</i>	<i>C.g., J.s.</i>			1	1	+						2	2	1	2		1	1
<i>Campanula lanceolata</i> Lapeyr.			+					+			1-2	+							
<i>Cardamine pratensis</i> L.	<i>Cpr</i>	<i>C.g.</i>				+								1					+
<i>Carex echinata</i> Murray = <i>C. stellulata</i> Good.	<i>Cec</i>	<i>S., C.g., J.s.</i>						3											
<i>Carex flava</i> L.									2										
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard = <i>C. goodenovii</i> J.Gay	<i>Cani</i>	<i>S., C.g., J.s.</i>	+		5	+		1-2					2	1	3	5			4
<i>Carex ovalis</i> Good. = <i>C. leporina</i> L.	<i>Cov</i>	<i>J.s.</i>	1		1		+												1
<i>Carex panicea</i> L.	<i>Cpan</i>	<i>J.s.</i>			1		+	1			+								+
<i>Carum verticillatum</i> (L.) W.D.J.Koch	<i>Cve</i>				2	+	4	2					3						+
<i>Centaurea nigra</i> L.			1	2-3		1	1	+			1	2			+		+		1
<i>Cinclidotus riparius</i> (Host ex Brid.) Arn.																			+
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	<i>Cipa</i>	<i>C.g., J.s.</i>	+		1-2	1	+	+	+			1	1	1	1	1		2	2
<i>Dactylorhiza traunsteineri</i> (Sauter) Soó = <i>Orchis traunsteineri</i> Saut. ex W.D.J.Koch	<i>Dtr</i>	<i>J.s.</i>					+	+							+				+
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	<i>Dce</i>		4	2	+	+	+			5		1					4	1	5
<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.											+								
<i>Dianthus deltoides</i> L.	<i>Dde</i>		+					+			+								+
<i>Echium italicum</i> L. subsp. <i>italicum</i>			+																
<i>Epilobium palustre</i> L.	<i>Epa</i>	<i>C.g.</i>	+		+								2	1	+	+		+	+
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.									+										
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	<i>Ean</i>	<i>C.g.</i>						+											
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. subsp. <i>fenas</i> (Lag.) Arcang.	<i>Far</i>		1	5				4		+	5								
<i>Festuca rubra</i> L.	<i>Fru</i>	<i>C.g.</i>	3	1-2	1	2	2	2	+	1	1	2		3	+	1	1-2	2-3	1-2
<i>Galeopsis tetrahit</i> L.																	1		
<i>Galium palustre</i> L.	<i>Gpa</i>	<i>C.g., J.s.</i>																	+
<i>Galium rotundifolium</i> L.																	+		
<i>Galium uliginosum</i> L.	<i>Gul</i>	<i>J.s.</i>											2						
<i>Galium verum</i> L.			1	1-2		+	2				+	2					1		1
<i>Genista anglica</i> L.			+	+					+		+						+		
<i>Gentiana lutea</i> L.	<i>Glu</i>										+								
<i>Gentiana pneumonanthe</i> L.	<i>Gpn</i>		+		+	+													
<i>Holcus lanatus</i> L.	<i>Hla</i>	<i>J.s.</i>	2-3	+	1	3	1	2	1	1		3	2	1	5	2	4	+	3
<i>Juncus acutiflorus</i> Ehrh. ex Hoffm. = <i>J. sylvaticus</i> W.D.J.Koch	<i>Jac</i>	<i>J.s.</i>			2	1	1	1					5	5	1-2	+		5	3
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	<i>Jco</i>		+			3	+	+		3-4		1	1	1	+				3-4
<i>Juncus squarrosus</i> L.	<i>Jsq</i>	<i>S.</i>							+										
<i>Lathyrus linifolius</i> (Reichard) Bässler subsp. <i>montanus</i> (Bernh.) Bässler	<i>Lmo</i>								+	+	1	+				+	+		+
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.			+	+					+									+	+
<i>Lotus pedunculatus</i> Cav.	<i>Lpe</i>	<i>J.s.</i>	+		1-2	1							4	3-4	3	1-2		3	3
<i>Luzula campestris</i> (L.) DC.	<i>Lca</i>	<i>C.g.</i>	+	+			1	+	+		2	+			+	1	1		1
<i>Meum athamanticum</i> Jacq.			1	1		+	3			+	+	3						+	+

(continued on next page)

Tableau 2 (Continued.)

Espèce	Code	Association	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	<i>Mca</i>	<i>S.</i>					5												
<i>Montia fontana</i> L.															+				
<i>Myosotis scorpioides</i> L.						1								+	+				
<i>Narcissus pseudonarcissus</i> L.			1	+	+			1			+	3			+		+		+
<i>Nardus stricta</i> L.	<i>Nst</i>	<i>C.g.</i>	2	2-3	3	1-2	3	3	1		1-2	1				4	+		
<i>Oenanthe peucedanifolia</i> Pollich	<i>Ope</i>				1	1					+	+		+	1	2	+		+
<i>Ornithogalum umbellatum</i> L.	<i>Oum</i>										+								
<i>Pedicularis sylvatica</i> L.	<i>Psy</i>	<i>C.g.</i>							1										
<i>Poa chaixii</i> Vill.								2					+		1		1		
<i>Polygala serpyllifolia</i> J.A.C.Horse	<i>Pse</i>	<i>S.</i>							+		+								
<i>Polygonum bistorta</i> L.	<i>Pbi</i>		2	1	1			3-4	+	3-4	+	2	1-2	3	2		1		3
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rauschel = <i>P. tormentilla</i> Neck.	<i>Per</i>	<i>S., C.g., J.s.</i>	+		2	1	1	+	1	2	+	2			1	2	+	1	2
<i>Ranunculus acris</i> L. = <i>R. acer</i> L.	<i>Raa</i>	<i>C.g.</i>	+	+	+	1-2	+								+		+	+	+
<i>Ranunculus flammula</i> L.	<i>Rfl</i>					1													
<i>Rhinanthus minor</i> L.	<i>Rmi</i>	<i>C.g.</i>	+		+			+										1	
<i>Rumex acetosa</i> L.	<i>Rac</i>							1			1	+			+		+		+
<i>Rumex acetosella</i> L.	<i>Race</i>		1-2	1				3											
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.			3	+	2	3	1	1	+	1		1	+		+				+
<i>Saxifraga granulata</i> L.																		+	
<i>Scorzonera humilis</i> L.	<i>Shu</i>	<i>C.g., J.s.</i>																	+
<i>Senecio adonidifolius</i> Loisel.			+	+							3								
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke subsp. <i>vulgaris</i>																			+
<i>Sphagnum denticulatum</i> Brid.	<i>Scu</i>	<i>S.</i>					+		3						1	3		+	+
<i>Stachys officinalis</i> (L.) Trévisan			+	+		+												+	
<i>Stellaria graminea</i> L.			+	+		+		+			+	+							
<i>Succisa pratensis</i> Moench			+		2	+			3	+	+	+						+	
<i>Tragopogon pratensis</i> L.								+											
<i>Tulipa sylvestris</i> L.	<i>Tsy</i>		+	+				+		+	2	+						2	
<i>Veratrum album</i> L.						+	+	+	1	1		+	+	+	1	+	+	1	+
<i>Veronica chamaedrys</i> L.								+				+							
<i>Veronica officinalis</i> L.				+				2			+								+
<i>Viola palustris</i> L.	<i>Vpa</i>	<i>S., C.g., J.s.</i>	+		1	+	+	+	3	1-2			3	3	3	3		3-4	1
<i>Viola tricolor</i> L.			+					+			1								+

R. acetosella. Aucune mention de ces espèces n'apparaît ni dans les inventaires de Braun-Blanquet [9], ni dans les études plus récentes des tourbières du Massif [16,18], sans doute en raison de leur développement autrefois limité ou de leur manque de « naturalité ». Cette communauté couvre pourtant actuellement plusieurs zones (2, 6 et 9) et est présente sur la tourbière depuis au moins 1200 ans (Figs. 4 et 5). Contrairement au *Caricetum*, elle caractérise les endroits les plus perturbés et les plus secs.

5. Conclusion

L'ensemble des analyses palynologiques réalisées sur le Massif de l'Aigoual permet d'y dater l'initiation des tourbières de la seconde moitié de l'Holocène, et plus particulièrement de la période de domination de

Fagus [21]. Le synchronisme entre le début de l'accumulation de la tourbe et l'extension des activités anthropiques à l'Age du Fer suggèrent l'importance du rôle joué par l'Homme dans ce processus. A l'exception d'un site (Baissescure), la plupart des tourbières de l'Espinouse peuvent être datées de la même période [32]. Néanmoins, ces données contrastent avec celles du Mont Lozère [10,11,13,15,21], et celles des Monts de Lacaune, de la Montagne noire et du Lézou [33,34], où la formation des tourbières débute respectivement dès le Boréal et l'Atlantique, et est très probablement liée à un déterminisme climatique. Sur l'Aigoual, l'influence majeure des activités humaines sur les dynamiques végétales régionales est clairement révélée par trois phases de régression des écosystèmes forestiers, datées à 2000, 1200 et 700 cal. BP. Cette influence est également perceptible à l'échelle locale,

où le remplacement progressif des communautés hydrophiles initiales par des formations nitrophiles est clairement identifiable sur la tourbière des Vaquiers, et lié au développement du pastoralisme. Cette perturbation apparaît en particulier responsable sur le long terme de l'extension de la cariçaie (*Caricetum goodenovii*), de la jonçaie (*Juncetum silvatici*) et des pelouses méso-xérophiles à Poaceae et *Rumex* spp. [9].

Le changement de mode d'utilisation des sols lié à la déprise agro-pastorale de la fin du 19^e siècle a entraîné, sur le Massif de l'Aigoual, une reconquête forestière très importante, favorisée par les travaux de reboisements. Cette tendance au retour des écosystèmes naturels n'est toutefois pas visible localement. En effet, la tourbière des Vaquiers reste dominée par la cariçaie et la jonçaie, dont les espèces sont favorisées par leur multiplication végétative ou leur faible appétence, et par des espèces à caractère nitrophile (*Rumex* spp.). Les sphaignes ne se sont maintenues que dans les zones les plus humides, sans extension de leurs populations. Cette dynamique traduit vraisemblablement le maintien voire la concentration du pastoralisme sur le site, qui constitue actuellement une clairière au sein d'une matrice forestière et est utilisé comme zone de parcage pour les troupeaux.

Cette étude souligne le rôle majeur joué par les activités humaines dans l'initiation et le développement des tourbières du Massif de l'Aigoual. Elle apporte ainsi des éléments nouveaux susceptibles d'orienter la gestion conservatoire de ces milieux, en précisant le statut et la signification historique des communautés végétales actuelles. Les communautés hydrophiles à Ranunculaceae apparaissent notamment comme les plus anciennes formations du site, et bien que leur développement local soit probablement lié aux pratiques humaines de la fin de l'Age du Fer, elles constituent un élément patrimonial du site. Il en est de même pour les formations à sphaignes dont le développement local paraît récent et reste limité par le pâturage. Ce phénomène apparaît général sur le massif, et les activités humaines des dernières décennies ont conduit à un appauvrissement et à une banalisation des cortèges végétaux, affectant particulièrement les communautés hydrophiles et favorisant les espèces de perturbation. Bien que des données complémentaires soient nécessaires pour préciser l'évolution des autres sites du massif, l'étude présentée met clairement en relief l'état de dégradation important des milieux humides de l'Aigoual et souligne l'urgence de développer des politiques de gestion conservatoire adaptées, afin de préserver et de restaurer les rares tourbières méditerranéennes du sud du Massif Central.

Remerciements

Nous remercions Aurélie Genries, Paul Roiron et Daniel Vitales-Serrano pour l'aide apportée sur le terrain, ainsi que Jacqueline Ferrier et Patrick Schevin pour l'aide apportée au laboratoire. Nous remercions également le Parc National des Cévennes pour nous avoir facilité l'accès à une partie de la documentation, et le referee anonyme dont les commentaires ont été grandement appréciés. Cette publication est la contribution ISEM 2008-068.

Références

- [1] O. Manneville, La diversité des tourbières en France et leur prise en compte dans les politiques de conservation, in : Outils pour la conservation de la biodiversité dans les domaines néomoral et boréonémoral européens, 2001.
- [2] Institut Français pour l'Environnement. www.ifen.fr.
- [3] F. Blanchard, Expertise des sites tourbeux du Massif de l'Aigoual dans une optique conservatoire : notes de terrain (août 1997), Parc National des Cévennes, Espaces Naturels de France, 1997.
- [4] G. Vuitton, Plan de gestion des zones humides sur le secteur de l'Aigoual, Parc National des Cévennes, 1999.
- [5] C. Flahault, Herborisations en zigzag. Journal d'un botaniste, Documents réunis et présentés par J.-M. Emberger, Les Presses du Languedoc, Montpellier, 1999.
- [6] P. Bottner, F.R. Warembourg, Livret guide, Excursion garrigues languedociennes Cévennes-Grands Causses, Colloque d'écologie du sol, Société d'Ecologie, Montpellier, 1973.
- [7] J. Braun-Blanquet, Catalogue de la flore du massif de l'Aigoual et des contrées limitrophes, Comm. Station Internat, Géobot. Médit. Alpine 20 (1923) 34–41.
- [8] L. Emberger, Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France, Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 78 (1943) 159–180.
- [9] J. Braun, Les Cévennes méridionales (massif de l'Aigoual) étude phytogéographique, in : Etude sur la végétation méditerranéenne, Société générale d'imprimerie, Genève, 1915, pp. 13–180.
- [10] G. Lemée, L'évolution forestière postglaciaire du Mont Lozère d'après l'analyse pollinique des tourbières, C. R. Som. Séances Soc. Biogeogr. (1943) 30–32.
- [11] J.-L. de Beaulieu, E. Gilot, Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages, C. R. Acad. Sci. Paris 274 (1972) 1641–1644.
- [12] J.-L. de Beaulieu, Evolution de la végétation sur la bordure montagnaise cévenole au Postglaciaire d'après les pollen, Bull. Soc. Lang. Géogr. 8 (1974) 347–358.
- [13] M. Reille, Analyse pollinique de la Tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif-Central, France) ; réponse à quelques questions biogéographiques, Rev. Gévaudan 2 (1988) 3–7.
- [14] Parc National des Cévennes, Atlas des zones humides du Mont Lozère, Parc National des Cévennes, Florac, 2002, 61 p.
- [15] M. Pulido, Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France, thèse, Université d'Aix Marseille-3, 2006.
- [16] P. Jestin, Inventaire préliminaire des zones humides du Massif de l'Aigoual-Lingas, Parc National des Cévennes, 1997.

- [17] N. Dupieux, Rapport d'expertise sur 4 tourbières du Massif de l'Aigoual, Parc National des Cévennes, 2001.
- [18] O. Jupille, Les tourbières de Montals et de la Baraque neuve dans le Massif de l'Aigoual : étude pluridisciplinaire, cartographie et synthèse des rapports antérieurs, Parc National des Cévennes, 2001.
- [19] J. Braun-Blanquet, Analyse pollinique et « Période Xérothermique » dans les Cévennes Méridionales, Comm. Station internat. Géobot. Médit. et Alpine 23 (1933) 327–341.
- [20] F. Firbas, Contribution à l'Histoire postglaciaire des Forêts des Cévennes Méridionales, Comm. Station internat. Géobot. Médit. Alpine 15 (1932) 9–16.
- [21] J.-L. de Beaulieu, A. Pons, Les peuplements peu productifs du Parc National des Cévennes, Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc National des Cévennes, Ann. Parc Nat. Cévennes 1 (1979) 101–128.
- [22] www.meteofrance.com.
- [23] M. Nègre, Les reboisements du Massif de l'Aigoual, Société d'étude des sciences naturelles de Nîmes, 1931.
- [24] M. Roux, Statoscope (STATOS), version 1.7. Logiciel de statistiques, Université d'Aix-Marseille-3, 1999.
- [25] P.C. Jowsey, An improved peat sampler, New Phytol. 65 (1966) 245–248.
- [26] B.E. Berglund, M. Ralska-Jasiewiczowa, Pollen analysis and pollen diagrams, in : B.E. Berglund (Ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology, J. Wiley & Sons, Chichester, 1986, pp. 455–484.
- [27] C. Goeury, GPalWin, gestion, traitement et représentation des données de la paléoécologie, in : Actes du XVe symposium de l'APLF, Lyon, 1997, p. 31.
- [28] M. Stuiver, P.J. Reimer, Extended ^{14}C database and revised CALIB radiocarbon calibration program, Radiocarbon 35 (1993) 215–230.
- [29] K.E. Behre, The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams, Pollen Spores 23 (1981) 225–245.
- [30] M. Reille, A. Pons, L'histoire récente de *Pinus sylvestris* L. en Margeride (Massif Central, France) et la signification de cette essence dans la végétation actuelle, C. R. Acad. Sc. Paris Sér. III 294 (1982) 471–474.
- [31] M. Reille, L'origine de la station de pin à crochets de la tourbière de Pinet (Aude) et de quelques stations isolées de cet arbre dans les Vosges et le Jura, Rev. Sc. Nat. Auvergne 55 (1989) 65–85.
- [32] J.-L. de Beaulieu, Analyses polliniques dans les Monts de l'Espinoise (Hérault), Pollen Spores 11 (1969) 83–96.
- [33] J.-L. de Beaulieu, Analyse pollinique de tourbières sur la marche occidentale et septentrionale des Causses, Paléobio. Cont. 1 (1981) 117–130.
- [34] J.L. de Beaulieu, J. Evin, Analyses polliniques et datages ^{14}C dans les Monts de Lacaune (Tarn), C. R. Acad. Sc. Paris 274 (1972) 3531–3534.
- [35] J.-L. de Beaulieu, M. Coûteaux, A. Pons, M. Reille, H. Triat-Laval, Première approche d'une histoire postwürmienne de quelques taxons arboréens dans le sud-est de la France, Rev. Paléobiol. NS (1984) 11–24.
- [36] M. Reille, V. Andrieu, J.-L. de Beaulieu, Les grands traits de l'histoire de la végétation des montagnes méditerranéennes occidentales, Écologie 27 (1996) 153–169.
- [37] S.D. Muller, T. Nakagawa, J.-L. de Beaulieu, M. Court-Picon, C. Carcaillet, C. Miramont, P. Roiron, C. Bouterin, A.A. Ali, H. Bruneton, Postglacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the southwestern Alps, J. Biogeog. 34 (2007) 876–899.
- [38] S. Oner, N. Planchais, La châtaigneraie : intérêt de l'approche palynologique pour l'étude du paléoenvironnement languedocien, Pollen Spores 17 (1976) 231–241.
- [39] I. Jouffroy-Bapicot, M. Pulido, S. Baron, D. Galop, F. Monna, M. Lavoie, A. Ploquin, C. Petit, J.-L. de Beaulieu, H. Richard, Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analysis, Veget. Hist. Archaeobot. 18 (2007) 251–258.
- [40] S. Sundberg, Sporophyte production and spore dispersal phenology in *Sphagnum*: the importance of summer moisture and patch characteristics, Can. J. Bot. 80 (2002) 543–556.