Orpalm

Synthesis

2023 - No 16

Margeride (1)
Tourbière de Bourge

Photo de couverture : Le rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), sur une butte de sphaignes (*Sphagnum subnitens*) et de polytrics (*Polytrichastrum formosum*) (Photo : A. Guignet)

ORPALM Synthesis
Revue bisannuelle
de Paléoécologie
n°16 - Année 2023

Editeurs en chef
Jean-Frédéric TERRAL [1,2]
Serge MULLER [1,2]

Editeurs associés
Vincent GIRARD [1,2]
Vincent MONTADE [1,3]

[1] ISEM, [2] UM, [3] CNRS

Auteurs
Maéla BATY, Geoffrey BEDE, Rayan BOUDET, Corentin DEPPE, Laurie DUFOURNET, Pauline GIQUEAUX, Agathe GUIGNET, Zoé HEIM, Mathis JEAN-SEPET, Benjamin JOVENEAU, Appoline LAMBERT, Mathis VOISIN

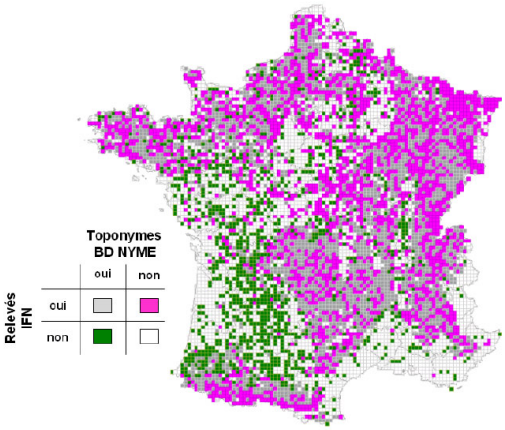
Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
1e trimestre 2023
Université de Montpellier

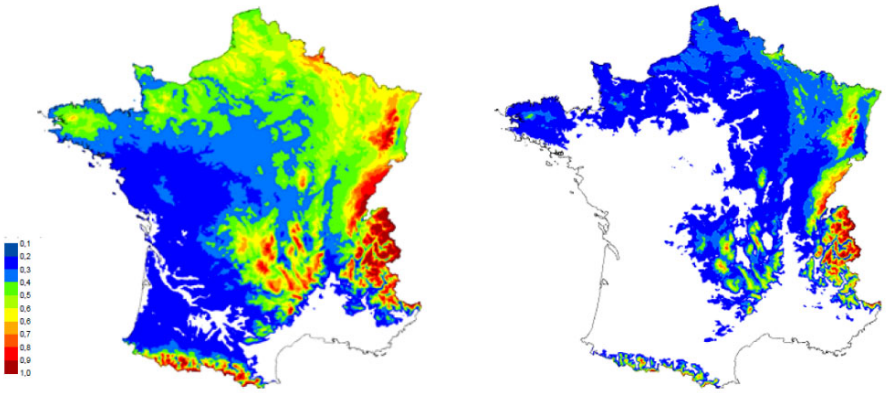
ORPAM 2022-2023 : Margeride, des toponymes racontent l'histoire du hêtre

Fin août-début septembre 2022 (31 août – 2 septembre), l'école de terrain ORPAM se rend sur la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, commune la plus septentrionale de Lozère) pour travailler sur l'accumulation sédimentaire, l'enregistrement microfossile (pollen et palynomorphes) et la colonisation du milieu par deux espèces de bouleau, le verruqueux (*Betula pendula*) et le pubescent (*Betula pubescens*). Juste avant d'atteindre son but, l'équipe fait un arrêt au col de la Croix du Fau (1268 m) pour une lecture de paysage : vers le nord, le bassin versant de l'Allier, affluent de la Loire et vers le sud, celui de la Truyère, affluent du Lot et sous-affluent de la Garonne. La Margeride apparait alors comme une région à tradition agropastorale, mais marquée par de grandes surfaces forestières : boisements artificiels d'épicéas, de sapins et de mélèzes et grandes étendues forestières de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et de hêtre (*Fagus sylvatica*). Dans cette région aux sols maigres et aux hivers froids et secs, la hêtraie est très présente dans les zones où les brouillards fréquents compensent les écarts de température et d'humidité de cette région montagnarde à continentalité climatique marquée.

Au-delà de la Margeride, le hêtre est si important en France qu'il est à l'origine de très nombreux toponymes (plus de 6100 identifiés par Tarze et al., 2015) : *Fau* (comme dans Croix du *Fau*), *Faux, Fayar, La Fage, Fages, Lafage, Hautefage, La Fagette, La Fayette, Lahage, Hautefaye, Faïa, Fay, Faja, Fajola, Fajolle, Fageole, Fayolle, Faget, Le Faget, Le Fayet, Fayol, Mifayet, Hayet, Hajet Hautaget, Hagedet, Hayède, Faou, Fao, Faouët, Fou, Beaufou, Beaufour, Fay, Fays, Fays, Hautfays, Fouteau…* C'est ainsi que l'on peut présumer l'existence ancienne de hêtres dans des localités où l'espèce a disparu, comme le montre la carte ci-contre, tirée de Tarze et al. (2015).



Evidemment, les toponymes faisant référence au hêtre sont nombreux en Lozère. Espérons que la hêtraie demeurera longtemps dans ces localités en dépit de prévisions climatiques assez pessimistes : voir figure page suivante, tirée de Badeau et al. (2010) et présentant la probabilité de présence du hêtre en France en 2000 (à gauche) et en 2100 (à droite) selon le scénario climatique Arpège B2 et le modèle de niche.



« De l'écologie et de la pédagogie avec de l'humain dedans ! ». Au niveau de connaissances, de compétences et de savoir-faire d'étudiants de 3ème année de Licence Sciences de la Vie / Ecologie Biologie des Organismes, les travaux d'ORPAM restent évidemment perfectibles. Toutefois, cette perfectibilité s'efface largement devant le bilan méthodologique, scientifique et humain de cette école de terrain et du stage en laboratoire qui a suivi. La conduite d'ORPAM a su intégrer les multiples facettes du processus de la recherche fondamentale sans en perdre de vue la dimension humaine et tout en apportant une réelle plus-value pédagogique.

Nous sommes reconnaissants à David Mazel, agriculteur de Paulhac-en-Margeride sensible à la sauvegarde des tourbières, qui nous a permis de travailler sur le site de Bourge et à Daniel Martin qui, sans démentir la réputation et le nom de son établissement, nous a reçu à l'*Auberge du Bon Accueil* et nous a fait goûter les premiers cèpes de la saison. Merci également à Laëtitia Janry et à Benjamin Terral pour leur aide technique cruciale.

Un grand merci au département Biologie-Ecologie (Faculté des Sciences, Université de Montpellier) et à son personnel hightech pour son soutien technique et logistique et à l'Institut des Sciences de l'Evolution-Montpellier (ISEM, UMR 5554), laboratoire de recherche leader en France, soutien de l'innovation pédagogique, qui nous permet de développer depuis des années, grâce à la mise à disposition de véhicules et de plateaux techniques, cet apprentissage par la recherche et pour la recherche.

L'équipe pédagogique était cette année constituée de Vincent Montade, Serge Muller et Jean-Frédéric Terral.

Jean-Frédéric Terral, éditeur en chef d'*ORPALM Synthesis*

Tarze D., Tamine M., Mustière S., Badeau V. & Dupouey J.-L. (2015). Changement climatique et toponymie. Etude de la répartition ancienne du hêtre à travers ses traces toponymiques. *Revue Internationale de Géomatique*, 25 (2) : 229-244.

Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C., Drapier J. & Le Bas C. (2010). Climate change and the biogeography of French tree species : first results and perspectives. *In* : D. Loustau (éd.*), Forests, Carbon cycles and Climate change*. Quae, Paris, pp. 231-252.

La bête du Gévaudan a encore frappé cet hiver : faute de veuve et d'orphelin à égorger, on la voit ici en train de boulotter l'enseigne de l'hôtel « Au bon accueil », où se terrent les villageois terrorrisés (Photo ; J.-F. Terral)

En tournée exceptionnelle en Margeride à la fin de l'été 2022, le groupe folklorique ORPAM-LAÏTOU, venu tout droit des rivages enchanteurs de la Grande Bleue (avec le chef de cœur au premier rang et le fan-club du 3e âge en arrière plan), a entonné pour la plus grande joie des vaches, des écureuils, des bûcherons, des chasseurs-cueilleurs cépophages et des lézards vivipares, son célèbre refrain un tantinet coquin :
« Y'a d'la joie dans les pessières,
viens donc creuser dans ma tourbière ! ».

ORPAL & ORPAM : modules d'enseignement-recherche avec de vrais morceaux d'humain dedans

ORPAL & ORPAM en bref

ORPAL et ORPAM sont des unités d'enseignement (UE) respectivement proposées en L3 Sciences de la Vie (SV) et en M1 Biodiversité-Ecologie-Evolution parcours Cepage, UFR Fac des Sciences, Département d'enseignement Biologie-Ecologie, Université de Montpellier.

Contenu pédagogique
Sur la thématique de la reconstruction des environnements passés, ces UE sont quasi-exclusivement dévolues à la pratique et à l'expérimentation. Toute la chaîne opératoire des recherches est considérée : le questionnement, la problématique, la recherche bibliographique, le terrain, le travail en laboratoire, le traitement des résultats, leur interprétation et la diffusion (écrite et orale) de l'information scientifique.

Apport pour les étudiants
ORPAL et ORPAM sont des UE originales et novatrices. Elles permettent aux étudiants de : découvrir le monde secret de la recherche, se former par la recherche à travers un stage conventionné dans un établissement de l'enseignement supérieur, valider un acquis de l'expérience, ajouter une ligne concrète dans leur CV, découvrir la vie trépidante et tumultueuse d'un laboratoire, etc.

Organisation des modules
Les étudiants, répartis en binômes ou trinômes, choisissent un sujet sous la direction d'un enseignant-chercheur ou d'un chercheur de l'équipe pédagogique. Ce dernier sera leur référent chargé de suivre et d'évaluer leur progression tout au long de leur parcours.

Déroulement d'ORPAL-ORPAM

Etape 1/5 : Briefing méthodologique
La reconstruction des paléoenvironnements : pourquoi et comment ? Organisation des modules, objectifs pédagogiques, méthodes.

Etape 2/5 : Stage de terrain
24 heures de terrain, réparties sur trois jours consécutifs, permettent aux groupes d'appliquer diverses méthodes paléoenvironnementales. Ces stages ont lieu dans des zones bien circonscrites d'un point de vue géographique et écologique : région du Pic St-Loup et littoral languedocien pour ORPAL ; sites d'étude modifiés chaque année pour ORPAM.

Etape 3/5 : Stage en laboratoire
Sous la responsabilité d'un encadrant, travail de laboratoire, analyse des données, travail bibliographique. Une journée par semaine.

Etape 4/5 : Rédaction et présentation orale
Rédaction d'un mémoire synthétique sous la forme d'un article scientifique et intégration des corrections faites par un rapporteur. Le module se clôt par une présentation orale.

Etape 5/5 : Evaluation et publication
Evaluation des articles par le comité de rédaction de la revue (note initiale réévaluée à l'issue du processus de *reviewing*) et publication des meilleures contributions (critères portant à la fois sur le fond et la forme).

Mise en garde : Les articles présentés dans cette revue, bien que corrigés par les équipes pédagogiques, sont des travaux réalisés par des étudiants de 3e et 4e années. Ce sont des exercices d'initiation à la rédaction scientifique, avec une visée plus méthodologique que factuelle.

ORPAL : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PAléoenvironnements – Licence ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2006-2007.
ORPAM : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PAléoenvironnements – Master ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2015-2016.
ORPALM Synthesis. Revue bisannuelle, créée en 2008 sous le nom *ORPAL Synthesis* pour publier les travaux réalisés dans le cadre de l'UE ORPAL, et rebaptisée en prévision de l'intégration, en 2015-2016, des travaux de l'UE ORPAM.

ORPAM 2022-2023
Margeride (1) : tourbière de Bourge

Muller S.D., Montade V. & Terral J.-F. : *La tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride (Lozère)* 9

Bede G., Giqueaux P. & Jean-Sépet M. : *Dynamique de recolonisation après coupe d'une tourbière du Massif central (Paulhac-en-Margeride, Lozère) par deux espèces de bouleaux (*Betula pendula *et* B. pubescens*)* 17

Dufournet L., Guignet A. & Voisin M. : *Anthropisation en Margeride : étude sur 7500 ans par l'analyse pollinique de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride)* 33

Baty M., Boudet R. & Deppe C. : *Reconstruction paléoenvironnementale de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : fonctionnement et dynamiques internes sur 7500 ans, via les palynomorphes non polliniques* 47

Heim Z. & Lambert A. : *Etude palynologique de la portion boisée de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : apports à la compréhension de l'histoire de la végétation locale* 63

Vue générale de la zone ouverte de la tourbière de Bourge, dominée par des buttes à Eriophorum vaginatum *(au premier plan) et* Calluna vulgaris *(au second plan). La zone ouverte est parsemée de quelques bouleaux (*Betula pendula *et* B. pubescens*) et est entourée de boisements de pins (*Pinus sylvestris x uncinata*) et de sapins (*Abies alba*) (Photo : S.D. Muller).*

LA TOURBIERE DE BOURGE, PAULHAC-EN-MARGERIDE (LOZERE)

Serge D. Muller [1], Vincent Montade & Jean-Frédéric Terral

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

[1] serge.muller@umontpellier.fr

Citation : Muller S.D., Montade V. & Terral J.-F. (2023). La tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride (Lozère). *Orpalm Synthesis*, 16 : 9-16.

Résumé : La tourbière de Bourge abrite 47 espèces végétales, dont 4 fougères et 6 sphaignes. Elle est constituée d'une périphérie boisée (bétulaie tourbeuse) et d'un centre plus ouvert, comprenant des buttes de *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Molinia caerulea* et *Sphagnum subnitens* et des dépressions à *Carex rostrata* et *Sphagnum angustifolium*. Une seule espèce (*Drosera rotundifolia*) bénéficie d'une protection nationale et 12 espèces sont déterminantes ZNIEFF. Les profondeurs de tourbe les plus importantes, comprises entre 120 et 140 cm, sont localisées dans la partie supérieure de la tourbière.

Mots clés : Massif Central, végétation turfigène, sphaignes, fougères, topographie, pachymétrie

Abstract: *The Bourge Peatland, Paulhac-en-Margeride (Lozère).* The Bourge Peatland is home to 47 plant species, including 4 ferns and 6 peat mosses. It is constituted of a wooded periphery (peaty birch wood) and a more open centre, including hummocks of *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Molinia caerulea* et *Sphagnum subnitens*, and hollows with *Carex rostrata* et *Sphagnum angustifolium*. One only species (*Drosera rotundifolia*) benefits from a national protection, and 12 species are ZNIEFF determinant. The most important peat depths, between 120 and 140 cm, are located in the upper part of the peatland.

Keywords: Massif Central, peat-forming vegetation, peat mosses, ferns, topography, pachymetry

La tourbière de Bourge (44°56'59"N ; 03°21'56"E), située à 1 km à vol d'oiseau du hameau de Paulhac-en-Margeride (Lozère), a accueilli cette année le travail des étudiants d'ORPAM. Elle se situe entre 1220 et 1245 m d'altitude et présente une superficie d'environ 1,2 ha.

Ce texte introductif a pour but de présenter la végétation du site sur la base des observations et relevés réalisés au cours du stage de terrain, qui a eu lieu du 31 août au 2 septembre 2022, ainsi que les datations des carottes étudiées.

MATERIEL ET METHODES

1- Relevés de végétation

Les relevés de végétation ont été réalisés selon la méthode phytosociologique de Braun-Blanquet (1932). Les indices de recouvrement utilisés sont :

+ : quelques individus
1 : 0-5 %
2 : 5-25 %
3 : 25-50 %
4 : 50-75 %
5 : 75-100 %

2- Identification des Bryophytes

Des échantillons de sphaignes ont été prélevés à différents endroits du site pour permettre leur identification au laboratoire. Cette dernière a été réalisée à l'aide des flores de Daniels & Eddy (1985) et de Frey et al. (2006), ainsi que d'une clé des sphaignes de France inédite, initiée dans le cadre des mémoires ORPAL de S. Caubet, S. Chollet et C. Lemarchand (2006-2007 ; non publié) et Kotarba et al. (2009).

3- Topographie et pachymétrie

Des mesures topographiques et pachymétriques ont été réalisées par les étudiants orpamiens tous les 5 m le long de deux transects perpendiculaires. La topographie a été mesurée à l'aide d'un niveau à bulle permettant d'évaluer la différence d'altitude entre deux points successifs. La pachymétrie a été mesurée à l'aide d'une tige métallique enfoncée jusqu'à l'arène granitique sous-jacente.

4- Travail de terrain et de laboratoire

Le carottage a été réalisé le 1er septembre 2022 avec un carottier russe, dont la chambre de prélèvement mesure 1 m de long et 5 cm de diamètre (Jowsey, 1966). Les carottes de tourbe composant chacune des séquences prélevées ont été faites dans deux trous distants de 10 cm. Elles ont été décrites sur le terrain avant d'être emballées dans de la cellophane noire et une chaussette plastique de protection, et ont été conservées au froid jusqu'à l'échantillonnage.

L'échantillonnage (méthode détaillée dans les articles concernés) et la description des carottes ont été réalisés le 12 septembre 2022.

5- Datation radiocarbone

Les âges étalonnés (cal. BP, i.e. années calendaires *before present*) ont été calculés à l'aide du logiciel Calib 8.1.0 (Stuiver & Reimer, 1993), en utilisant le référentiel IntCal20 (Reimer et al., 2020).

RESULTATS

1- Relevés de végétation

3 relevés ont été réalisés (Table 1). Le premier a été fait le premier jour, lors de la visite exploratoire du site. Il est basé sur un inventaire botanique le plus exhaustif possible, réalisé à l'échelle de la tourbière. Les deux autres ont été faits le deuxième jour à l'emplacement des carottages, sur des aires minimales de 64 m^2 : l'un au sommet de la zone ouverte (profondeur : 120 cm), et l'autre dans la bétulaie tourbeuse, dans la partie la plus haute de la tourbière (profondeur : 140 cm).

Ces trois relevés ont été complétés par un inventaire rapide de la végétation forestière mésophile entourant la tourbière. Ces forêts sont dominées par des résineux (*Abies alba*, *Picea abies* et *Pinus sylvestris* x *uncinata*), accompagnés de quelques feuillus (*Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Sambucus racemosa*, *Sorbus aria*, *S. aucuparia*). Le sous-bois plutôt pauvre (en partie en raison de la sécheresse de cette année) comprend des herbacées forestières caractéristiques de la hêtraie-sapinière (*Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Prenanthes purpurea*), ainsi que des arbustes, chaméphytes et herbacées héliophiles (*Calluna vulgaris*, *Cytisus scoparius*, *Rubus idaeus*, *Vaccinium myrtillus*). Les nombreuses souches présentes dans le sous-bois témoignent l'exploitation de ces forêts pour le bois.

La tourbière abrite 47 espèces de plantes, dont deux (*Menyanthes trifoliata* et *Parnassia palustris*) n'étaient pas présentes sur le site lors de notre prospection, mais y avaient été observées par J.-F. Terral lors d'une précédente visite. 6 espèces de sphaignes, appartenant à 3 sections (*Acutifolia*, *Cuspidata* et *Sphagnum*) ont été identifiées (Table 1).

Table 1. Relevés de végétation de la tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride

Espèce	Synonyme	Famille	Taxon pollinique	BOUR	BOUR-1	BOUR-2
Date du relevé				31/08/22	01/09/22	01/09/22
Profondeur d'eau (cm)				0	0	0
Eau libre (%)				0	0	0
Recouvrement végétation (%)				100	100	100
Sol nu (%)				0	0	0
Richesse spécifique				47	14	13
Latitude N				44°56’59"	44°56’58"	44°56’57"
Longitude E				03°21’56"	03°21’56"	03°21’54"
Altitude (m)				1227	1232	1241
Surface milieu (ha)				1,3	1,7	1,7
Surface relevé (m²)				10000	16	16
Bryophytes						
Aulacomnium palustre (Hedw.) Schwaegr.		Aulacomniaceae	-	1		
Polytrichastrum formosum (Hedw.) G.L.Sm.	*Polytrichum formosum*	Polytrichaceae	-	2		
Sphagnum angustifolium (Warnst.) C.E.O. Jens.		Sphagnaceae	*Sphagnum*	3	5	
Sphagnum divinum Flatberg & Hassel		Sphagnaceae	*Sphagnum*	1		
Sphagnum flexuosum Doz. & Molk.		Sphagnaceae	*Sphagnum*	1		3
Sphagnum palustre L.		Sphagnaceae	*Sphagnum*	1		1
Sphagnum papillosum Lindb.		Sphagnaceae	*Sphagnum*	2	1	
Sphagnum subnitens Russ. & Warnst.		Sphagnaceae	*Sphagnum*	3		
Lycopodiophytes et Polypodiophytes						
Athyrium filix-femina (L.) Roth.		Woodsiaceae	Spore monolète	1		
Dryopteris carthusiana (Vill.) H.P.Fuchs		Dryopteridaceae	Spore monolète	1	+	1
Dryopteris dilatata (Hoffm.) A.Gray		Dryopteridaceae	Spore monolète	1		
Struthiopteris spicant (L.) Weiss	*Blechnum spicant*	Blechnaceae	Spore monolète	+		
Spermatophytes						
Abies alba Mill.	*A. pectinata*	Pinaceae	*Abies alba*	1		1
Betula pendula Roth.	*B. verrucosa*	Betulaceae	*Betula*	1-2		
Betula pubescens Ehrh.	*B. alba*	Betulaceae	*Betula*	4	1	5

Espèce	Synonyme	Famille	Taxon pollinique	BOUR	BOUR-1	BOUR-2
Calluna vulgaris (L.) Hull		Ericaceae	*Calluna vulgaris*	4-5	3	
Caltha palustris L.		Ranunculaceae	*Caltha*-type	1		
Carex echinata Murray	*C. stellulata*	Cyperaceae	Cyperaceae	1		
Carex nigra (L.) Reichard	*C. goodenowii*	Cyperaceae	Cyperaceae	2-3		
Carex rostrata Stokes		Cyperaceae	Cyperaceae	2	2-3	
Cirsium sp.		Asteraceae	*Carduus*-type	+		1
Dactylorhiza sp.		Orchidaceae	-	1		
Deschampsia cespitosa (L.) P. Beauv.		Poaceae	Poaceae	1		
Drosera rotundifolia L.		Droseraceae	*Drosera*	1		
Epikeros pyrenaeus (L.) Raf.		Apiaceae	Apiaceae	1		
Epilobium angustifolium L.		Onagraceae	*Epilobium*	+		
Eriophorum vaginatum L.		Cyperaceae	Cyperaceae	3	3-4	
Genista anglica L.		Fabaceae	Fabaceae	1	2	
Gentiana pneumonanthe L.		Gentianaceae	*Gentiana pneumonanthe*-type	+		
Juncus acutiflorus Ehrh. ex Hoffm.	*J. sylvaticus*	Juncaceae	Juncaceae	+		
Juncus effusus L.		Juncaceae	Juncaceae	+	2-3	
Juncus squarrosus L.		Juncaceae	Juncaceae	1		
Juniperus communis L.		Cupressaceae	Cupressaceae	+		
Lotus pedunculatus Cav.	*L. uliginosus*	Fabaceae	*Lotus*	1		
Menyanthes trifoliata L.		Menyanthaceae	*Menyanthes trifoliata*	1		
Molinia caerulea (L.) Moench		Poaceae	Poaceae	4	5	4
Nardus stricta L.		Poaceae	Poaceae	1		
Parnassia palustris L.		Celastraceae	*Parnassia palustris*	1		
Picea abies (L.) H.Karst.		Pinaceae	*Picea abies*	2	1	1-2
Pinus uncinata Ramond ex DC.		Pinaceae	*Pinus*	2	1	
Potentilla erecta (L.) Räuschel	*P. tormentilla*	Rosaceae	*Potentilla erecta*-type	1-2	2	1
Salix atrocinerea Brot.		Salicaceae	*Salix*	+		
Salix aurita L.		Salicaceae	*Salix*	1		1-2
Succisa pratensis Moench	*Succisa praemorsa*	Caprifoliaceae	*Succisa pratensis*	1		1
Trocdaris verticillatum (L.) Raf.	*Carum verticillatum*	Apiaceae	Apiaceae	1		
Vaccinium myrtillus L.		Ericaceae	*Erica*-type	2-3	2	+
Viola sp.		Violaceae	*Viola*	+		1

2- Topographie et pachymétrie

Les relevés réalisés ont permis de reconstituer la topographie du substratum de la tourbière (arène granitique) et la profondeur de la tourbe le long de deux transects (résultats présentés par Bede et al., 2023 et Heim & Lambert, 2023). Ces relevés ont montré que les profondeurs les plus importantes (120-140 cm) sont localisées dans la partie sommitale de la tourbière.

3- Datations radiocarbone

Plusieurs échantillons de tourbe et un macrocharbon prélevés sur les deux séquences étudiées ont été envoyés pour datation au laboratoire radiocarbone de Poznan (Pologne). Elles ont été reçues le 11 janvier 2023, et n'ont donc été intégrées que très tardivement dans le travail des différents groupes (Table 2).

Table 2. Datations radiocarbone de la tourbière de Bourge

Profil	Code Labo	Matériel	Prof. (cm)	Age BP	Age cal. BP	Age cal. AD
BOUR-1	Poz-157882	Tourbe	60-61	1070 ± 30	1060-920	890-1030
	Poz-158300	Tourbe	116-120	6380 ± 40	7420-7170	–
BOUR-2	Poz-157883	Tourbe	60-61	330 ± 30	470-310	1480-1640
	Poz-157723	Charbon	103-104	995 ± 30	960-800	990-1150
	Poz-158364	Tourbe	112-114	765 ± 30	730-670	1120-1280

4- Macrocharbons

Deux macrocharbons, prélevés lors de la description de la carotte sur le terrain, ont été identifiés comme appartenant à *Fagus sylvatica* (Table 3). L'un des deux (103-104 cm) ayant été daté à 960-800 cal. BP, ces macrocharbons indiquent l'occurrence d'un feu local au 11e siècle de notre ère.

Table 3. Identification des macrocharbons, I. Figueiral (INRAP, ISEM)

Profil	Prof. (cm)	Identification
Bour-2	103-104 cm	*Fagus sylvatica*
Bour-2	111-112 cm	*Fagus sylvatica*

DISCUSSION

1- Habitats et enjeux de conservation

La tourbière de Bourge est installée sur une forte pente, à la faveur d'un ruissellement d'eau issu d'une source. Elle est en grande partie boisée (bétulaie tourbeuse à bouleau pubescent), mais présente en son centre une zone ouverte caractérisée par des buttes de sphaignes, de molinie, de linaigrette vaginée et de callune.

La bétulaie tourbeuse occupe la périphérie de la tourbière, sur des épaisseurs de tourbe allant de 20 à 140 cm. Les bouleaux (*Betula pubescens*) sont jeunes et constituent une formation souvent dense. Ils sont mêlés de *Salix aurita* et, dans la partie inférieure du site, de *Betula pendula* et de *Salix atrocinerea*. Quelques résineux (à des stades juvéniles) parviennent à se développer dans la bétulaie : *Abies alba*, *Picea abies* et *Pinus sylvestris* x *uncinata*. Le sous-bois est relativement pauvre, mais abrite les 4 fougères présentes sur le site, ainsi que quelques espèces absentes de la zone ouverte (*Caltha palustris*, *Cirsium* sp., *Lotus pedunculatus*, *Viola* sp.).

La zone ouverte comprend des buttes à *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Molinia caerulea* et *Sphagnum subnitens*, ainsi que des dépressions à *Carex rostrata*, *Dactyloriza* sp., *Sphagnum angustifolium* et *Trocdaris verticillatum* (Table 1). La végétation des buttes est caractéristique des tourbières ombrotrophes (bogs), tandis que celle des dépressions correspond à une végétation de tourbière minérotrophe (fen) : en particulier, *Carex rostrata* et *Menyanthes*

trifoliata sont caractéristiques des habitats les plus humides des bas-marais, comme par exemple au Peschio sur le Mont Lozère (Cartier et al., 2021). La présence de ces espèces montre l'influence des apports d'eau minérotrophes qui ruissellent à la surface de la tourbière, tandis que les buttes représentent des ilots ombrotrophes plus secs.

La grande majorité des espèces recensées sont relativement communes dans les milieux tourbeux du Massif Central. Toutefois, une espèce (*Drosera rotundifolia*) bénéficie d'une protection nationale, en raison principalement de sa carnivorie, susceptible de générer une surcollecte à des fins de mise en culture et de commerce. De plus, 12 espèces (> 25% de la flore locale) sont déterminantes ZNIEFF en Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes : *Betula pubescens*, *Drosera rotundifolia*, *Dryopteris dilatata*, *Epikeros pyrenaeus*, *Eriophorum vaginatum*, *Genista anglica*, *Gentiana pneumonanthe*, *Juncus squarrosus*, *Menyanthes trifoliata*, *Parnassia palustris*, *Succisa pratensis* et *Trocdaris verticillatum*.

2- Fougères et sphaignes

Les Bryophytes, et dans une moindre mesure, les Lycopodiophytes et Polypodiophytes, représentent généralement une part non négligeable de la biodiversité des tourbières, avec des espèces souvent inféodées et parfois rares. 4 espèces de fougères (Polypodiophytes) sont présentes sur la tourbière de Bourge (Table 1). Une seule se développe sous forme de petits individus dans les dépressions de la zone ouverte : *Dryopteris carthusiana*. Le dryoptéris de Chartreuse est une espèce de sous-bois frais et humide, fréquent dans les tourbières acides (Prelli & Boudrie, 2021). Dans les bétulaies tourbeuses, il est accompagné des 3 autres espèces. La fougère femelle (*Athyrium filix-femina*) est une habituée des marécages tourbeux et forme de belles touffes ça et là dans le sous-bois. Le dryoptéris dilaté (*Dryopteris dilatata*) est également une espèce affectionnant les zones humides fraiches et se développe parfois dans les tourbières, généralement plutôt à découvert (Prelli & Boudrie, 2021). A Bourge, quelques individus ont été observés dans la bétulaie, ce qui pourrait indiquer sa fermeture récente. Enfin, *Struthiopteris spicant* (anciennement *Blechnum spicant*) est une espèce silicicole des milieux frais et ombragés caractérisés par une forte humidité atmosphérique ; on le trouve sur sols humides, le long de ruisseaux ou de fossés et dans des bois marécageux, jusqu'en tourbière (Prelli & Boudrie, 2021). Il est présent à Bourge en limite supérieure de la tourbière, au niveau de la source qui l'alimente.

6 espèces de sphaignes ont été identifiées (Table 1). Les buttes de la zone ouverte sont constituées par *Sphagnum subnitens* (section *Acutifolia*), une petite espèce vert-rosé dont les feuilles présentent des reflets métalliques à sec. Cette espèce présente en Europe de l'Ouest une large répartition depuis le nord de la Scandinavie jusqu'en Espagne et en Calabre (Daniels & Eddy, 1985 ; S.D. Muller, inéd.), et atteint même l'Afrique du Nord, où deux populations ont été récemment confirmées au nord-ouest du Maroc et dans le nord de la Tunisie (Muller et al., 2011 ; Ben Osman et al., 2021). Les dépressions sont couvertes par *S. angustifolium*, qui forme des tapis lâches vert clair entre les touffes de *Carex rostrata*. Cette espèce appartient à la section *Cuspidata*, qui occupe généralement des habitats plus humides que les espèces de la section *Acutifolia*. Elle n'est toutefois pas inféodée aux milieux les plus humides : bien qu'elle tolère d'être temporairement submergée, elle préfère se développer en position intermédiaire entre buttes et dépressions. Ces deux espèces sont accompagnées de deux représentants de la section *Sphagnum*, qui se développent à la base des buttes, en position topographique intermédiaire : *S. divinum* est une espèce de couleur rouge, récemment individualisée de *S. magellanicum* (Hassel et al., 2018) et dont une seule petite colonie a été trouvée dans la zone ouverte ; *S. papillosum*, qui se distingue par ses chlorocystes papilleux (Daniels & Eddy, 1985), constitue des colonies dispersées dans la zone ouverte. Enfin, deux autres espèces n'ont été observées que dans la bétulaie tourbeuse : *S. flexuosum* (section *Cuspidata*) constitue des tapis lâches sur le

substrat nu, tandis que *S. palustre* (section *Sphagnum*) se développe à la base des troncs de bouleau.

3- Age de la tourbière

Sur la base des données polliniques (présence de *Fagus sylvatica* à la base ; enregistrement de *Castanea sativa* à 72 cm et de *Picea abies* à 24 cm), Dufournet et al. (2023) ont initialement estimé l'âge basal de la séquence Bou2 autour de 4900 cal. BP. L'âge réel est plus ancien, autour de 7500 cal. BP (Fig. 1), mais les dates radiocarbone obtenues sont remarquablement bien alignées avec les estimations basées sur les corrélations palynostratigraphiques (Dufournet et al., 2023). Ce modèle d'âge induit la présence du hêtre en Margeride depuis au moins 7500 cal. BP, ce qui fait de cette région une des premières zones du Massif Central (avec le Mont Lozère ; Servira Vives, 2014) à avoir été colonisée par cette espèce, depuis les Alpes (Muller et al., 2022). On peut noter que la séquence étudiée ne permet pas de connaitre l'âge précis de l'arrivée de *Fagus* en Margeride, puisqu'il est déjà bien présent à la base.

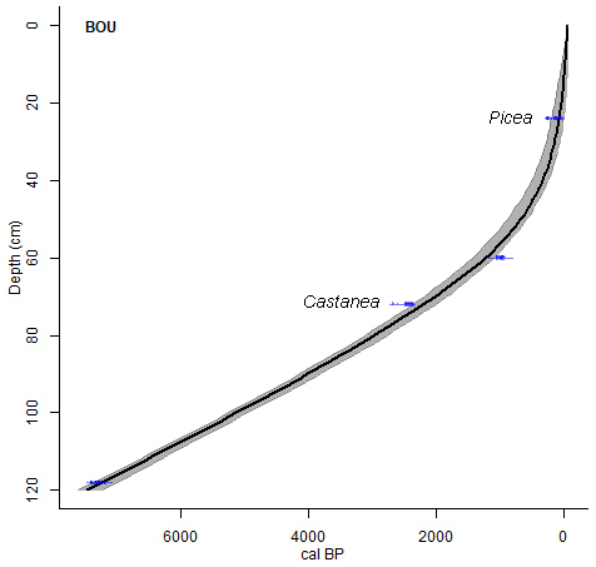


Figure 1. Modèle âge-profondeur du profil Bou1 (tourbière), intégrant les âges obtenus par corrélation palynostratigraphique (notés Picea et Castanea)

Le profil Bou2 est beaucoup plus récent, puisqu'il n'est daté que du début du 11e siècle de notre ère (Fig. 2). Cet âge implique un taux d'accumulation d'1,4-1,5 mm/an, environ dix fois supérieur à celui du profil Bou2 (0,15-0,16 mm/an). En dépit de cette différence étonnante, il est confirmé par l'âge des charbons de bois de *Fagus sylvatica*, datés entre 990 et 1150 cal. AD à 103 cm de profondeur. La faible inversion d'âge entre la tourbe et les charbons suggère que ces derniers ont été remobilisés, et se sont déposés dans une couche de tourbe plus récente.

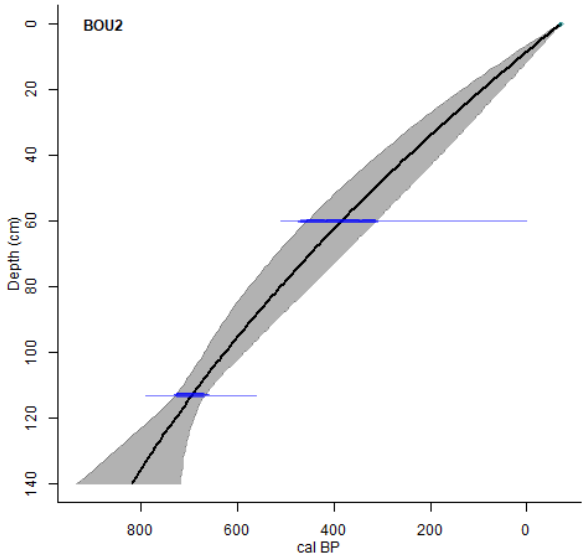


Figure 2. Modèle âge-profondeur du profil Bou2 (bétulaie)

Remerciements

Nous remercions le département enseignement Biologie-Ecologie et l'équipe du bât. 35 pour le prêt du matériel de terrain, ainsi qu'Isabel Figueiral (INRAP) pour l'identification des macrocharbons.

References

Bede G., Giqueaux P. & Jean-Sépet M. (2023). Dynamique de recolonisation après coupe d'une tourbière du Massif central (Paulhac-en-Margeride, Lozère) par deux espèces de bouleaux (*Betula pendula* et

B. pubescens). *Orpalm Synthesis*, 16 : 17-32.

Ben Osman I., Hugonnot V., Muller S.D. & Daoud-Bouattour A (2021). *Sphagnum subnitens* Russow & Warnst. in Tunisia and in North Africa. *Journal of Bryology*, 43 : 190-192.

Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community.* McGraw Hill Book, New York, 432 p.

Cartier A., Creusot P. & Delandhuy A. (2021). Étude palynologique de la dynamique végétale holocène de la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 37-54.

Daniels R.E. & Eddy A. (1985). *Handbook of European Sphagna*. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Huntingdon.

Dufournet L., Guignet A. & Voisin M. (2023). Anthropisation en Margeride : étude sur 7500 ans par l'analyse pollinique de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride). *Orpalm Synthesis*, 16 : 33-46.

Frey W., Frahm J.-P., Fischer E. & Lobin W. (2006). *The liverworts, mosses and ferns of Europe*. T.L. Blockeel (ed.), Harley, Colchester.

Hassel K., Kyrkjeeide M.O., Yousefi N., Prestø T., Stenøien H.K., Shaw J.A. & Flatberg K.I. (2018). *Sphagnum divinum* (sp. nov.) and *S. medium* Limpr. and their relationship to *S. magellanicum* Brid. *Journal of Bryology*, 40 (3) : 197-222.

Jowsey, P.C. (1966). An improved peat sampler. *New Phytologist*, 65 : 245-248.

Kotarba A., Moresco E. & Roux L. (2009). Inventaire et cartographie des sphaignes du Caroux. *Orpal-Synthesis*, 2 : 7-14.

Muller S.D., Rhazi L., Saber E.-R., Rifai N., Daoud-Bouattour A., Bottollier-Curtet M., Ben Saad-Limam S. & Ghrabi-Gammar Z. (2011). Peat mosses (*Sphagnum*) and related plant communities of North Africa. II. The Tingitanean-Rifan range (northern Morocco). *Nova Hedwigia*, 93 : 335-352.

Muller S.D., Bremond L., Bonnet C., Girard V., Montade V. & Terral J.-F. (2022). Le mystère des dynamiques holocènes du hêtre et du sapin dans le sud du Massif Central. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 9-19.

Prelli R. & Boudrie M. 2021. *Les Fougères et plantes alliées d'Europe*. Editions Biotope, Mèze, 528 p.

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. & Talamo S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62: 725.

Servera Vives G. (2014). *Dynamique holocène du paysage et mobilités des pratiques territoriales au mont Lozère (Massif central, France) : approche paléoenvironnementale multi-indicateurs à haute résolution spatio-temporelle*. Thèse de doctorat, Université de Limoges et Universitat de Barcelona.

Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended ^{14}C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.

DYNAMIQUE DE RECOLONISATION APRES COUPE D'UNE TOURBIERE DU MASSIF CENTRAL (PAULHAC-EN-MARGERIDE, LOZERE) PAR DEUX ESPECES DE BOULEAUX (*BETULA PENDULA* ET *B. PUBESCENS*)

Bede Geoffrey [1], Giqueaux Pauline [2], Jean-Sépet Mathis [3]

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

[1] geoffrey.pro.bede@gmail.com, [2] paulineglp2i@gmail.com, [3] mathis.jnsp@gmail.com

Encadrement : Jean-Frédéric Terral

Citation : Bede G., Giqueaux P. & Jean-Sépet M. (2023). Dynamique de recolonisation après coupe d'une tourbière du Massif central (Paulhac-en-Margeride, Lozère) par deux espèces de bouleaux (*Betula pendula* et *B. pubescens*). *Orpalm Synthesis*, 16 : 17-32.

Résumé : Sur la tourbière de Bourge, *Betula pendula* et *B. pubescens* participent à la recolonisation du milieu. Pour reconstituer son histoire récente, la date de colonisation des bouleaux, la répartition de leurs âges et leur influence sur les communautés végétales ont été déterminées, en prenant en compte le facteur espèce. La tourbière comprend trois communautés végétales : boisement de *B. pendula*, boisement de *B. pubescens* et zone ouverte avec des bouleaux juvéniles. Le peuplement de *B. pubescens* montre un âge (déterminé par la circonférence des troncs et le comptage des cernes) plus important que celui de *B. pendula.* La répartition des âges confirme la dynamique de fermeture de la tourbière.

Mots clés : succession végétale, dendrologie, fermeture de milieu, communautés végétales, perturbation

Abstract: *Dynamics of post-cutting recolonization of a peatland in the Massif central (Paulhac-en-Margeride, Lozère, France) by two birch species (*Betula pendula *and* B. pubescens*). Betula pendula* and *B. pubescens* are recolonizing the Bourge Peatland. In order to understand its recent history, the colonization time of birches, their age distribution and the influence of both species on plant communities has been identified. The peatland harbours 3 plant communities: *B. pendula* wood, *B. pubescens* wood and open zone with young birches. The age of the *B. pubescens* wood, determined from trunk circumference and tree rings counting, is older than the *B. pendula* one. The age distribution confirms a closure dynamic.

Keywords: Massif Central, peat-forming vegetation, peat mosses, ferns, topography, pachymetry

Une tourbière est un milieu humide à flore hydrophile caractérisée par la présence de tourbe, formée par accumulation de matière organique non dégradé en condition d'anaérobie (Foster & Wright, 1990 ; Julve, 1994), car saturé en eau (Manneville, 2006). L'existence et la pérennité d'une tourbière nécessitent un bilan hydrique positif, c'est-à-dire des apports en eau (par ruissellement et précipitation) supérieurs aux pertes (par évapotranspiration de la végétation) (Julve, 1996). On distingue deux types de tourbières : les tourbières ombrotrophes alimentées en eau par les

précipitations, acides et pauvres en nutriments, et les tourbières minérotrophes, alimentées par des eaux de ruissellement, fluviatiles ou souterraines (Foster & Wright, 1990 ; Manneville, 2006).

Réservoirs d'eau douce, les tourbières séquestrent 20% du carbone mondial (Wu & Roulet, 2014), jouent un rôle crucial dans la conservation des archives biologiques (Barber, 1993) et servent d'habitat pour de nombreuses espèces inféodées à ces milieux (Charman, 2002). En France, ces milieux abritent 6% des espèces de la liste rouge nationale des espèces végétales menacées, ce qui leur confère une valeur patrimoniale et écologique importante (Julve, 1996). Les tourbières représentent 0,1% de la surface du territoire français et concentrent une importante diversité floristique liée à des influences climatiques multiples. Les tourbières ombrotrophes de l'étage montagnard sont dominées par les sphaignes (*Sphagnum*) (Julve, 1996).

Le massif de la Margeride est composé de zones ouvertes avec un régime hydrologique important, favorisant la formation de tourbières de type boréal/subalpin (Besqueut, 1953). Le territoire est rural, et marqué par une importante activité pastorale et de sylviculture (Bonnin & Perrot, 1989). On y trouve des saules et des bouleaux, dont le bouleau nain (*Betula nana)*, très rare en France (Besqueut, 1953).

Les bouleaux représentent des acteurs centraux de l'hydrosère post-perturbation grâce à leur héliophilie, leur dispersion efficace, leur croissance rapide sur sol pauvre et acide (Hynynen et al., 2008) et leur capacité à former d'importants réseaux mycorhiziens (Atkinson, 1992 ; Beck et al., 2016), notamment sur tourbière (Kamocki, 2017). Ils sont efficaces lorsqu'il s'agit de coloniser des milieux ouverts et occupent une place importante dans les premiers stades des successions végétales (Grime et al., 1988). Dans le Massif central, le bouleau blanc (*Betula pendula)* et le bouleau pubescent (*B. pubescens)* participent à ces dynamiques (Prévosto et al., 1999). Ces deux espèces présentent une large amplitude vis-à-vis des facteurs climatiques. Leurs aires de répartition sont vastes : on les retrouve depuis la Sibérie et la Scandinavie jusqu'en Europe du Sud, en région méditerranéenne (Atkinson, 1992 ; Peinado & Moreno, 1989). Elles poussent principalement sur les pentes faibles (Prevosto & Agrech, 1998). *B. pendula* atteint 30 m de haut et est reconnaissable à ses feuilles triangulaires doublement dentées, à jeunes pétioles glabres (Atkinson, 1992). *B. pubescens* ne dépasse pas les 25 m de haut et se distingue par ses feuilles losangiques avec une marge dentée simple et des jeunes pétioles pubescents (Atkinson, 1992).

Peu d'études se concentrent spécifiquement sur les dynamiques de colonisation des bouleaux en tourbière (Sotek et al., 2019). Généralement, cette question est abordée sous le prisme de la composition et de la structuration des communautés végétales (Kelly & Iremonger, 1997). La présente étude s'intéresse à la dynamique de recolonisation d'une tourbière anciennement exploitée (pâturage temporaire/coupe de bois) par deux espèces de bouleaux : *Betula pendula* et *B. pubescens*. Pour ce faire, l'âge et la répartition des deux espèces sur la tourbière ont été comparées et la date de dernière coupe des arbres sur la tourbière a été déterminée.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

L'étude est conduite sur la tourbière de Bourge (44°56'59.0"N 3°21'56.5"E ; Paulhac-en-Margeride, Lozère, France), à environ 1200 m d'altitude. La tourbière se situe sur la montagne de la Margeride, dans le Massif central, enclavée entre une hêtraie-sapinière et des boisements de sapins et d'épicéas. La Margeride est une zone qui a subi une importante activité pastorale avec un fort peuplement jusqu'au début du 20e siècle, suivi d'un exode rural (Besqueut, 1953 ; Thébaud et al., 2009).

La tourbière de Bourge est alimentée par les précipitations (pluie et neige) de la région, comme souvent dans le Massif central (Thébaud et al., 2009). Elle se situe sur un microgranite (Couturié, 1989), favorisant le

ruissellement et la rétention d'eau. Elle est bordée par une tranchée creusée au sud-ouest de la tourbière, probablement dans le but de drainer la zone pour faciliter l'activité agricole (Fig. 1 ; Sartorello et al., 2020).

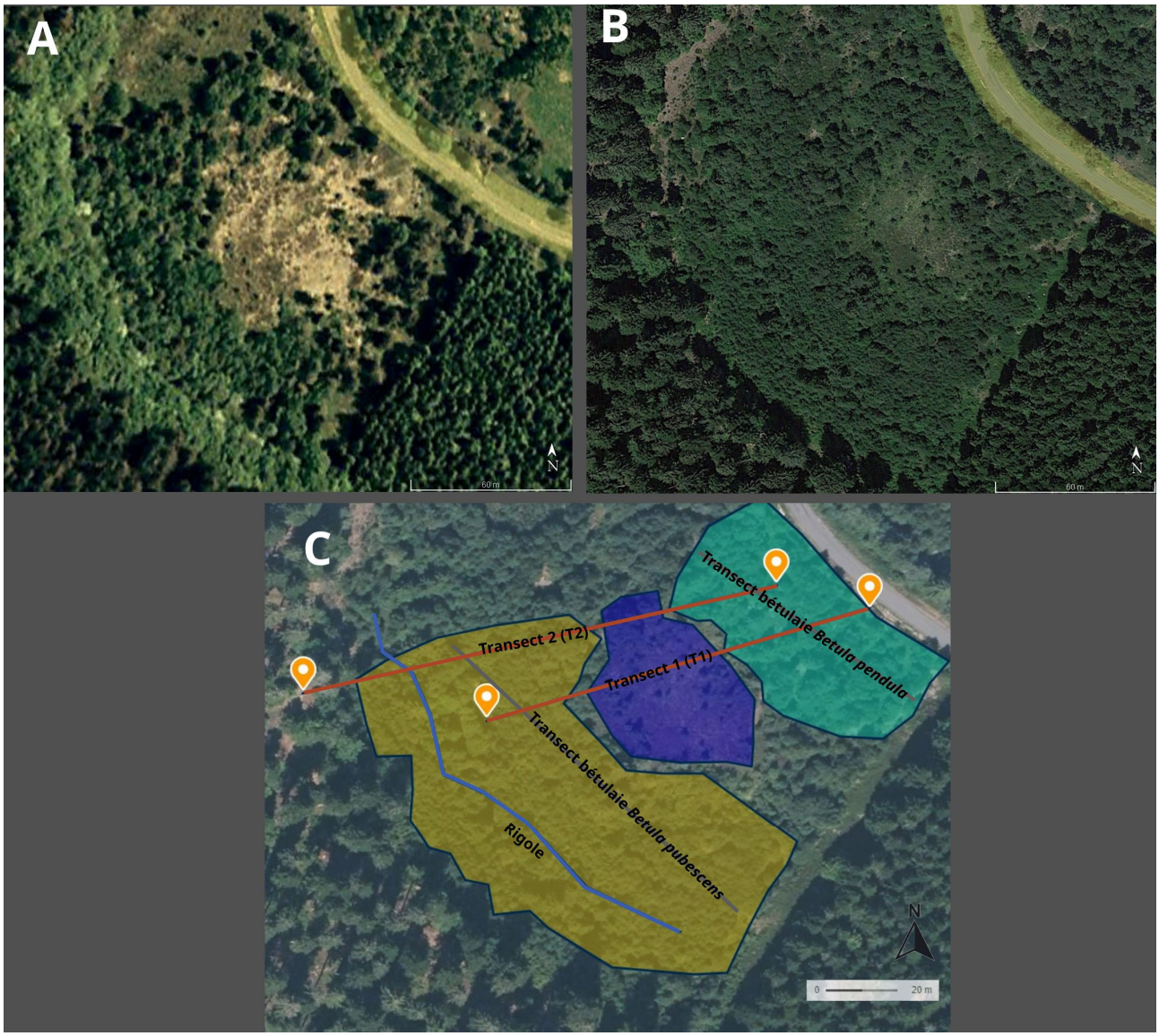


Figure 1. Vue aérienne de la tourbière de Bourge. A : en 2004, B : en 2020. C : représentation du protocole de terrain (T1 transect 1, T2 transect 2). La zone verte correspond à la bétulaie de Betula pendula*, la zone bleue à la zone ouverte et la zone jaune à la bétulaie de* B. pubescens.

2- Méthodes de terrain

Transects : topographie, caractérisation des unités phytosociologiques

Un premier travail de terrain a été effectué le 31 août 2022. La diversité végétale a été décrite à l'aide d'un relevé phytosociologique (Muller et al., 2023).

Deux transects parallèles (orientés sud-ouest nord-est, sur un versant nord-est) ont été réalisés pour décrire les communautés végétales (Fig. 1). Le premier transect, effectué le 1er septembre 2022 (point de départ : 44°56'59.8''N 3°21'59.2''E, point d'arrivée : 44°56'58.8''N 3°21'54.3''E) mesure 115 m. Le second a été réalisé lors d'un retour sur la tourbière le 12 novembre 2022 (point de départ : 44°57'00.0''N

3°21’58.0’’E, point d’arrivée : 44°56’59.0’’N 3°21’52.0’’E) et mesure 140 m. Des relevés botaniques ont été effectués tous les 5 m dans des quadras de 2 m². Il aurait été préférable d’utiliser des quadras de 16 m^2 (surface pour rencontrer un maximum de diversité sur la tourbière) mais cette méthode aurait été chronophage. La profondeur du sol a été mesurée une fois au centre de chaque quadra pour les deux transects à l’aide d’une tige en métal et d’un ruban de mesure. La pente d’un quadra à l’autre a été mesurée grâce à une tige plantée dans le sol à la verticale, d’un niveau et d’un ruban placé à l’horizontale. Un angle droit permet ensuite d'appliquer le théorème de Pythagore, la pente étant l'hypoténuse (Baty et al., 2023 ; Dufournet et al., 2023 ; Heim & Lambert, 2023). La pente totale a ensuite été calculée avec le premier quadra comme référence (altitude 0). La profondeur de la tourbière a été définie comme la différence entre l’altitude cumulée et la profondeur. Les mesures de pente et de profondeur ont été répétées pour deux orientations : sud-ouest nord-est ; nord-ouest sud-est.

Focus sur Betula pendula *et* B. pubescens *: mesure de circonférence à la base de la tige*
Quarante-trois individus de *Betula pendula* et 50 individus de *B. pubescens* ont été choisis aléatoirement sur la tourbière et sectionnés à l’aide d’une scie et/ou d’une tronçonneuse pour obtenir des rondins de bois avec des cernes de croissance théoriquement visibles. La majorité des individus échantillonnés sont constitués de plusieurs brins de cépée, témoignant d’une coupe basale ancienne et d’une reprise (recépage) de développement issu de bourgeons proventifs (rejets de souche) et adventifs (drageons). Le plus grand axe, donc probablement le plus âgé, a été sectionné à la base. Les autres brins n’ont pas été sectionnés. Les rondins ont été numérotés et rangés dans des bacs différents par espèce. La circonférence de ces bouleaux a été mesurée à l’aide d’une corde et d’un mètre. L’objectif est de mettre en relation la circonférence et le nombre de cernes de ces arbres pour prédire l’âge des bouleaux présents sur le transect 1 et dans les bétulaies (Fig. 1) sans avoir besoin de les couper.

La circonférence des bouleaux a été mesurée sur le transect 1 uniquement (par manque de temps) à l’aide d’une corde et d’un décamètre. Un transect dans chacune des bétulaies (orientation sud-ouest nord-est) a été réalisé (Fig. 1). 60 individus de chaque espèce ont été choisis aléatoirement et leur circonférence a été mesurée.

3- Méthodes de laboratoire

Dendrologie : relation circonférence-âge
Chaque rondin a été poncé (grain à classification standard 80 puis 220 pour plus de précision) afin de faciliter le comptage des cernes et d’estimer l’âge de chaque individu (Speer, 2012). Lorsque les cernes sont très rapprochés, seuls les plus épais ont été comptabilisé pour éviter de compter des faux cernes qui peuvent, par exemple, se former en période de sécheresse (Heinrich & Banks, 2006).

Ces deux mesures ont été effectuées par trois opérateurs indépendamment, puis comparées. Lorsque l’écart entre opérateurs était supérieur à 2 cernes, les mesures ont été répétées une nouvelle fois par les trois opérateurs, puis comparées à nouveau. Une moyenne des trois mesures pour le nombre de cernes et la circonférence a été calculée, réduisant l’erreur imputable à la lecture des cernes.

Analyses statistiques
Les analyses statistiques ont été effectuées sur le logiciel Rstudio (version 4.1.1).
Pour décrire la composition des communautés végétales sur les transects, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée avec un tableau de contingence des différentes espèces végétales présentes (en colonnes) sur chaque quadra (en lignes), des données de présence (1) et d’absence (0). L’analyse a nécessité les packages *FactoMineR* (Lê et al., 2008) et *Factoextra* (Kassambara & Mundt, 2017).

Un modèle linéaire simple reliant le nombre de cernes (variable réponse) à la circonférence (variable explicative) pour

chaque espèce a été construit, permettant de prédire l'âge des bouleaux dont la circonférence a été mesurée sur le terrain avec un intervalle de confiance à 95 %. Ces modèles sont réalisés à partir des bouleaux sectionnés aléatoirement sur la tourbière. Ils permettent de prédire l'âge des bouleaux non sectionnés, à partir de leur circonférence (bouleau du transect 1 et des bétulaies) (Fig. 1). Les tests d'hypothèses du modèle linéaire ont été réalisées au préalable à l'aide du package *lmtest* (Zeileis & Hothorn, 2002). En cas de non-respect des hypothèses (normalité, homogénéité et indépendances des résidus), les données initiales ont été log-transformées.

Une ANOVA à deux facteurs a été réalisée pour comparer la moyenne des âges des bouleaux des transects en fonction de l'espèce et des zones potentiellement définies par l'AFC. Le package *rcompanion* (https://CRAN.R-project.org) a été utilisé pour ce test.

Une ANOVA à un facteur a permis de comparer la moyenne d'âge des peuplements de *Betula pendula* et *Betula pubescens* (Fig. 1) de la tourbière. L'âge du plus vieux des bouleaux a servi à approcher au mieux l'âge de la dernière coupe et donc à dater le début de la recolonisation du milieu.

Enfin, les représentations graphiques ont été réalisées avec les packages *ggplot2* (Whickham, 2016), *gplots* (Warnes et al., 2022 ; https://CRAN.R-project.org), *ggpubr* (https://cran.r-project.org).

RESULTATS

1- Description de la communauté végétale et de la topographie de la tourbière de Bourge

Relevé phytosociologique et données topographiques de la tourbière de Bourge

Le relevé phytosociologique donne une idée de la diversité végétale de la tourbière. Au total, 47 espèces végétales sont décomptées, hors algues et bryophytes (Muller *& al.*, 2023).

La callune (*Calluna vulgaris*), le bouleau pubescent, la molinie (*Molinia caerulea*) et les sphaignes (*Sphagnum* spp.) sont les espèces dominantes. Elles sont essentiellement accompagnées de la linaigrette à gaines (*Eriophorum vaginatum)*, de la laîche noire (*Carex nigra*), du myrtillier (*Vaccinium myrtillus*) et du bouleau blanc. Le jonc squarreux (*Juncus squarrosus*), le sapin (*Abies alba*) et l'épicéa (*Picea abies*) sont plus rares. Enfin, quelques espèces, comme le jonc à fleurs aiguës (*Juncus acutiflorus*), la gentiane pneumonanthe (*Gentiana pneumonanthe*) ou le nard raide (*Nardus stricta*), ne se trouvent que de manière ponctuelle.

Les relevés topographiques d'altitude et de profondeur (Annexe 1) montrent que la tourbière est en pente régulière de 1468 cm dans sa longueur (nord-est sud-ouest). Sa largeur (nord-ouest sud-ouest) présente une pente plus faible (306 cm). La profondeur augmente dans sa longueur (29 à 137 cm), mais elle varie de façon plus irrégulière dans sa largeur.

Répartition géographique des espèces le long des deux transects

L'AFC permet de faire le lien entre les profils lignes (quadras des deux transects) et les profils colonne (taxons) du tableau de contingence pour visualiser la répartition géographique des espèces (Fig. 2). Les axes 1 et 2 expliquent respectivement 20,7% et 12,7% de la variance, soit une variance cumulée de 33,4%. Les quadras se regroupent en plusieurs zones distinctes :

- La zone 1, à l'extrémité négative de l'axe horizontal, comprend les deux premiers quadras (0_5 et 0_10) de chaque transect. Elle est composée par l'alisier blanc (*Sorbus aria*), le plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*), le gaillet (*Galium* sp.), le genêt des Anglais (*Genista anglica*), le genêt à balais (*Cytisus scoparius*), et la potentille dressée (*Potentilla erecta*). Ce sont des espèces de lisière ou pionnières (Richard & Gery, 1993 ; Prévosto et al., 2004 ; Welk et al., 2016 ; Bellis et al., 2021).

-La zone 2 comprend les quadras 10_15 à 90_95 m, avec le nard raide, le bouleau blanc ou le sélin des Pyrénées (*Epikeros pyrenaeus*), la molinie, la callune, le myrtillier, la linaigrette à gaines, le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le jonc squarreux et la laîche rostrée (*Carex rostrata*). Ces espèces sont majoritairement héliophiles (Welch, 1966 ; Atkinson, 1992).

-La zone 3, à l'extrémité positive de l'axe horizontal, regroupe les quadras à partir de 95_100 m, structurés par le sapin, *B. pubescens* et la fougère femelle (*Athyrium filix-femina*) qui est une espèce de sous-bois (Mehltreter, 2010).

Les deux transects sont assez homogènes. Les quadras du transect 1 sont relativement proches des quadras correspondants du transect 2, avec 2 exceptions pour les quadras 25_30 m et 30_35 m du transect 1.

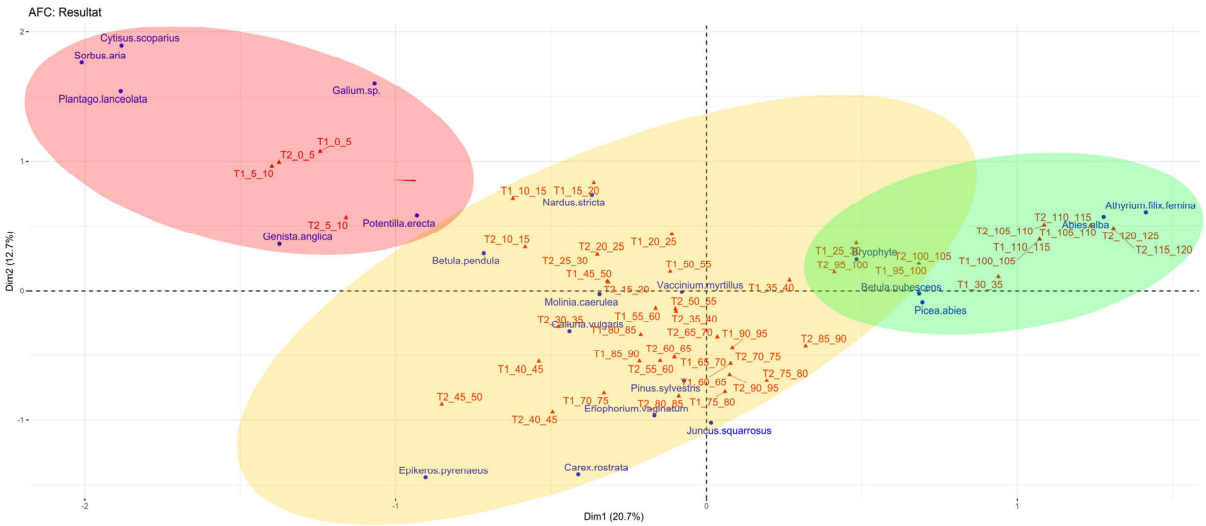


Figure 2. AFC montrant la répartition spatiale des espèces sur les transects T1 (23 placettes) et T2 (28 placettes). Les placettes sont les triangles rouges (transect 1 de 0-5 m). Les espèces (24) sont en bleu. Les axes 1 et 2 expliquent respectivement 20,7% et 12,7% de la variance (variance cumulée : 33,4%). Les ellipses mettent en évidence les zones révélées par l'AFC (rouge : zone 1 ; jaune : zone 2 ; vert : zone 3).

2- Age des bouleaux du transect 1 et des bétulaies

Modèle de prédiction et évaluation des âges des bouleaux blancs et pubescents du transect

Un modèle linéaire est construit pour chaque espèce de bouleau afin de prédire l'âge par la circonférence et le comptage des cernes (Annexe 2). Le premier modèle concernant les bouleaux blancs (Fig. 3a) n'a pas nécessité de transformation de données pour satisfaire la normalité (Shapiro-Wilk : *p-value* <0.05), l'homoscédasticité (Breusch-Pagan : *p-value* <0.05) et l'indépendance des résidus (Durbin-Watson : *p-value* <0.05). Afin de satisfaire ces hypothèses pour le modèle des bouleaux pubescents (Fig. 3b), il a été nécessaire de retirer les valeurs aberrantes identifiées (individus 31, 49 et 50) grâce à la distance de Cook et de transformer en log les données de circonférence et de nombre de cernes. Dès lors, la normalité (Shapiro-Wilk : *p-value* >0.05), l'homoscédasticité (Breusch-Pagann : *p-value* >0.05) et l'indépendance des résidus (Durbin-Watson : *p-value* >0.05) sont respectées.

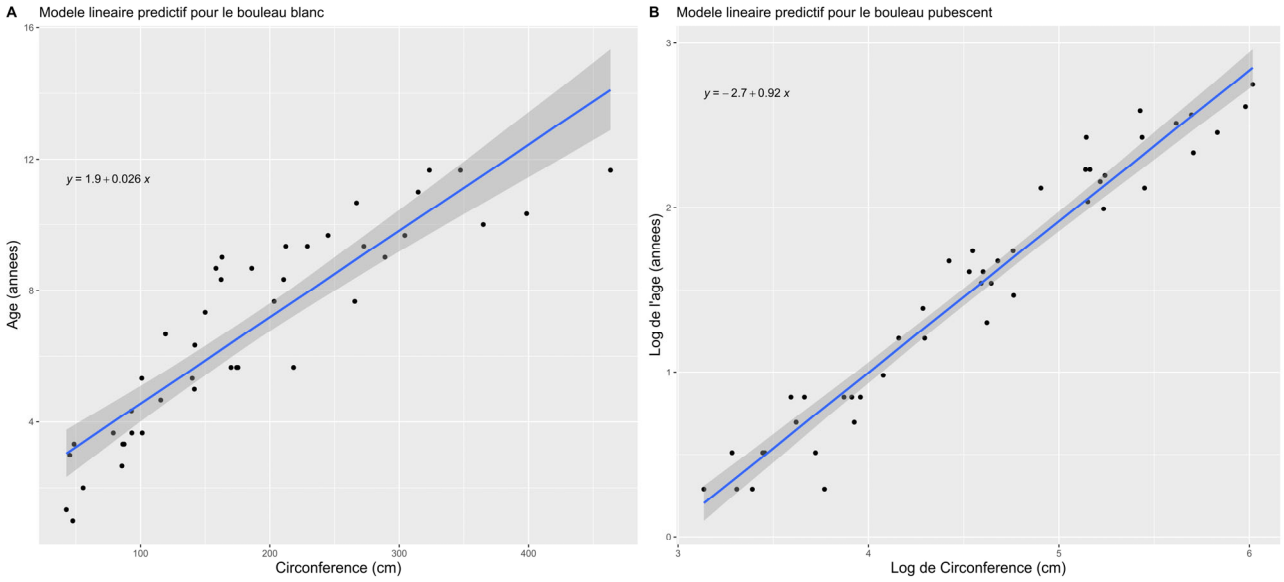


Figure 3. Modèles linéaires prédictifs de l'âge en fonction de la circonférence. A. A partir de 43 Betula pendula*. B. en Log à partir de 47* B. pubescens *(sans les valeurs extrêmes 31, 49 et 50). Les équations des droites de régressions sont indiquées sur chaque graphique.*

Les deux modèles ont une pente et une ordonnée à l'origine significativement différente de 0. La pente des bouleaux blancs est de 0,03 ± 0,004 (Student : *p-value* <0.05) et l'ordonnée à l'origine de 1,9 ± 0,9 (Student : *p-value* <0.05). La pente des bouleaux pubescents après application de l'exponentielle est de 2,5 ± 0,2 (Student : *p-value* <0.05) et l'ordonnée à l'origine de 0,07 ± 0,01 (Student : *p-value* <0.05). Les intervalles correspondent aux intervalles de confiance à 95%. Les deux modèles présentent un R^2 très élevé (0,802 pour les bouleaux blancs et 0,946 pour les bouleaux pubescents).

Les prédictions d'âge des bouleaux dont la circonférence est mesurée le long du transect sont associées à un intervalle de confiance à 95 % (Annexe 3).

Structure d'âge des bouleaux du transect 1

L'AFC a montré qu'il est possible de diviser le transect en trois zones. Une ANOVA à deux facteurs de classification (Fig. 4a) est réalisée afin de tester si l'âge des bouleaux varie en fonction des zones et des espèces. L'âge ne suit pas une loi normale (Shapiro-Wilk : *p-value* <0.05). Une ANOVA non-paramétrique est donc choisie. Il semble que la moyenne d'âge des bouleaux diffère en fonction des zones (Scheirer-Ray-Hare *: p-value* < 0,05), mais pas en fonction des espèces (Scheirer-Ray-Hare *: p-value* >0,5). L'interaction n'est pas significative (Scheirer-Ray-Hare *: p-value* > 0,05). Aucun bouleau blanc n'a été échantillonné dans la zone 3 et aucun bouleau pubescent dans la zone 1.

Age, structure d'âge des bouleaux des deux peuplements distincts et âge de la dernière coupe

Les modèles linéaires précédents ont permis de prédire l'âge des deux peuplements de bouleaux (Fig. 1) avec un intervalle de confiance à 95%. Les courbes de densité de distribution des âges des deux peuplements (Fig. 4b) montrent que les bouleaux blancs ont une distribution unimodale nette. La majorité des bouleaux blancs semblent âgés de 10 ans, pour un âge maximum d'environ 21 ± 2 ans et un âge minimum de 6 ± 0,4 ans. En revanche, les bouleaux pubescents montrent une plus grande dispersion dans leurs âges. Ils semblent avoir majoritairement 12 ans, pour un âge minimal de 5 ± 0,2 ans et un âge maximal de 28 ± 4 ans.

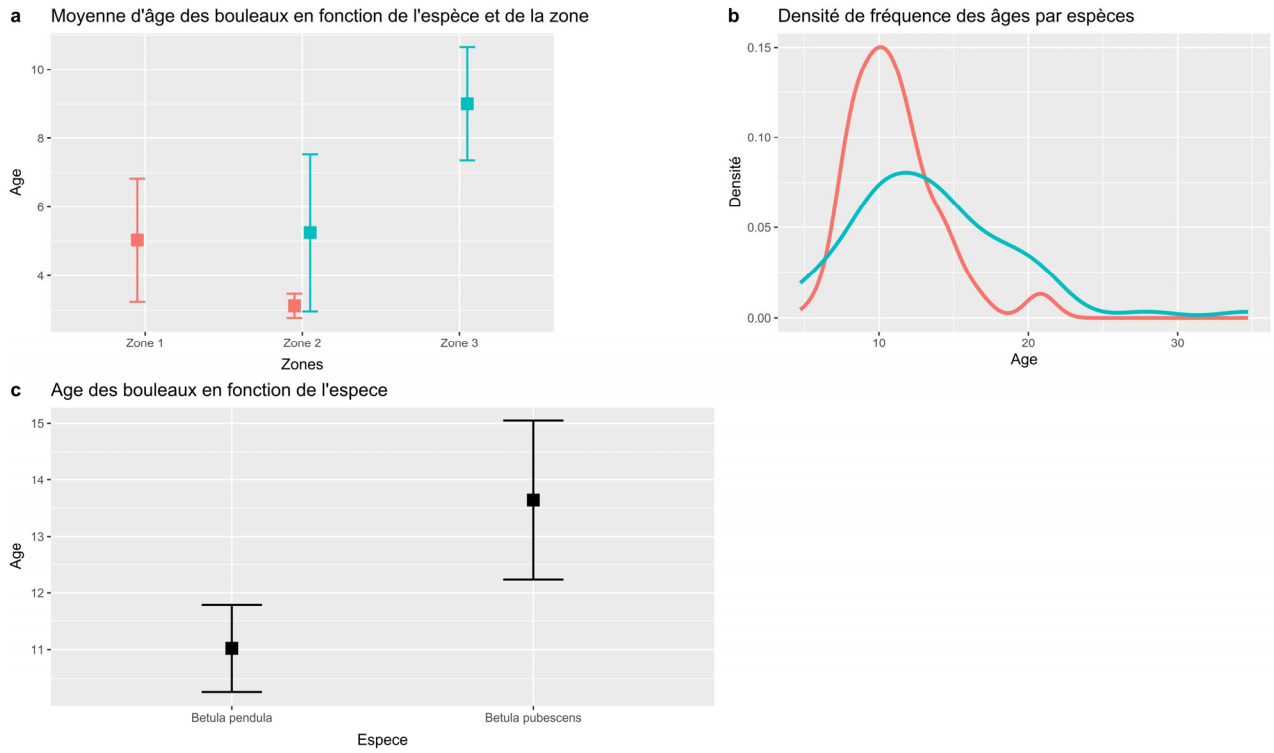


Figure 4. Répartition des âges des bouleaux. A. Moyenne en fonction de l'espèce (rouge : Betula pendula *; bleu :* B. pubescens*) et de la zone déterminée par l'AFC. Les barres d'erreurs correspondent à l'intervalle de confiance à 95%. B. Fréquences par espèces (en rouge pour* B. pendula*, en bleu pour* B. pubescens*). C. Moyenne en fonction des espèces. Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiance à 95%.*

L'âge ne suit pas une distribution normale (Shapiro-Wilk : *p-value* < 0,05). Une ANOVA non paramétrique à un facteur est donc réalisée pour comparer l'âge moyen des deux peuplements de bouleaux (Fig. 4c). Ils semblent différents (Kruskal-Wallis : *p-value* < 0,05) : le peuplement de *Betula pendula* serait plus jeune que le peuplement de *B. pubescens*.

Discussion

1- Age et répartition de Betula pendula et B. pubescens sur la tourbière de Bourge

L'étude de la répartition spatiale des espèces semble confirmer la présence de trois zones aux communautés distinctes. Deux bétulaies, formées majoritairement *Betula pendula* pour la première (nord-est) et de *B. pubescens* (sud-ouest) pour la seconde, sont séparées par une zone ouverte avec des bouleaux plus jeunes (Fig. 1c). La tourbière serait en cours de fermeture, avec une colonisation de sa partie ouverte récemment par *B. pubescens* et *B. pendula*.

Sur les tourbières ombrotrophes d'altitude, les bouleaux s'installent préférentiellement en périphérie (Sotek et al., 2019), comme c'est le cas ici. Cependant, la colonisation ne semble pas s'être faite de façon homogène entre les deux espèces étudiées. Les données de répartition des espèces associées aux courbes de topographie semblent indiquer une exclusivité de *Betula pubescens* dans la bétulaie au sol plus profond et la présence de *B. pendula* dans la partie la moins profonde. Il semble qu'aucun bouleau blanc ne se soit installé dans la bétulaie à bouleaux pubescents (Fig. 4a). Cette ségrégation pourrait s'expliquer par la différence de préférence hydromorphique des deux espèces, *B. pubescens* étant davantage hydrophile que *B. pendula* (Gimingham, 1984). Les tourbières à sphaignes se composent d'une couche superficielle très perméable où l'eau fluctue de 10 à 40 cm (acrotelme) et une couche plus profonde saturée en eau (catotelme) (Foster & Wright, 1990). Dans le

catotelme, les conditions sont défavorables à la croissance des parties souterraines des végétaux : températures basses, excès d'eau (anoxie), apport en nutriment faible et substrat acide (van Breemen, 1995). Ces conditions constituent un environnement défavorable pour les espèces végétales ayant un système racinaire profond, qui poussent généralement sur les parties les mieux drainées des tourbières (van Breemen, 1995). Il est possible que les zones moins profondes soient plus propices à la colonisation de bouleaux blancs, car cette couche saturée en eau est moins épaisse. Le catotelme, qui est la zone la plus épaisse de la colonne de tourbe, possède une très faible conductivité hydraulique (van Breemen, 1995).

Dans la bétulaie à bouleaux pubescents, les bouleaux accueillent quelques épicéas (*Picea abies*) et sapins (*Abies alba*). L'arrivée du bouleau en stade pionnier enrichit les sols, favorisant l'installation de l'épicéa. Cette facilitation s'ajoute à une superposition de leur niche écologique, ce qui permet d'expliquer la faible compétition interspécifique et le maintien de la forêt mixte (Mård, 1996). Le sapin est une espèce de succession plus avancée, certainement arrivée plus tardivement sur la zone (Obidowicz et al., 2004).

Une estimation de l'abondance par taux de recouvrement aurait permis une analyse plus fine de la répartition spatiale des espèces, mais la récolte de données de présence/absence s'est vue privilégiée par manque de temps. Il aurait également été intéressante de mesurer d'autres variables environnementales en plus de la profondeur, comme l'acidité et l'humidité du sol, la luminosité ou d'autres facteurs. L'intégration de ces paramètres dans les analyses aurait pu contribuer à mieux cerner en quoi les conditions environnementales structurent la communauté végétale de la tourbière de Bourge.

2- Dernière coupe des bouleaux de la tourbière et âge de la recolonisation

Les modèles linéaires indiquent des âges maximums de 28 ± 4 ans pour *Betula pubescens* et de 21 ± 2 ans pour *B. pendula*. La moyenne d'âge des deux espèces est significativement différente, induisant une colonisation de la tourbière décalée dans le temps. Elle aurait commencé il y a environ 28 ans pour les bouleaux pubescents, et 21 ans pour les bouleaux blancs. Cette observation est corroborée par la comparaison des vues aériennes de la tourbière en 2004 et 2020 (Figs. 1a et 1b) : la bétulaie à bouleaux blancs n'est pas encore fermée en 2004, alors que celle à bouleaux pubescents l'est, attestant une coupe plus ancienne des bouleaux pubescents. Les archives de photographies aériennes ne permettent pas de remonter plus loin dans le temps.

En revanche, il apparaît que la variance des âges de *Betula pubescens* est plus élevée que celle de *B. pendula*. Dans un premier temps les *B. pubescens* ont probablement effectué de la régénération par rejet avant de coloniser le milieux grâce à de nouveaux individus (graines) (Fig. 4b).

Les intervalles de confiance à 95% sont relativement larges, car il manque des données pour les très grandes circonférences (Annexe 4). Les prédictions pour ces bouleaux sont réalisées par extrapolation. Enfin, la méthode de comptage des cernes à l'œil nu présente un nombre important de biais expérimentateurs, en particulier pour le bouleau qui présente des cernes à pores diffus (Cairns et al., 2012 ; Prévosto et al., 1999). Un logiciel de dendrochronologie aurait pu permettre de limiter les biais et donc de resserrer les intervalles.

CONCLUSION

Cette étude confirme la dynamique de fermeture de la tourbière, avec des bouleaux plus jeunes dans la zone ouverte que dans les bétulaies (Kamocki, 2017). La coupe des bétulaies est estimée à environ 28 ans chez les bouleaux pubescents et environ 21 ans chez

les bouleaux blancs. La dynamique des bouleaux et la nature du sol (dû à sa topographie) sont les facteurs qui semblent le mieux expliquer la diversité des communautés végétales. La fermeture complète tendrait à faire disparaitre certaines espèces typiques des milieux ouverts (Favreau et al., 2019), menant potentiellement à la régression locale du jonc, de la bruyère et du genêt, au profit d'espèces de sous-bois comme la fougère femelle (Mehltreter, 2010).

Afin de conserver la biodiversité héliophile de zone ouverte, il serait intéressant d'introduire une activité pastorale ou de procéder à une coupe de la zone avant fermeture complète (Sartorello et al., 2020). L'installation d'une zone agricole, nécessitant un assèchement du site (interdite par la loi), serait préjudiciable pour la biodiversité hydrophile (Sartorello et al., 2020). Dans cette optique, il serait utile de bloquer la rigole de la tourbière qui constitue pourtant un écosystème où vivent et se développent nombre d'espèces aquatiques, elles-mêmes menacées par l'anthropisation.

REFERENCES

Atkinson M.D. (1992). *Betula pendula* Roth (*B. verrucosa* Ehrh.) and *B. pubescens* Ehrh. *The Journal of Ecology*, 80 : 837-870.

Barber K.E. (1993). Peatlands as scientific archives of past biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2 : 474-489.

Baty M., Boudet R. & Deppe C. (2023). Reconstruction paléoenvironnementale de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : fonctionnement et dynamiques internes sur 7500 ans, via les palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 16 : 47-63.

Beck P., Caudullo G., de Rigo D. & Tinner W. (2016). *Betula pendula*, *Betula pubescens* and other birches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *In :* J. San-Miguel-Ayanz, G. Caudullo, D. de Rigo, A. Mauri & T. Houston Durrant (éds.), *European atlas of forest tree species.* Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 70-73.

Bellis J., Longden M., Styles J. & Dalrymple S. (2021). Using macroecological species distribution models to estimate changes in the suitability of sites for threatened species reintroduction. *Ecological Solutions and Evidence*, 2 : 1-12.

Besqueut L. (1953). La Margeride. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 100 : 21-26.

van Breemen N. (1995). How *Sphagnum* bogs down other plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 10 : 270-275.

Bonnin P. & Perrot M. (1989). Le décor domestique en Margeride. *Terrain, Anthropologie et Sciences Humaines*, 12 : 40-53.

Cairns D.M., Lafon C.W., Mouton M.F., Stuteville R.L., Young A.B. & Moen J. (2012). Comparing two methods for aging trees with suppressed, diffuse-porous rings (*Betula pubescens* ssp. czerepanovii). *Dendrochronologia*, 30 : 252-256.

Charman D. (2002). *Peatlands and environmental change*. Wiley & Sons Ltd, Chichester, 301 p.

Couturié J.-P. (1989). *Carte géologique à 1/50 000 SAUGUES, 0814*. Bureaux des recherches géologiques et minières, Orléans.

Dufournet L., Guignet A. & Voisin M. (2023). Anthropisation en Margeride : étude sur 7500 ans par l'analyse pollinique de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride). *Orpalm Synthesis*, 16 : 33-46.

Favreau M., Pellerin S. & Poulin M. (2019). Tree encroachment induces biotic differentiation in *Sphagnum*-dominated bogs. *Wetlands*, 39 : 841-852.

Foster D.R. & Wright H.E. (1990). Role of Ecosystem Development and Climate Change in Bog Formation in Central Sweden. *Ecology*, 71 : 450-463.

Gimingham C.H. (1984). Ecological aspects of birch. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 85 : 65-72.

Grime J.P., Hodgson J. & Hunt R. (1989). *Comparative Plant Ecology: A Functional Approach to Common British Species*. Kluwer Academic Publishers, Londres, 742 p.

Heim Z. & Lambert A. (2023). Etude

palynologique de la portion boisée de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : apports à la compréhension de l'histoire de la végétation locale. *Orpalm Synthesis*, 16 : 63-73.

Heinrich I. & Banks J.CG. (2006). Tree-ring anomalies in *Toona ciliata*. *IAWA Journal*, 27 : 213-231.

Hynynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S. & Velling P. (2010). Sylviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, 83 : 103-119.

Julve P. (1996). Les tourbières de France : écologie et valeur patrimoniale. *Les cahiers scientifiques et techniques du réseau "Tourbières de France"*, 1 : 2-7.

Kamocki A.K., Kołos A. & Banaszuk P. (2017). Can we effectively stop the expansion of trees on wetlands? Results of a birch removal experiment. *Wetlands Ecology and Management*, 25 : 359-367.

Kassambara A. & Mundt F. (2017). Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses, R package version 1.0.7. *Bug Report*, 1-76.

Kelly D.L. & Iremonger S.F. (1997). Irish wetlands woods: The plant communities and their ecology. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 97 : 1-32.

Lê S., Josse J. & Husson F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis, R package version 2.6. *Journal of Statistical Software*, 25 (1) : 1-18.

Manneville O. (2006). *Le Monde des tourbières et des marais : France, Suisse, Belgique, Luxembourg*. Delachaux, Paris, 320 p.

Mård H. (1996). The influence of a birch shelter *(Betula* spp) on the growth of young stands of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 11 : 343-350.

Muller S.D., Montade V. & Terral J.-F. (2023). La tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride (Lozère). *Orpalm Synthesis*, 16 : 9-16aff

Obidowicz A., Szczepanek K., Madeyska E. & Nalepka D. (2004). *Abies alba* Mill. *In* : M. Ralska-Jasiewiczowa, M. Latałowa, K. Wasylikowa, K. Tobolski, E. Madeyska, H.E. Wright Jr. & C. Turner (éds), *Late Glacial and holocene History of Vegetation in Poland based on Isopollen Maps*. Instytut Botaniki Władysława Szafera, KraKraków, pp. 31-38.

Peinado M. & Moreno G. (1989). The Genus *Betula* (Betulaceae) in the Sistema Central (Spain). *Willdenowia*, 18 : 343-359.

Prévosto B., & Agrech G. (1998). Dynamique et typologie des accrus. Le cas des bétulaies dans la chaîne des Puys. *Revue forestière française*, 50 : 46-58

Prévosto B., Coquillard P. & Gueugnot J. (1999). Growth models of silver birch (*Betula pendula* Roth.) on two volcanic mountains in the French Massif central. *Plant Ecology*, 144 : 231-242.

Prévosto B., Robert A. & Coquillard P. (2004). Development of *Cytisus scoparius* L. at stand and individual level in a mid-elevation mountain of the French Massif Central. *Acta Oecologica*, 25 : 73-81.

Richard H. & Gery S. (1993). Variations in pollen proportions of *Plantago lanceolata* and *P. major/media* at a Neolithic lake dwelling, Lake Chalain, France. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2 : 79-88.

Sartorello Y., Pastorino A., Bogliani G., Ghidotti S., Viterbi R. & Cerrato C. (2020). The impact of pastoral activities on animal biodiversity in Europe: a systematic review and meta-analysis. *Journal for Nature Conservation*, 56 : 1-44.

Mehltreter K., Walker L.R. & Sharpe J.M. (2010). *Fern Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 473 p.

Sotek Z., Stasińska M., Malinowski R., Gamrat R. & Gałczyńska M. (2019). Birch Bog on Anthropogenically Transformed Raised Bogs. A Case Study from Pomerania (Poland). *Water*, 11 : 1224.

Speer J. (2012). *The Fundamentals of Tree-Ring Research*. University of Arizona press, Tucson, 360 p.

Taylor K, Jones H.E. & Rowland A.P. (2001). *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Journal of Ecology*, 89 : 126-144.

Thébaud G., Goubet P., Skrzypczak R. & Sourp É. (2009). Communautés végétales des tourbières ombrotrophes du Massif central oriental (France). *Acta Botanica Gallica*, 156 : 341-377.

Wallèn B. (1987). Growth pattern and distribution of biomass of *Calluna vulgaris* on an ombrotrophic peat bog. *Holarctic Ecology*, 10 : 73-79.

Warnes G.R., Bolker B., Bonebakker L., Gentleman R., Huber W., Liaw A., Lumley T., Maechler M., Magnusson A., Moeller S., Schwartz M., Venables B. & Galili T. (2022). *gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data*, R package version 3.1.3.

Welch D. (1966). *Juncus squarrosus* L. *The Journal of Ecology*, 54 : 535-548.

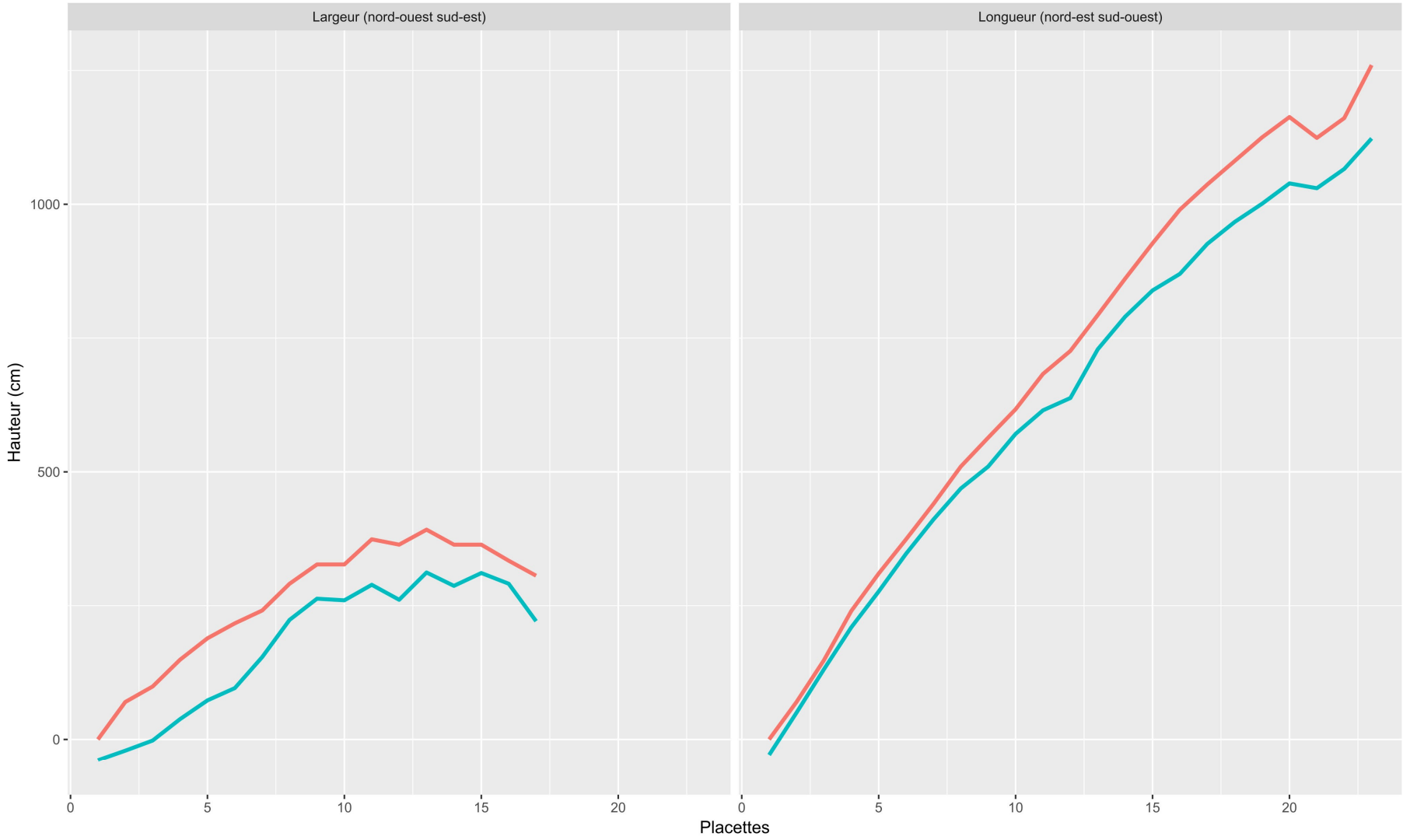
Welk E., de Rigo D. & Caudullo G. (2016). *Sorbus aria* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *In :* J. San-Miguel-Ayanz, G. Caudullo, D. De Rigo, A. Mauri & T. Houston Durrant (éds.), *European atlas of forest tree species.* Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 174-175.

Wickham H. (2016). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*, R package version 3.4.0. Springer-Verlag, New-York, 276 p.

Wu J. & Roulet N.T. (2014). Climate change reduces the capacity of northern peatlands to absorb the atmospheric carbon dioxide: The different responses of bogs and fens: peatlands switch to C sources by 20100. *Global Biogeochemical Cycles*, 28 : 1005-1024.

Zeileis A. & Hothorn T. (2002). Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News*, 2 : 7-10.

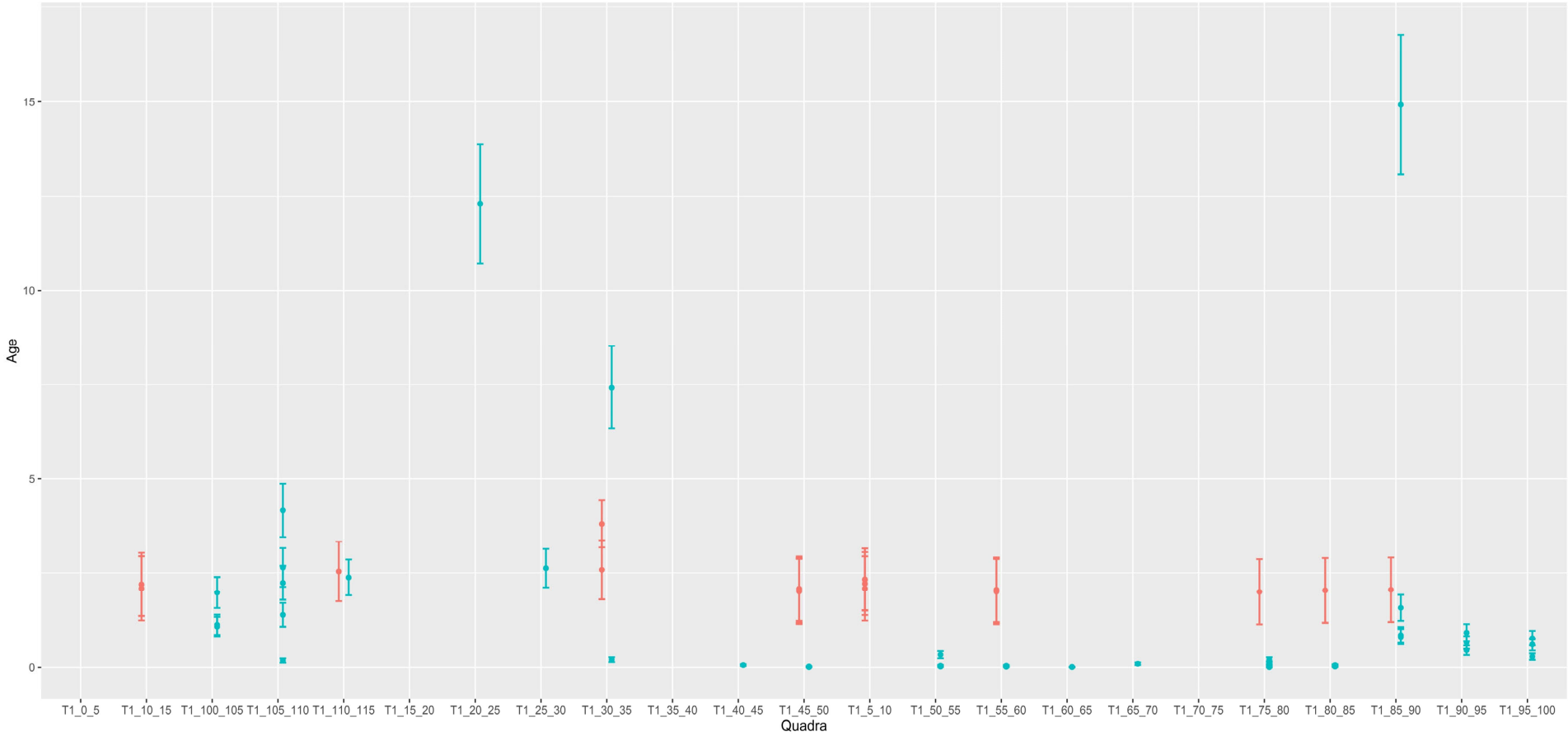
ANNEXE 1. Courbes de niveaux de la tourbière de Bourge dans sa largeur (orientation nord-est sud-ouest) et sa longueur (orientation nord-ouest sud-est). La profondeur (cm) est en bleu et l'altitude cumulée (cm) en rouge. L'écart entre les deux courbes représente la profondeur de tourbe.



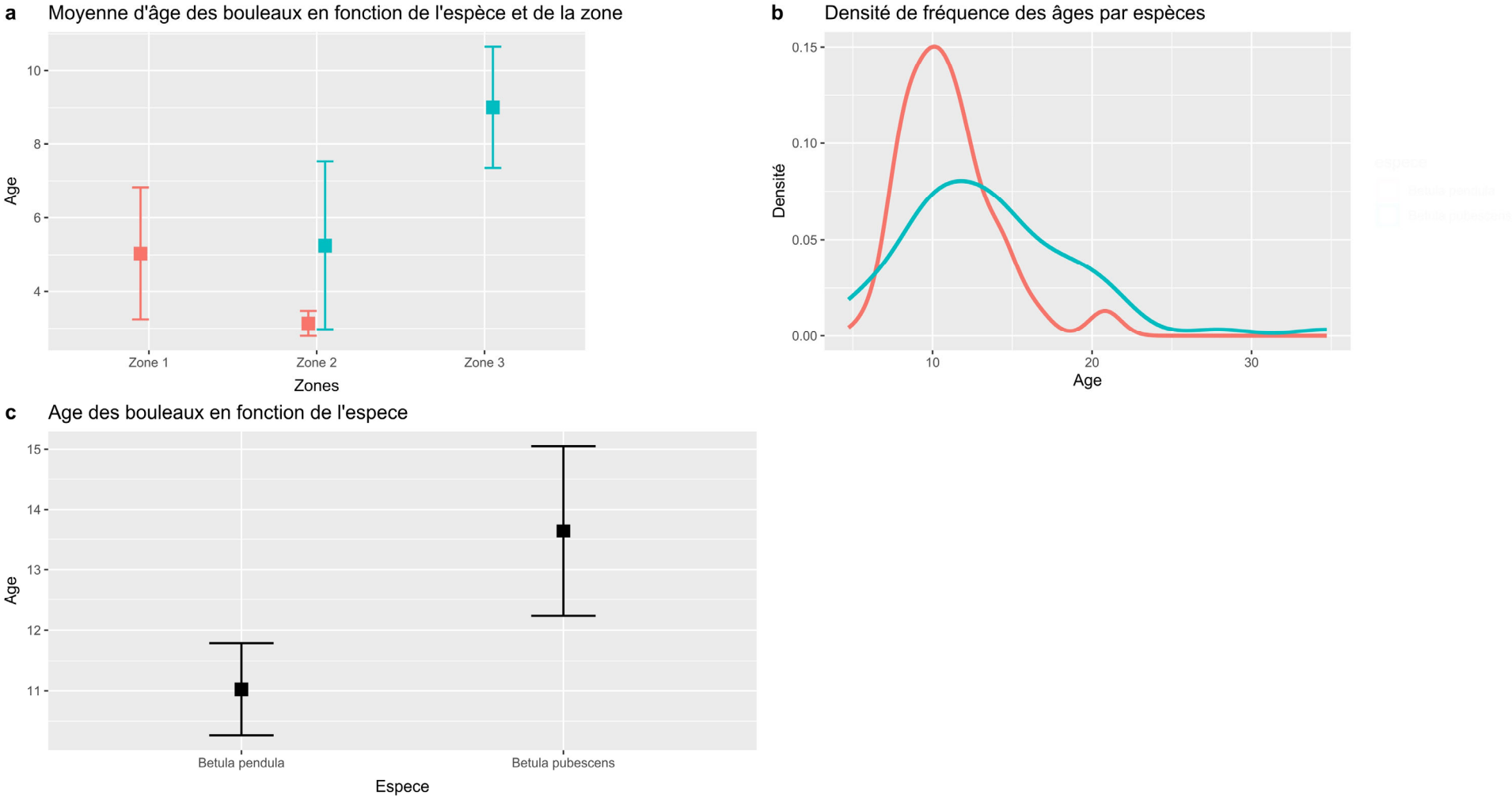
ANNEXE 2. Comptage des cernes et des circonférences pour *Betula pendula* et *B. pubescens* pour la mise en place des modèles linéaires prédictifs de l'âge en fonction de la circonférence.

	Betula pendula		*Betula pubescens*	
Numéro de rondin	Circonférence (mm)	Cernes	Circonférence (mm)	Cernes
1	93,0	4	274,7	12
2	212,3	9	232,7	8
3	142,0	6	171,3	11
4	218,3	6	174,7	9
5	150,0	7	395,3	14
6	158,3	9	189,0	9
7	141,7	5	170,7	9
8	86,3	3	184,3	9
9	175,3	6	117,0	4
10	162,3	8	98,7	5
11	174,3	6	29,7	1
12	101,3	4	83,3	5
13	101,0	5	31,7	2
14	79,0	4	31,3	2
15	45,3	3	50,7	2
16	186,0	9	341,0	12
17	210,7	8	229,7	11
18	203,3	8	135,0	8
19	229,0	9	72,7	4
20	48,7	3	64,0	3
21	93,3	4	39,0	2
22	463,3	12	59,0	3
23	115,7	5	227,3	13
24	87,3	3	300,7	10
25	85,7	3	99,7	5
26	119,3	7	116,7	6
27	170,0	6	172,7	8
28	163,0	9	104,0	5
29	140,0	5	26,7	2
30	55,7	2	107,7	5
31	365,0	10	473,0	12
32	245,0	10	37,3	2
33	265,7	8	41,3	2
34	272,7	9	92,7	5
35	42,7	1	101,7	4
36	304,3	10	297,7	13
37	314,7	11	73,3	3
38	347,3	12	48,0	2
39	289,0	9	23,0	1
40	47,7	1	27,3	1
41	323,3	12	187,7	7
42	267,0	11	410,7	16
43	398,5	10	50,0	2
44			94,3	6
45			36,3	2
46			50,0	2
47			43,3	1
48			52,3	2
49			23,3	1
50			17,0	1

ANNEXE 3. Age prédit des bouleaux du transect 1 pour chaque quadrat (bleu : *Betula pubescens* ; rouge : *B. pendula*).



ANNEXE 4. Densité des circonférences des bouleaux coupés aléatoirement sur le terrain servant à construire les modèles linéaires de prédiction d'âge pour chaque espèce (bleu : *Betula pubescens* ; rouge : *B. pendula*). Un déficit de données est notable dans les valeurs à grande circonférence.



ANTHROPISATION EN MARGERIDE : ETUDE SUR 7500 ANS PAR L'ANALYSE POLLINIQUE DE LA TOURBIERE DE BOURGE (PAULHAC-EN-MARGERIDE)

Laurie Dufournet [1], Agathe Guignet [2], Mathis Voisin [3]

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

[1] lauriedufournet@gmail.com, [2] agatheguignet@gmail.com, [3] mathis81.voisin@gmail.com

Encadrement : Serge Muller

Citation : Dufournet L., Guignet A. & Voisin M. (2023). Anthropisation en Margeride : étude sur 7500 ans par l'analyse pollinique de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride). *Orpalm Synthesis*, 16 : 33-46.

Résumé : L'étude pollinique de la tourbière de Bourge (Massif central, France) a été réalisée afin de caractériser l'impact anthropique passé sur la végétation. Les résultats obtenus ont permis de reconstruire la végétation avoisinant la tourbière aux différentes périodes historiques, complétée par l'étude des palynomorphes non-polliniques. Le milieu, initialement boisé, était ouvert de la période romaine jusqu'au Moyen Âge avant de se refermer après la Révolution industrielle. La base de la carotte est datée par le radiocarbone à environ 7500 cal. BP. Les occurrences de microcharbons témoignent des régimes de feux majoritairement d'origine anthropique. La présence des champignons coprophiles correspond aux périodes d'agro-pastoralisme.

Mots clés : palynologie, agro-pastoralisme, marqueurs anthropiques, déboisement, Lozère

Abstract: *Anthropization in Margeride: a 7500 years study using pollen analysis of the Bourge Peatland (Paulhac-en-Margeride).* A pollen study of the Bourge Peatland (Massif Central, France) was conducted in order to assess the anthropogenic impact of the vegetation. The results allowed to reconstruct the surrounding mesophilous vegetation at different historical periods, completed by the study of non-pollen palynomorphs. The initially wooded environment was opened from the Roman period until the Middle Age, before closing up after the Industrial Revolution. The core basis is dated by radiocarbon at around 7500 cal. BP. Occurrences of microcharcoals attest fire regimes that were mainly of anthropogenic origin. The presence of coprophilous fungi corresponds to periods of agro-pastoralism.

Keywords: palynology, agro-pastoralism, anthropogenic indicators, deforestation, Lozère

Le développement des pratiques agro-pastorales et la sédentarisation des populations humaines (début du Néolithique) sont datés en Méditerranée occidentale vers 7500 cal. BP (Malassis, 1996 ; Demoule, 2019 ; Robb, 2020). Les données palynologiques peuvent être utilisées pour reconstituer l'histoire des activités humaines, par l'intermédiaire des marqueurs d'anthropisation (Behre, 1981). Par exemple, l'enregistrement pollinique de céréales (*Cerealia*-type et *Secale*) traduit la présence d'activités agricoles (Triat-Laval, 1982 ; Jalut, 1995 ; Guilaine, 2000 ; Faure, 2012 ; Antolin, 2015) et celui de *Plantago* est indicateur de pâturage (Iversen, 1973 ; Behre, 1981). L'agriculture s'est largement développée au cours de la période romaine (2000-1550 cal. BP), où elle est notamment marquée par *Castanea sativa* et *Juglans regia*,

introduits dans le sud de la France vers 2500 cal. BP (Baron et al., 2005). L'ouverture anthropique des paysages est généralement révélée par la diminution du pollen arborescent et par la présence de microcharbons (Robin et al., 2013). Les reboisements récents de la révolution industrielle (travaux de restauration des terrains de montagne) sont identifiables dans le Massif Central l'apparition de taxons exogènes comme *Picea abies* (Reille, 1987 ; Collignon-Trontin, 2000).

De nombreuses études palynologiques antérieures ont permis de bien comprendre les activités anthropiques passées dans le Massif central. Ces études ont pour la plupart été réalisées dans des tourbières. Ces milieux sont relativement rares en France, où ils couvrent moins de 1% du territoire (Manneville, 2001). Ils sont caractérisés par une humidité constante et sont constitués de matière organique mal ou peu dégradée (tourbe) en raison de l'absence d'oxygène (Moore, 1989 ; Cubizolle 2019). Ces conditions limitent la dégradation du pollen (Reille & Lowe, 1993). Les tourbières contiennent ainsi des fossiles (pollen, microcharbons, particules non-polliniques, etc…) permettant de reconstituer l'histoire paléoenvironnementale et humaine de la zone étudiée (Aaby, 1976 ; Barber, 1993 ; Kylander et al., 2006 ; Castro et al., 2015).

La présente étude a pour objectif d'étudier l'influence des activités humaines sur les paysages environnant la tourbière de Bourge (Margeride, Massif Central). Elle est basée sur l'étude du contenu pollinique d'une carotte de tourbe, qui sera dans un second temps comparé aux enregistrements de palynomorphes non-polliniques (NPP), tels que les microcharbons et les champignons coprophiles, étudiés par Baty et al. (2023).

MATERIELS ET METHODES

1- Zone d'étude

La tourbière de Bourge (44°94'97"N, 03°36'58"E) est située en Margeride, dans le département de la Haute-Lozère (France), à 1215 m d'altitude et à 1,2 km au nord-ouest du village de Paulhac-en-Margeride (Fig. 1). Le climat montagnard (Besqueut, 1953 ; Montard et al., 1983 ; Bornand & Menier, 1989) se caractérise par des hivers longs et froids et des étés frais et humides. La température moyenne est de 8,7°C et les précipitations annuelles moyennes sont de 891 mm/an (station météorologique de Paulhac-en-Margeride, données 1979-2022 ; ID : 48110001). La tourbière est partagée en 2 zones : une zone « ouverte », à dominante herbacée, et l'autre « fermée », à dominante ligneuse. Située sur un versant et alimentée par les eaux de ruissellement, elle est essentiellement soligène et minérotrophe (Verhoeven, 1986 ; Cameron, 1989 ; Flores, 2014 ; Lindsay, 2016) : c'est un *fen* (Muller, 2002). Toutefois, certaines zones restreintes semblent ombrotrophes : elles sont alimentées par l'eau de pluie et comportent des buttes de sphaignes (Daget, 1967).

2- Méthode de terrain

Mesures topographiques

Afin de cartographier la profondeur de la tourbe et le dénivelé du terrain, deux transects de relevés ont été effectués perpendiculairement. Pour mesurer les profondeurs, une tige métallique de 2 m et un GPS ont été utilisés. La tige métallique a été plantée dans la tourbe jusqu'au contact de l'arène granitique, puis mesurée. A chaque point de mesure, les coordonnées ont été relevées à l'aide du GPS (Annexe 1). Ces opérations ont été répétées tous les 5 m d'une extrémité à l'autre de la tourbière.

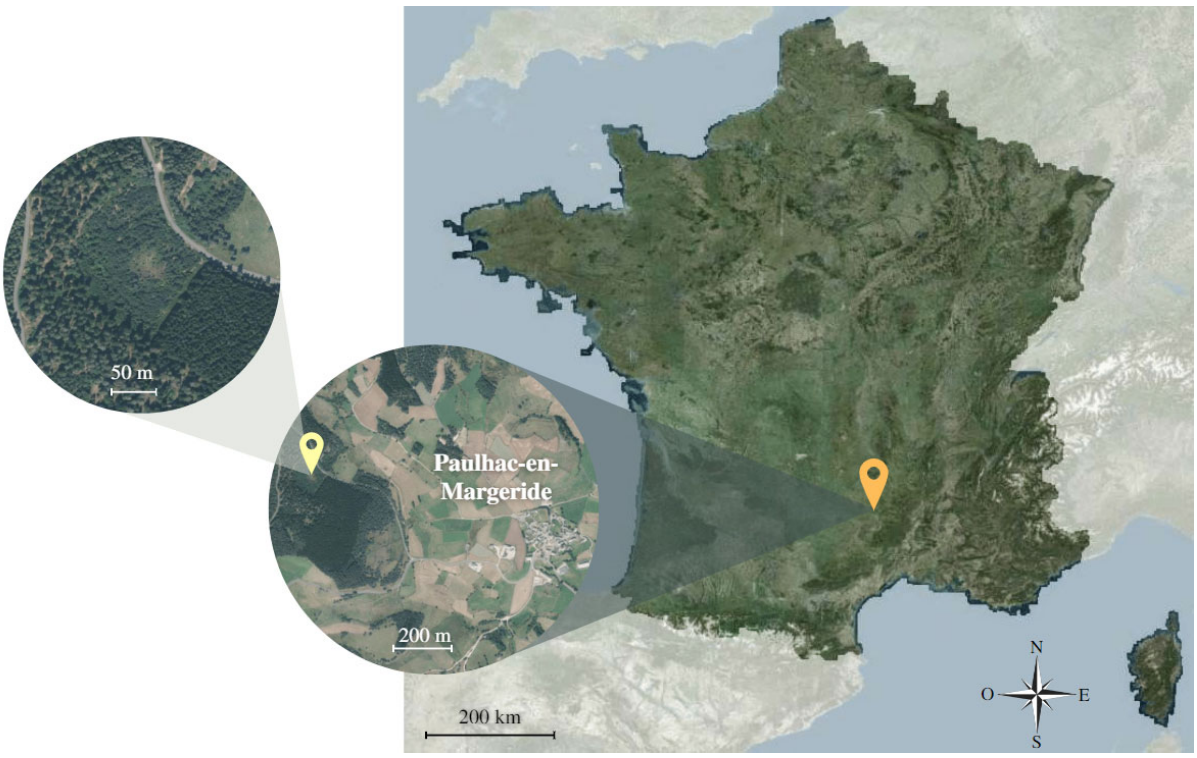


Figure 1. Localisation de la tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride, Haute-Lozère (48) (source : Géoportail).

Carottage
Le carottage Bour1 a été effectué à l'endroit le plus profond de la zone ouverte (120 cm ; 44°56'59,13"N, 03°21'56,21"E) à l'aide d'un carottier russe avec une chambre de 1 m. La carotte prélevée a été transportée et stockée dans des demi-tubes de PVC dans une chambre froide afin qu'elle ne se dégrade pas. Deux carottes ont été réalisées afin de prélever une séquence complète : Bour1.1 (0-100 cm), Bour1.2 (20-120 cm). Un deuxième carottage a été effectué dans la zone fermée de la tourbière (bétulaie) par le deuxième groupe d'étude palynologique (Heim & Lambert, 2023).

Relevé phytosociologique
Un relevé phytosociologique a été réalisé sur la zone de la tourbière ouverte à proximité du lieu de carottage afin d'avoir un aperçu des espèces présentes actuellement et de leur abondance (Muller et al., 2023). La méthode des quadrats fut appliquée jusqu'à atteindre la totalité des espèces du milieu : l'aire minimale ainsi obtenue correspondait à un quadrat de 8 x 8 m. Le pourcentage de recouvrement a été estimé pour les espèces présentes : + : quelques individus, 1 : < 5% ; 2 : 5-25% ; 3 : 25-50% ; 4 : 50-75% ; 5 : 75-100% (Braun-Blanquet, 1932).

3- Méthodes de laboratoire

Traitement chimique
Des échantillons d'environ 1 cm^3 ont été prélevés tous les 16 cm sur la carotte Bour1. Des traitements chimiques ont été réalisés en laboratoire pour extraire le pollen (Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986) : élimination des carbonates à l'acide chlorhydrique (HCl à 20%) à froid ; défloculation de la matière organique à l'aide d'hydroxyde de potassium (KOH à 10%) ; filtration des macrorestes ; élimination de la silice par de l'acide fluorhydrique (HF à 70%) ; élimination des fluosilicates et acidification à chaud réalisée à l'acide chlorhydrique (HCl à 20%) ; élimination de la cellulose par acétolyse à l'anhydride acétique ($C_4H_6O_3$ à 97%) et à l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4 à 96%) à chaud. Les lames ont été montées dans de la glycérine et les lamelles ont été fixées avec de

l'histolaque, avant d'être analysées sous microscope optique pour identifier et compter les grains de pollen.

4- Analyse pollinique

Comptage

Chaque lame pollinique a été comptée par tous les membres du groupe sur des lignes différentes afin d'éviter les doublons (gauche, milieu ou droite de la lamelle). Un minimum de 100 grains de pollen a été compté par personne afin d'obtenir au moins 300 grains de pollen comptés par profondeur. Ceci est considéré comme un échantillon représentatif par Argant (2016). Un total de 15 taxons (9 arborescents, PA ; 6 non arborescents, PNA), dont certains sont marqueurs d'anthropisation ou indicateurs de périodes, ont été définis comme informatifs pour notre étude. Le pollen des Poaceae s.l. comprend deux types : les Poaceae, dont le diamètre est inférieur à 60 µm et *Cerealia*-type, dont le diamètre excède 60 µm. Les grains de pollen trop dégradés ou non étudiés ici ont été notés "indéterminés" et ont été intégrés à la somme pollinique. L'identification a été réalisée à l'aide de la collection de référence de l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM) et des atlas de Reille (1992, 1998).

Calcul des concentrations

La concentration pollinique a été calculée avec la formule suivante :

$$CP = \frac{Vc \times Np \times Lt}{Vg \times Vs \times Lc}$$

Avec CP (grains de pollen/cm³) ; Vc = volume du culot (cm^3) ; Np = nombre de grains de pollen comptés ; Lt = nombre de lignes total observé sur la lamelle (au grossissement x 400) ; Vg = volume de la goutte (25 µl) ; Vs = volume sédimentaire (ml) ; Lc = nombre de lignes comptées.

Diagramme pollinique

Les comptages réalisés sur les lames ont été convertis en pourcentages afin de réaliser un diagramme pollinique à l'aide du logiciel R Studio version 2022.02.1+461.pro1, avec le package "*rioja*" (Juggins, 2009). La fonction *addClustZone* du package précédent a permis de calculer trois clusters d'après le dendrogramme associé au diagramme.

Modèle âge-profondeur

Les caractéristiques communes entre le diagramme pollinique de cette étude et ceux de travaux précédents ont permis d'identifier des événements régionaux dont l'âge est connu (apparition ou essor de taxons polliniques importants). En estimant une accumulation constante de tourbe entre les deux dernières profondeurs datées, il est possible d'estimer l'âge probable de la base de la carotte grâce à la courbe de tendance. Dans le logiciel R Studio, les packages "*stats*" et "*ggplot2*" (Valero-Mora, 2010) ont été nécessaires. Ce modèle sera ensuite comparé au modèle âge-profondeur obtenu par la datation radiocarbone.

RESULTATS

1- Relevés phytosociologiques

La tourbière est dominée par *Calluna vulgaris*, *Molinia caerulea*, *Sphagnum* spp. et *Vaccinium myrtillus* (Muller et al., 2023), associés à *Betula pendula* et *P. pubescens*, qui sont majoritaires dans la strate arborescente. Le relevé réalisé sur le lieu du carottage de Bour1 est similaire au relevé général de la tourbière. La zone ouverte est constituée de buttes de sphaignes recouvertes de *Calluna vulgaris* et de lichen. La topographie et la flore sont caractéristiques d'une tourbière mixte, mêlant des zones minérotrophes et des zones de tourbière bombée à sphaignes (Berghen, 1951).

2- Diagramme pollinique

Le diagramme pollinique de la carotte Bour1 est divisé en 3 zones principales (Fig. 2) :

- La zone 1 (120-90 cm) est largement dominée par le pollen arboréen (PA) : *Betula, Corylus avellana, Fagus sylvatica, Pinus sylvestris*-type, *Quercus* caduc. Elle est marquée par l'apparition

de *Secale cereale* et *Cerealia*-type aux alentours de 100 cm.

- La zone 2 (90-22 cm) est dominée à la base par le PA, qui diminue progressivement au profit du pollen non arborée (PNA) : *Calluna vulgaris, Cerealia*-type, *Plantago* et *Poaceae*. Ce sont surtout *Betula, Corylus avellana* et *Fagus sylvatica* qui déclinent. Plusieurs taxons indicateurs d'anthropisation apparaissent : *Plantago* (80 cm), *Castanea sativa* (65 cm) et *Juglans regia* (50 cm). Les Poaceae et *Cerealia*-type augmentent à 60 cm, et *Calluna vulgaris* à 30 cm (Fig. 2).
- La zone 3 (22-0 cm). Le rapport PA/PNA (environ 60/40%) montre une augmentation progressive du PA. *Abies alba, Betula, Picea abies* et *Pinus sylvestris*-type augmentent progressivement, tandis que les Cichorioideae et *Plantago* disparaissent vers le sommet.

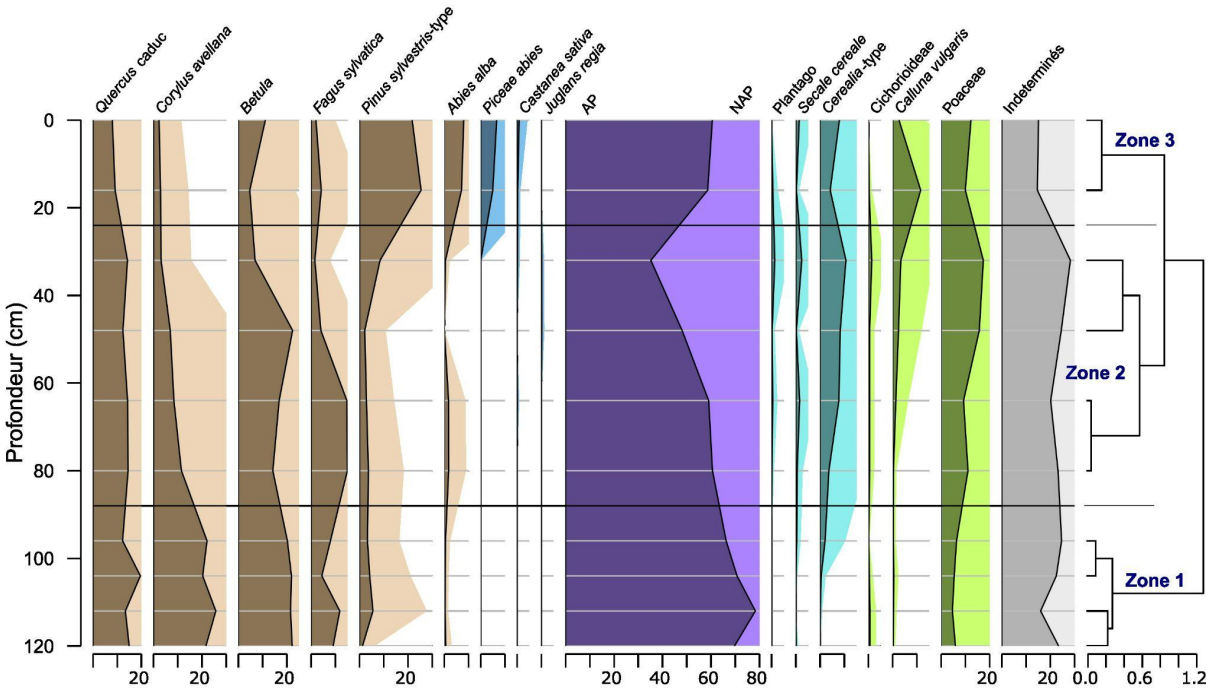


Figure 2. Diagramme pollinique de la carotte Bourge 1 (44°56'59,13"N, 03°21'56,21"E), exprimé en pourcentage. AP : Pollen arboréen ; NAP : Pollen non arboréen. Les taxons indicateurs directs d'activité anthropique sont colorés en bleu. En marron : AP ; en vert : NAP.

DISCUSSION

1- Modèle âge/profondeur

L'âge de certaines profondeurs peut être estimé en fonction de l'apparition de taxons clés. Nous savons que *Castanea sativa* est introduit vers 2500 cal. BP et dispersé en France durant la période romaine (2000-1550 cal. BP ; Table 1) ; sa présence à 72 cm de profondeur indique donc un âge postérieur à 2500 cal. BP. Le reboisement moderne avec *Picea abies,* identifié à 24 cm de profondeur, indique une date estimée autour de 100 cal. BP (Reille, 1987), correspondant à la Révolution Industrielle. Un taux d'accumulation de tourbe constant entre les profondeurs 120 et 24 cm entrainerait un âge basal de la séquence Bour1 vers 4900 cal. BP (Fig. 3A). La date de 7500 cal. BP, obtenue par datation radiocarbone (Fig. 3B), implique donc un taux d'accumulation variable au cours du temps, probablement lié aux processus de compaction et de décomposition.

Table 1. Périodes historiques et taxons marqueurs chronologiques

Chronostratigraphie du Quaternaire	Périodes historiques	Dates (cal. BP)	Taxons marqueurs	Références
Subatlantique (2800 - 0 cal. BP)	Époque contemporaine	150 - 0	100 cal. BP : introduction de *Picea* abies ; reboisement avec *Pinus sylvestris*-type	Reille, 1987, 1988 ; Collignon-Trontin, 2000 ; Baron et al., 2005 ; Celle & Hugonnot, 2011
	Période moderne	450 - 150		Reille, 1987 ; Cubizolle, 2016 ; Dendievel, 2019
	Moyen âge	1500 - 450		Reille, 1987 ; Cubizolle, 2016 ; Dendievel, 2019
	Période romaine	2000 - 1550	Expansion de *Castanea sativa*	Reille, 1987 ; Muller, 2005 ; Bottollier-Curtet & Muller, 2009
	Âge du fer	2750 - 2000	Introduction de *Castanea sativa*	Reille, 1987 ; Reille, 1988 ; Cubizolle, 2016 ; Dendievel, 2019
Subboréal (5500-2800 cal. BP)	Âge du bronze	4000 - 2750		Reille, 1987 ; Cubizolle, 2016 ; Dendievel, 2019
	Néolithique	7500 - 4000		Reille, 1987 ; Argant, 1990 ; Antolin, 2015
Atlantique (9000-5500 cal. BP)				

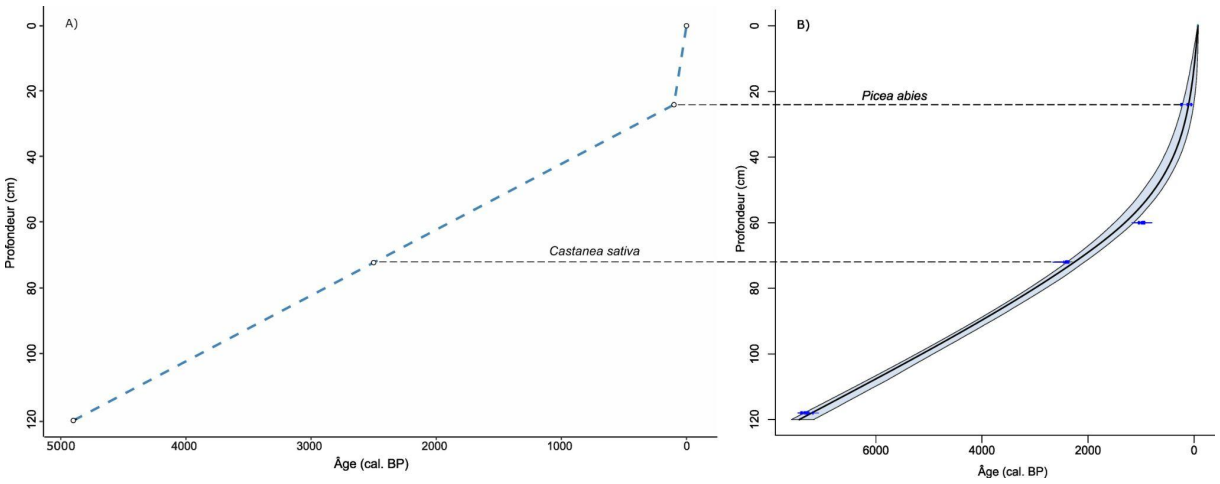


Figure 3. Modèle âge-profondeur de la séquence Bou1. A, estimé par un modèle linéaire de taux d'accumulation de tourbe ; B, basé sur les datations radiocarbones et les corrélations palynostratigraphiques.

2- Histoire de la végétation

A la base de la carotte, le milieu environnant est majoritairement forestier (Fig. 2). Vers 5100 cal. BP (100 cm), une légère augmentation des Poaceae est contemporaine de l'apparition de *Cerealia*-type. Cela pourrait correspondre au début d'un impact humain avec le développement de l'agro-pastoralisme et de l'agriculture céréalière, et la sédentarisation des populations néolithiques (Malassis, 1996 ; Demoule, 2019 ; Robb, 2020 ; Table 1). Cependant, la majorité des taxons présents avant l'apparition de ces marqueurs ne semble pas être modifiée, ce qui suggère un faible impact anthropique.

À partir de 4000 cal. BP (90 cm), la corrélation négative entre les pourcentages polliniques de *Corylus avellana* et ceux des *Cerealia*-type et Poaceae suggère un changement d'usage. La diminution de *Corylus avellana* est négativement corrélée avec l'augmentation de *Fagus sylvatica*. Cette inversion peut s'expliquer par une succession écologique, où *Corylus avellana*, espèce pionnière, est progressivement remplacé par *Fagus sylvatica* (Packham et al., 2012). Bien que *Calluna vulgaris*, *Cerealia*-type et *Plantago* suggèrent la présence d'activités humaines (Table 2), l'environnement immédiat de la tourbière reste majoritairement forestier.

Entre 2300 et 1300 cal. BP (72-60 cm), la diminution du PA, couplée à l'enregistrement de *Cerealia*-type, *Plantago* et *Secale*, suggère une période de déboisement et de développement des activités agro-pastorales à proximité de la tourbière durant l'âge du fer (2750-2000 cal. BP ; Faure, 2012). L'augmentation des pourcentages de *Calluna vulgaris* et des Poaceae, ainsi que la diminution du PA, témoigneraient de l'ouverture du milieu et de l'augmentation du pâturage dès le début de la période romaine (vers 2000-1550 cal. BP ; Table 1). *Castanea sativa* apparaît à 60 cm (environ 1300 cal. BP), ce qui est en accord avec Baron et al. (2005) et Dolez (2018), qui précisent que les populations cultivent le châtaignier et le noyer à partir de la période romaine. Une augmentation des espèces d'arbres cultivées (*Castanea sativa* et *Juglans regia*), ainsi que des taxons liés au pâturage (Pulido Avila, 2006) se remarque par la diminution du PA et l'augmentation du PNA. Cette période est caractérisée par une régression des forêts au profit des taxons liés à l'agro-pastoralisme, changement également mis en évidence dans l'Aubrac autour de 1000 cal. BP (Faure, 2012).

Table 2. Ecologie des taxons et espèces identifiées

Taxons	Écologie	Références
Abies alba	Sciaphile, étage montagnard	Quézel & Médail, 2022
Betula	Héliophile ; pionnier	Diot et al., 2006 ; Reille, 1988
Calluna vulgaris	Héliophile ; pâturage, landes, tourbières	Behre, 1981 ; Rameau et al., 2008
Castanea sativa	Mésophile, espèce introduite et cultivée	Dolez, 2018 ; Rameau et al., 2008
Cerealia-type	*p.p.* cultivé, marqueur d'agro-pastoralisme	Triat-Laval, 1982 ; Reille, 1987 ; Jalut, 1995 ; Puertas, 1997 ; Guilaine, 2000 ; Faure, 2012 ; Antolin, 2015
Corylus avellana	Héliophile, taxon pionnier des forêts caducifoliées	Boulen, 2010
Fagus sylvatica	Sciaphile, étage montagnard	Quézel & Médail, 2022 ; Rameau et al., 2008 ; Packham et al., 2012 ; Millerón et al., 2012
Juglans regia	Mésophile, espèce introduite et cultivée	Dolez, 2018
Plantago	Héliophile, nitrophile, rudéral, marqueur d'agro-pastoralisme	Burrichter, 1969 ; Iversen, 1973 ; Behre, 1981 ; Reille, 1987 ; Bottollier-Curtet & Muller, 2009
Picea abies	Mésophile, étage montagnard, espèce introduite dans le Massif central	Reille 1987 ; Collignon-Trontin, 2000 ; Celle & Hugonnot, 2011
Pinus sylvestris-type	Héliophile, pionnier, étages supra-méditerranéen et montagnard	Daget, 1979 ; Reille & Pons, 1982 ; Diot et al., 2006 ; Quézel & Médail, 2022
Poaceae	Marqueur d'agro-pastoralisme, ouverture du milieu	Faure, 2012 ; Bottollier-Curtet & Muller, 2009
Quercus caduc	Mésophile, étage supra-méditerrannéen	Bottollier-Curtet & Muller, 2009
Secale cereale	Marqueur d'agro-pastoralisme	Faure, 2012

Le pic de *Cerealia*-type, enregistré à la fin du Moyen Âge, vers 400 cal. BP (40 cm ; Table 1), et la diminution des taxons arborescents indiqueraient l'ouverture du milieu pour l'agriculture. À la fin du Moyen Âge, la population européenne s'est mise à exploiter les territoires en sous forme de cultures continues et de pâturages intensifs (Behre, 1981). La fragmentation des milieux naturels qui en a résulté s'est traduite par une domination des plantes herbacées (Baron et al., 2005). Vers 200 cal. BP (30 cm), la diminution du PNA (Fig. 2) traduit à la déprise agricole et pastorale liée à l'exode rural qui marque la révolution industrielle dans la seconde moitié du 19e siècle (Muller, 2005). Le déclin des activités agropastorales s'accompagne de campagnes de reboisements, marquées par l'introduction de *Picea abies* et par l'expansion de *Pinus sylvestris*-type (de Beaulieu, 1987 ; Argan, 1990), qui sont plantés en Lozère à partir d'environ 100 cal. BP (Table 1).

Les pourcentages de *Quercus* caduc restent constants tout au long du profil, ce qui indique son enregistrement pollinique dans la tourbière de Bourge provient d'un transport régional depuis ses populations développées dans le supraméditerranéen.

3- Comparaison avec les palynomorphes non-polliniques (NPP)

Nos résultats sont comparés avec les données de microcharbons et de champignons coprophiles (Baty et al., 2023 ; Fig. 4), dans le but de tenter de comprendre les déterminismes des changements observés. Les activités anthropiques jouent un rôle direct ou indirect important dans les occurrences d'incendies (Robin et al., 2013). Les fortes concentrations enregistrées vers 5100 cal. BP (100 cm) et entre 2300 et 40 cal. BP (72-40 cm) indiquent ainsi très probablement des périodes d'incendies locaux. La période récente est marquée par la diminution de *Corylus avellana* et de *Fagus sylvatica*, qui traduisent l'ouverture du milieu.

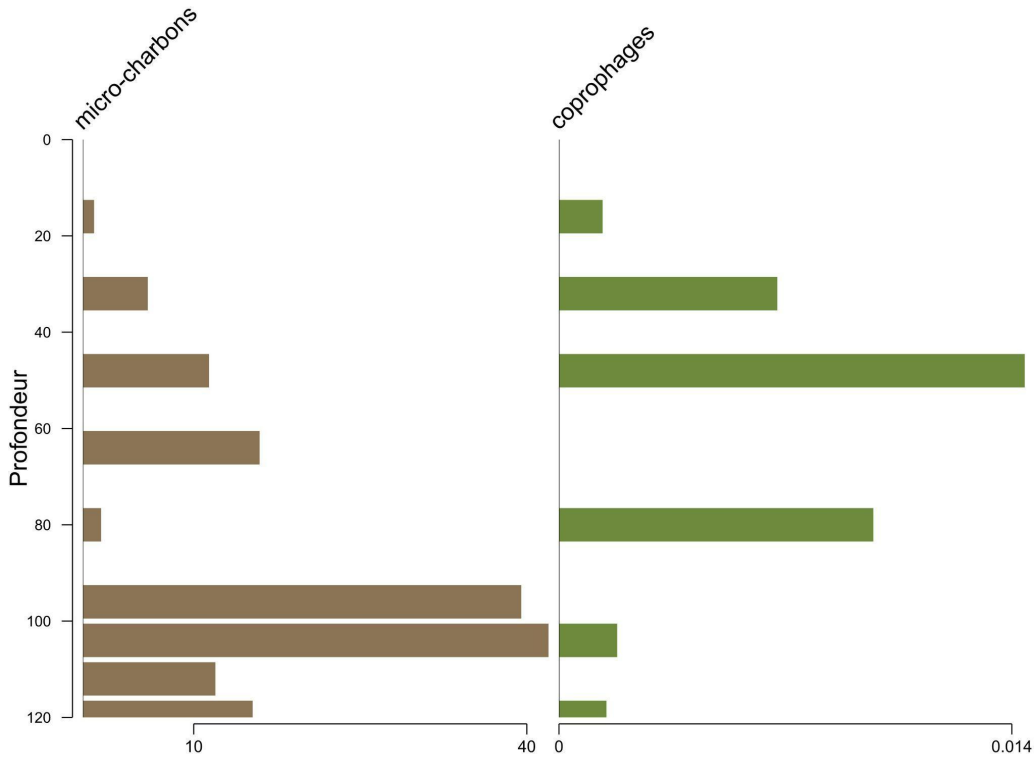


Figure 4. Diagramme en concentration des microcharbons et champignons coprophages (en NPP/cm3) sur Bour1 (d'après Baty et al., 2023).

Les champignons coprophiles, qui consomment la matière fécale, témoignent de la présence de grands herbivores. Leur abondance peut donc indiquer une activité agro-pastorale, souvent liée à la présence de milieux ouverts (Cugny, 2011 ; Van Asperen et al., 2021). Leur abondance coïncide avec les marqueurs de pâturage observés vers 3000 cal. BP (80 cm) et les marqueurs d'agro-pastoralisme vers 400 cal. BP (40 cm) (Figs. 2 et 4).

Conclusion

Cette étude apporte des données préliminaires concernant les activités anthropiques passées autour de la tourbière Bourge à Paulhac-en-Margeride. Le modèle âge-profondeur a permis de proposer une chronologie des changements observés. L'accumulation de la tourbe s'est initiée vers 7500 cal. BP, et l'anthropisation du milieu a commencé au Néolithique par la sédentarisation des populations et les débuts de l'agro-pastoralisme. Le milieu était majoritairement forestier, dominé par le hêtre et le noisetier. Elle s'est poursuivie durant l'Âge du Fer par des déboisements et le développement de l'agriculture (céréales) et des pâturages. Le milieu est resté ouvert jusqu'à la fin du Moyen-Âge. Après la révolution industrielle, marquée par la déprise agricole et des campagnes de reboisement (principalement en résineux), les milieux environnant la tourbière se referment. Les données palynologiques sont en accord avec celles des NPP (Baty et al., 2023). L'analyse des microcharbons a révélé des régimes de feux confirmant l'origine anthropique de l'ouverture du milieu. La présence de champignons coprophiles concorde avec les périodes d'agro-pastoralisme. Bien qu'il puisse y avoir des incertitudes sur l'identification de certains taxons polliniques, les deux indicateurs NPP ainsi que les études palynologiques antérieures concordent avec les données polliniques obtenues.

References

Aaby B. (1976). Cyclic climatic variations in climate over the past 5,500 yr reflected in raised bogs. *Nature*, 263 : 281-284.

Antolín F., Jacomet S., & Buxó R. (2015). The hard knock life. Archaeobotanical data on farming practices during the Neolithic (5400-2300 cal BC) in the NE of the Iberian Peninsula. *Journal of Archaeological Science*, 61 : 90-104.

Argant J. (1990). Climat et environnement au Quaternaire dans le Bassin du Rhône d'après les données palynologiques. *Travaux et Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 111 : 3-199.

Argant J. (2016). *Atelier paysage de la haute gartempe : première opération palynologique sur les tourbières de Masforeau (Commune de Saint-Christophe, Creuse)*. Conseil départemental de la Creuse, Maison départementale des Patrimoines, Guéret, 50 p.

Barber K.E. (1993). Peatlands as scientific archives of past biodiversity. *Biodiversity & Conservation*, 2 : 474-489.

Baron S., Lavoie M., Ploquin A., Carignan J., Pulido M. & de Beaulieu J.-L. (2005). Record of Metal Workshops in Peat Deposits: History and Environmental Impact on the Mont Lozère Massif, France. *Environnemental Science & Technology*, 39 : 5131-5140.

Baty M., Boudet R. & Deppe C. (2023). Reconstruction paléoenvironnementale de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : fonctionnement et dynamiques internes sur 7500 ans, via les palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 16 : 47-63.

Behre K.-E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23 : 225-245.

Berghen C.V. (1951). Note sur la végétation de quelques tourbières de la Margeride méridionale. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique/Bulletin van de Koninklijke Belgische Botanische Vereniging*, 83 : 365-372.

Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams.

In : B.E. Berglund (éd.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 455-484.

Besqueut L. (1953). La Margeride. *Bulletin de la Société botanique de France*, 100 : 21-25.

de Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc National des Cévennes. *Annales du Parc National des Cévennes*, 1 : 101-128.

de Beaulieu J.-L., Pons A. & Reille M. (1985). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Monts d'Aubrac (Massif Central, France). *Review of Palaeobotany and Palynology,* 44 : 37-80.

de Beaulieu J.-L., Pons A. & Reille M. (1987). Histoire de la végétation, du climat et de l'action de l'homme dans le Massif Central français depuis 15 000 ans. *Travaux de la Section scientifique et technique de l'Institut français de Pondichéry*, 25 : 27-32.

Bottollier-Curtet M. & Muller S.D. (2009). Dynamique et contextes passés du développement d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France). *Comptes Rendus Biologies*, 332 : 69-82.

Bornand M. & Menier D. (1989). Approche pédologique du milieu prairial en Margeride. *Agronomie*, 9 : 13-26.

Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology; the study of plant communities*. McGraw-Hill Book Company Inc., London, 439 p.

Cameron C.C., Esterle J.S. & Palmer C.A. (1989). The geology, botany and chemistry of selected peat-forming environments from temperate and tropical latitudes. *International Journal of Coal Geology*, 12 : 105-156.

Castro D., Souto M., Garcia-Rodeja E., Pontevedra-Pombal X. & Fraga M.I. (2015). Climate Change Records between the Midand Late Holocene in a Peat Bog from Serra Do Xistral (SW Europe) Using Plant Macrofossils and Peat Humification Analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 420 : 82-95.

Celle J. & Hugonnot V. (2011). Compte rendu de la mini-session bryologique SBCO en Margeride, 3, 4 et 5 juillet 2009. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest, Nouvelle Série*, 42 : 617-624.

Collignon-Trontin A.-M. (2000). *Étude des variations moléculaires chez l'épicéa commun (*Picea abies *(L.) Karst.) à l'aide de marqueurs RAPD*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré-Nancy 1, 100 p.

Cubizolle H., Latour-Argant C., Delachanal S., Argant J., Dendievel A.-M., Dietre B., Thebaud G. & Galet P. (2016). Développement de l'emprise agro-pastorale et changements hydro-pédologiques à l'Holocène récent : l'exemple de la vallée du ruisseau des barges dans le Massif Central oriental (France). *Quaternaire*, 27 : 91-109.

Cubizolle H. (2019). *Les tourbières et la tourbe*. Lavoisier-Tec and Doc, Paris, 472 p.

Daget P. (1967). *Etude phyto-climatique d'une région de moyenne montagne ; la Margeride*. CNRS, Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis Emberger (CEPE), Montpellier, 186 p.

Demoule J.-P. (2019). *La révolution néolithique dans le monde*. CNRS édition, Paris, 498 p.

Dendievel A.-M., Dietre B., Cubizolle H., Hajdas I., Kofler W., Oberlin C. & Haas J.N. (2019). Holocene paleoecological changes and agro-pastoral impact on the La Narce du Béage mire (Massif Central, France). *The Holocene*, 29 : 992-1010.

Diot M.F., Miras Y. & Pontet A. (2006). Analyse pollinique de l'ancien étang de la villa gallo-romaine des Cars (Corrèze). *Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté*, 799 : 109-121.

Dolez L. (2018). *Évolution des paysages végétaux en Languedoc durant l'Holocène : apport de la palynologie à l'étude des milieux et des agrosystèmes*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, 236 p.

Faure E. (2012). *"Hautes terres" : l'anthropisation des monts d'Aubrac et du Lévezou (Massif Central, France) durant l'Holocène : approche palynologique des*

dynamiques socio-environnementales en moyenne montagne. Thèse de doctorat, Université Toulouse, 311 p.

Flores R.M. (2014). Origin of Coal as Gas Source and Reservoir Rocks. *In :* R.M. Flores (éd.), *Coal and Coalbed Gas*. Elsevier, Amsterdam, pp. 97-165

Guilaine J. (2000). *Premiers paysans du monde, naissance des agricultures*. Errance, Paris, 319 p.

Heim Z. & Lambert A. (2023). Etude palynologique de la portion boisée de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : apports à la compréhension de l'histoire de la végétation locale. *Orpalm Synthesis*, 16 : 63-73.

Iversen, J. (1973). Geology of Denmark III: The Development of Denmark's Nature since the Last Glacial. *Danmarks Geologiske Undersøgelse V. Række*, 7 : 1-126.

Jalut G. (1995). Analyse pollinique de sédiments holocènes de l'étang de Capestang (Hérault). *In :* J. Guilaine (éd.), *Temps et espace dans le bassin de l'Aude du Néolithique à l'âge du Fer.* Centre d'Archéologie, Toulouse, pp. 293-303.

Juggins S. (2009). Rioja: an R package for the analysis of quaternary science data. Version 0.5-3.

Kylander M.E., Weiss D.J., Varela E.P., Rodriguez T.T. & Cortizas A.M. (2006). Archiving natural and anthropogenic lead deposition in peatlands. *Developments in Earth Surface Processes*, 9 : 479-497.

Lindsay R. (2016). Peatland (Mire Types): Based on Origin and Behavior of Water, Peat Genesis, Landscape Position, and Climate. *In :* C.M. Finlayson, G.R. Milton, R.C. Prentice & N.C. Davidson (éds.), *The Wetland Book: II, Distribution, Description and Conservation*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1-23.

Malassis L. (1996). Les trois âges de l'alimentaire. *Agroalimentaria*, 2 : 1-5.

Manneville O. (2001). La diversité des tourbières en France et leur prise en compte dans les politiques de conservation. *Outils pour la conservation de la biodiversité dans les domaines némoral et boréonémoral européen, Naconex*, 35.

Millerón M., López de Heredia U., Lorenzo Z., Perea R., Dounavi A., Alonso J., Gil L. & Nanos N. (2012). Effect of canopy closure on pollen dispersal in a wind-pollinated species (*Fagus sylvatica* L.). *Plant Ecology*, 213 : 1715-1728.

Montard F.X., Daget P. & Poissonnet J. (1983). Eléments sur les climats, les sols et les types de végétation. *ln : La Margeride : la Montagne et les Hommes*. INRA, Paris, pp. 429-438.

Moore P.D. (1989). The ecology of peatforming processes: a review. *International Journal of Coal Geology*, 12 : 89-103.

Muller S.D. (2002). Influence de la végétation sur l'accumulation de la tourbe au Québec méridional. *Comptes Rendus Biologies*, 325 : 629-640.

Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.

Muller S.D., Montade V. & Terral J.-F. (2023). La tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride (Lozère). *Orpalm Synthesis*, 16 : 9-16.

Packham J.R., Thomas P.A., Atkinson M.D. & Degen T. (2012). Biological Flora of the British Isles: *Fagus sylvatica*. *Journal of Ecology*, 100 : 1557-1608.

Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, 308 p.

Quézel P. & Médail F. (2003). Que faut-il entendre par "forêts méditerranéennes" ? *Forêt Méditerranéenne*, 24 : 11-31.

Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G. & Gauberville C. (2008). *Flore forestière française - Tome 3 : région méditerranéenne.* Institut pour le développement forestier, Paris, 2432 p.

Reille M. & Pons A. (1982). L'histoire récente de *Pinus sylvestris* L. en Margeride (Massif Central, France) et la signification de cette essence dans la végétation actuelle. *Compte*

Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 294 : 471-474.

Reille M. (1987). L'histoire de la végétation de Margeride (Massif Central, France) depuis quelque cent siècles, révélée par l'analyse pollinique de la tourbière de la Fouon de la Bique. *Revue du Gévaudan, des Causses et des Cévennes*, 1 : 17-25.

Reille M. (1992-1998). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, 543p., 530 p.

Reille M. & Lowe J.J. (1993). A re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the last glacial to the present. *Quaternary Science Reviews*, 12 : 47-77.

Robb J. (2020). Art (pre) history: ritual, narrative and visual culture in Neolithic and Bronze Age Europe. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 27 : 454-480.

Robin V., Knapp H., Rickert B.H., Talon B. & Nelle O. (2013). Comparaison de signaux anthracologiques Holocènes issus de différents types d'archives en Allemagne : vers une reconstitution plus précise de l'histoire des incendies ? *Quaternaire*, 24 : 167-177.

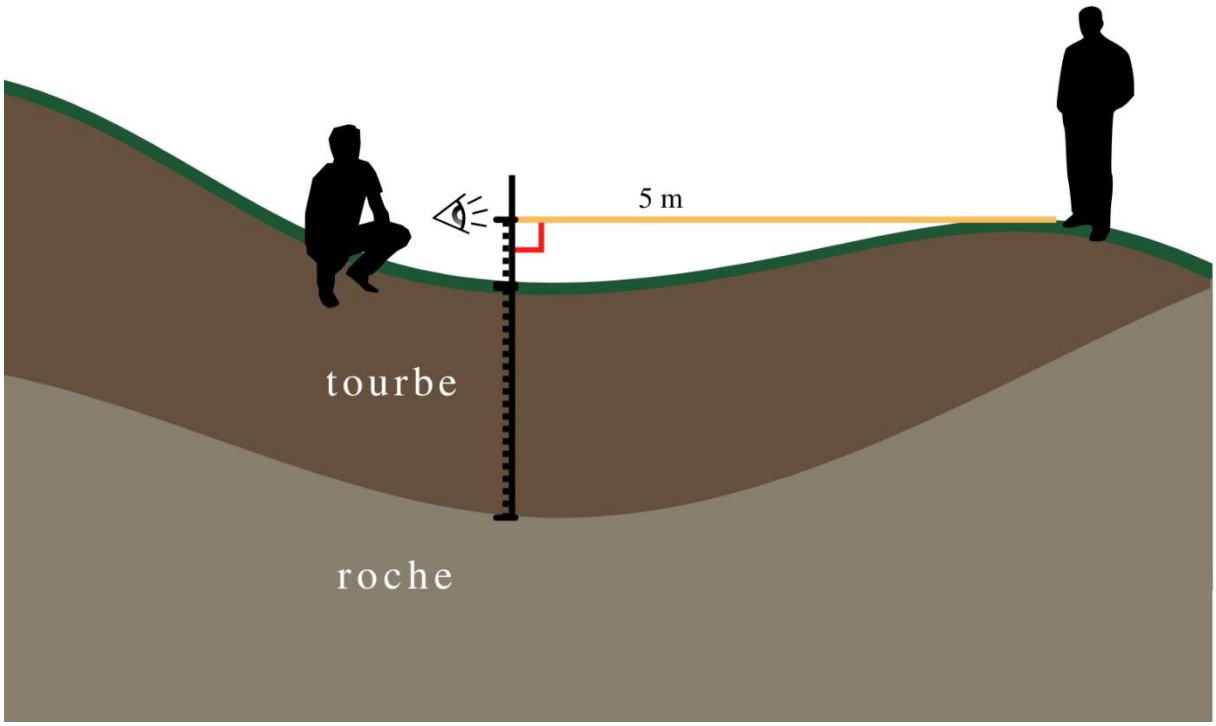
Triat-Laval H. (1982). Pollenanalyse de sédiments quaternaires récents du pourtour de l'étang de Berre. *Ecologia Mediterranea*, 8 : 97-115.

Valero-Mora P.M. (2010). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 35 : 1-3.

Van Asperen E.N., Perrotti A. & Baker A. (2021). Coprophilous fungal spores: non-pollen palynomorphs for the study of past megaherbivores. *Geological society*, 511 : 245-267.

Verhoeven J.T.A. (1986). Nutrient dynamics in minerotrophic peat mires. *Aquatic Botany*, 25 : 117-137.

ANNEXE 1. Méthode employée pour la mesure de la topographie



a

RECONSTRUCTION PALEOENVIRONNEMENTALE DE LA TOURBIERE DE BOURGE (PAULHAC-EN-MARGERIDE, LOZERE) : FONCTIONNEMENT ET DYNAMIQUES INTERNES SUR 7500 ANS, VIA LES PALYNOMORPHES NON POLLINIQUES

Baty Maéla [1], Boudet Rayan [2], Deppe Corentin [3]

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

[1] maela.baty@gmail.com, [2] rayan.boudet24@gmail.com, [3] corentindeppe@gmail.com

Encadrement : Vincent Montade

Citation : Baty M., Boudet R. & Deppe C. (2023). Reconstruction paléoenvironnementale de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : fonctionnement et dynamiques internes sur 7500 ans, via les palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 16 : 47-61.

Résumé : La tourbière de Bourge (Massif-Central) a été étudiée dans le but de reconstruire sa dynamique paléoenvironnementale et les activités anthropiques passées. Les palynomorphes non polliniques (champignons coprophiles, microcharbons…) ont été analysés sur 2 carottes de tourbe de 120 et 140 cm, respectivement. Les résultats, comparés dans un second temps aux données polliniques acquises par d'autres groupes, ont permis de reconstituer l'histoire de la tourbière depuis sa formation, il y a 7500 ans. Initialement fermée, elle se serait ouverte entre 3000 et 700 cal. BP en raison de l'exploitation agropastorale de la zone, avant de se refermer suite à la déprise anthropique du début du 20e siècle.

Mots clés : champignons coprophiles, écobuage, agropastoralisme, microcharbons, déprise anthropique

Abstract: *Paleoenvironmental reconstruction of Bourge Peatland (Paulhac-en-Margeride, Lozère): functioning and internal dynamics over 6000 years, based on non-pollen palynomorphs*. The Bourge Peatland has been studied in order to reconstruct its paleoenvironmental dynamics and the past human activities. The non-pollen palynomorphs (coprophilous fungi, microcharcoals…) were analysed in 2 peat cores, of 120 and 140 cm length, respectively. The results, compared in a second time to pollen data, allowed to reconstruct the peatland history since its onset, 7500 years ago. Initially closed, it would be opened between 3000 and 700 cal. BP as a result of the agropastoral exploitation of the area, before closing again after the agropastoral decline of the early 20th century.

Keywords: coprophilous fungi, burning, agropastoralism, microcharcoal, anthropogenic decline

Les tourbières sont des écosystèmes formés par la dégradation partielle de débris végétaux (souvent des sphaignes ou des Cyperaceae) dans un milieu gorgé d'eau (Küttim et al., 2018 ; Bouzillé et al., 2014). L'eau qui engorge le substrat entraîne une anoxie réduisant l'activité des organismes décomposeurs

(Manneville, 2006 ; Cubizolle, 2019). La matière organique s'accumule par conséquent sous forme de tourbe. Les tourbières sont des écosystèmes fragiles, qui abritent une biodiversité inféodée, comprenant des plantes comme le rossolis (*Drosera rotundifolia*) et des animaux comme le lézard vivipare (*Zootoca vivipara*) (Bain et al., 2011). Elles constituent des puits de carbone importants stockant le CO_2 atmosphérique sur le long terme (Harriss et al., 1985). Elles servent aussi en tant que réservoir d'eau douce durable autant pour les milieux naturels en aval que pour les usages anthropiques (Buschmann et al., 2020). Enfin, l'accumulation et la conservation de la tourbe sur le long terme font des tourbières des archives paléoécologiques précieuses : elles permettent en effet de reconstituer les paléoenvironnements holocènes (Barber, 1993 ; Kylander et al., 2006).

En France, les tourbières recouvrent environ 1% du territoire et sont cantonnées majoritairement aux régions montagneuses. L'un des plus grands réservoirs à tourbières est le Massif Central qui, par sa topographie et son climat froid et pluvieux, possède les conditions idéales pour leur maintien. Une partie de ses tourbières se sont formées durant l'Holocène, après la fonte des glaciers qui recouvraient le massif durant le Pléistocène (Cubizolle et al., 2012). Celles-ci sont généralement acides, dominées par des sphaignes et des Cyperaceae, et alimentées par les précipitations (ombrotrophes) et la fonte des neiges (minérotrophes). Avec l'arrivée des premières sociétés agro-pastorales sur le territoire au Néolithique (8000-7000 cal. BP) (Miras, 2004), le massif évolue avec l'apparition de pâtures et de champs. Cette anthropisation est aussi à l'origine de l'apparition de nouvelles tourbières sur le massif, généralement de taille modeste et alimentées par des cours d'eau ou des nappes phréatiques (minérotrophes) souvent liés à un ouvrage bloquant l'écoulement de l'eau (Cubizolle et al., 2012). L'arrivée de nouveaux peuples au cours de l'Antiquité et du Moyen Âge (Miras, 2004) et l'augmentation du nombre d'habitants dans les campagnes transforme le paysage. La révolution industrielle (1860-1930 cal. AD) augmente l'urbanisation, entraînant un exode rural et une forte déprise agro-pastorale. Le réchauffement climatique actuel marque le dernier grand changement impactant la région, les tourbières étant particulièrement menacées (Ise et al., 2008).

Le présent travail est basé sur l'étude des palynomorphes non polliniques (NPPs) et des microcharbons. Les NPPs peuvent en particulier apporter des informations sur les activités anthropiques. Contrairement au pollen, ils sont généralement peu dispersés et représentent de bons indicateurs locaux (Gauthier & Jouffroy-Bapicot, 2021). Une attention particulière a été consacrée aux champignons coprophiles, qui renseignent sur la présence de grands herbivores et par voie de conséquences sur le pâturage passé (Van Asperen et al., 2021). Les charbons de bois sont des débris végétaux ayant subi une pyrolyse, qui sont produits lors de combustions entre 280 et 500°C (Genet, 2022), c'est-à-dire le stade avant la formation de cendres. Il s'agit d'une combustion incomplète d'un matériel végétal. Les microcharbons représentent de bons indicateurs de la présence et de l'intensité des incendies (Robin et al., 2013).

L'objectif de cette étude est de répondre aux questions suivantes : (1) Quelle a été l'évolution de la tourbière ? (2) La tourbière a-t-elle subi un impact anthropique comme le reste de la région ? (3) Les cas échéant, quels types de perturbations a-t-elle subi ?

MATERIEL ET METHODE

1- Zone d'étude

La tourbière de Bourge se situe en Lozère, près du village de Paulhac-en-Margeride, dans le bassin versant du ruisseau d'Auzenc (Fig. 1). La région est soumise aux influences climatiques montagnardes et méditerranéennes (Martin et al., 2003). Les précipitations moyennes annuelles, de 922 mm, sont régulières sur l'année. La température moyenne annuelle s'élève à 7,9°C, avec 12,3°C en été et 3,4°C en hiver (Annexe 1). La tourbière se trouve à 1 km à

l'ouest du village sur le versant est de la montagne la plus haute de la commune, le Truc de Viala (1325 m d'altitude). La zone d'étude se situe en contrebas à une altitude d'environ 1220 m. Elle est entourée de hêtraies-sapinières (*Abies alba*, *Fagus sylvatica*), de pessières, de champs et de pâtures pour le bétail. Les observations sur site, confirmées par images satellites, permettent de différencier, au sein de la tourbière, une zone ouverte et une zone fermée (Fig. 1). Les relevés phytosociologiques réalisés dans ces zones ont rendu compte d'une dominance des plantes herbacées dans la zone ouverte (Muller et al., 2023), composée de *Molinia caerulea*, *Eriophorum vaginatum* et de différentes espèces de sphaignes, caractérisant une tourbière haute à molinie bleue. Dans la zone fermée, la dominance de *Betula pubescens* permet d'identifier une bétulaie tourbeuse.

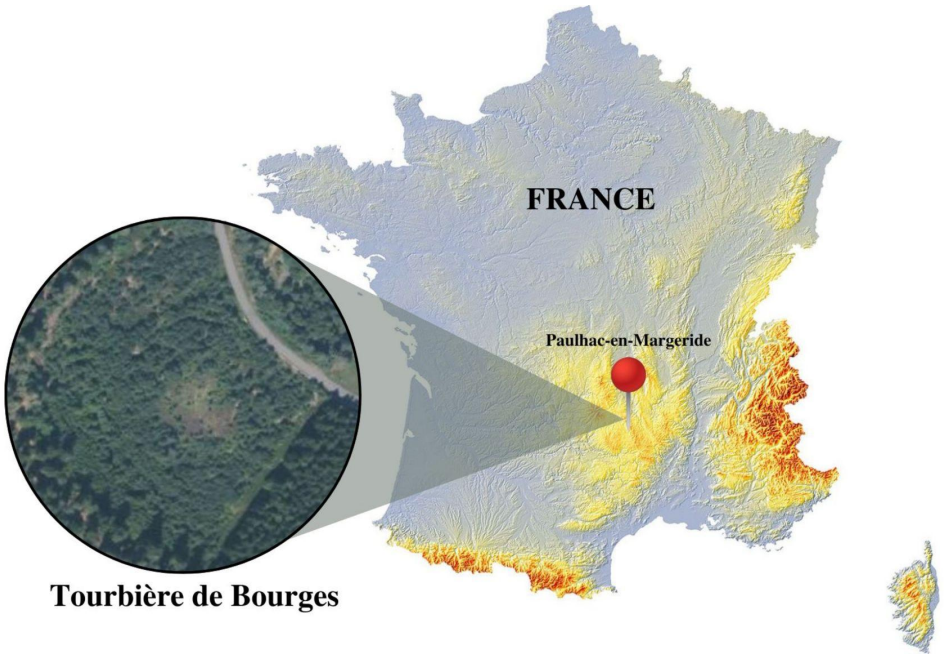


Figure 1. Localisation de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère, France)

2- Transects et carottages

Deux transects traversant la tourbière en largeur et en longueur ont été réalisés, dans le but de reconstituer la topographie de la tourbière et de mesurer les profondeurs de tourbe. Ces informations ont permis de sélectionner les zones les plus profondes pour l'emplacement des carottages. Des relevés phytosociologiques ont été effectués autour des carottages, en attribuant des valeurs d'abondance-dominance aux espèces identifiées (indice de 1 à 5 ; Braun-Blanquet, 1932), sur une aire minimale (Romdhane et al., 2007). Les carottages ont été effectués à l'aide d'un carottier russe sur les emplacements les plus profonds des zones ouverte et fermée. Les carottages ont permis d'extraire 120 cm de tourbe (carotte B1, zone ouverte) et 140 cm (carotte B2, zone boisée).

3- Traitement en laboratoire

Échantillonnage des carottes et traitement chimique

Les carottes sédimentaires ont été sous-échantillonnées au laboratoire de Palynologie de l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM). 1 cm^3 de tourbe a été prélevé tous les 8 cm en partant du sommet de chaque séquence sédimentaire. Le volume prélevé a été mesuré par déplacement d'eau, dans une éprouvette graduée. Les échantillons obtenus ont subi des traitements chimiques

afin d'éliminer le maximum de matière et de concentrer les pollens et les NPPs. Ces traitements comprennent 5 étapes principales :

1. HCl (20% à froid) pour éliminer les carbonates
2. KOH (10% à chaud) pour défloculer la matière organique (séparation des agrégats)
3. FH (70%) pour éliminer la silice
4. HCl (20% à chaud) pour éliminer des fluosilicates et acidifier le mélange
5. Acétolyse (anhydride acétique 97% et acide sulfurique 96% à chaud) pour éliminer la cellulose (Ogden III, 1986)

Enfin, 25 µl de culot ont été montés entre lame et lamelle, lutées avec de l'histolaque.

Comptages au microscope optique

Les comptages ont été effectués au grossissement x400. Le nombre de lignes total sur les lamelles est de 45. L'utilité de compter 10 lignes, pour la significativité de l'étude, a été démontrée grâce à une courbe d'accumulation pour les microcharbons. L'intervalle entre chaque ligne comptée était de 2 mm.

Microcharbons. Les microcharbons ont été classés en 3 catégories de taille, mesurées à l'aide du réticule de l'oculaire du microscope : petits (10-20 µ), moyens (20-40 µ) et grands (>40 µ). Les microcharbons inférieurs à 10 µ n'ont pas été considérés dans le comptage, leur trop petite taille ne permettant pas une bonne identification et leur caractère volatil n'en faisant pas de bons indicateurs de feux locaux (Robin et al., 2013). La concentration en microcharbons a été calculée grâce à la formule suivante :

$$\frac{(Nb\ total\ microcharbons * Nb\ lignes\ totales * Volume\ culot)}{(Nb\ lignes\ comptées * 0{,}025 * Volume\ total)}$$

La concentration en microcharbons a été calculée à partir de la surface couverte sur la lame ($\mu m^2/cm^3$, convertis en m m^2/cm^3).

Palynomorphes non polliniques (NPPs). Une première phase d'observation des lames a permis d'identifier les taxons prédominants. L'identification et le comptage des NPPs ont été effectués sur la base de la liste suivante : Agaricales (TM-4008), Améroascospores (TM-382, TM-391), Amérospores (TM-108, HdV-733), *Bispora antennata* (TM-4097), Chela d'*Alona rustica*, *Clasterosporium caricinum* (HdV-126), Coniochaetaceae, *Delitschia* (TM-006), Didymoascospores (HdV-18), *Gelasinospora* (HdV-1), *Glomus* (HdV-207), *Geoglossum sphagnophilum* (HdV-77a), *Pediastrum,* Perforations scalariformes d'*Alnus/Betula*, Radicelles de *Carex*, Rotifera, Spermatophore de Copepoda, *Sporormiella* (HdV-113), *Stropharia*, Zygnemataceae (HdV-954) (Cugny, 2011 ; Gauthier & Jouffroy-Bapicot, 2021).

Les NPPs ont été classés en groupes distincts d'indicateurs (Table 1). Les autres taxons ont été considérés individuellement. Les comptages ont été réalisés par trois observateurs. Chacun a compté au moins une ligne par lame. Le nombre de lignes a été doublé lorsque les NPPs comptés étaient inférieurs à 30.

4- Traitements numériques

Les diagrammes de concentration et de pourcentage de présence des NPP ont été construits à l'aide du logiciel R, et les diagrammes polliniques à l'aide du logiciel *Rstudio* 4.2.1, package "rioja". Les clusters ont été calculés pour zoner les diagrammes en fonction de la distance euclidienne, à l'aide du programme CONISS (Grimm, 1987).

Table 1. Taxons palynomorphes classés en groupes indicateurs

Groupes indicateurs	Taxons
Coprophiles	Agaricales (TM-4008) Amérospores (HdV-733) Amérospores (TM-108) Coniochaetaceae *Delitschia* (TM-006) *Sporormiella* (HdV-113)
Milieux ouverts	*Clasterosporium caricinum* (HdV-126) *Geoglossum sphagnophilum* (HdV-77a) Radicelles de *Carex* *Stropharia*
Milieux fermés	*Bispora antennata* (TM-4097) *Glomus* (Hdv-207)
Milieux argileux	Améroascospores (TM-382) Améroascospores (TM-391)
Milieux lacustres	*Pediastrum*

RESULTATS

1- Charbons

Les petits microcharbons dominent dans les deux carottes où ils représentent en moyenne 50-65% des microcharbons de la carotte, contre 30-35% de moyens et moins de 8-15% de grands (Fig. 2a ; Annexe 2). La concentration en microcharbons diffère entre les 2 carottes. Cependant, les concentrations sont importantes à la base des deux carottes. Les valeurs les plus élevées (> 40 mm^2/cm^3) pour B1 sont enregistrées aux profondeurs 96-97 et 104-105 cm (Fig. 2a), et pour B2 (> 100 mm^2/cm^3) à 104-105 et 112-113 cm (Fig. 2b). Les valeurs de concentration des pics de la carotte B2 sont plus de deux fois supérieures à celles de la carotte B1 (Fig. 2). Sur cette dernière, la concentration élevée à la base diminue fortement jusqu'à 80 cm (< 3 mm^2/cm^3) pour augmenter jusqu'à 65 cm, et régresser enfin jusqu'au sommet de la carotte (Fig. 2a). La tendance est différente sur la carotte B2 : la concentration atteint un pic à 112 cm, puis diminue drastiquement jusqu'à 94 cm. À partir de cette profondeur, la concentration n'excède pas 10 mm^2/cm^3 jusqu'au sommet de la carotte.

Des calculs d'influx ont été réalisés à partir des valeurs de concentration pour supprimer le biais lié au taux d'accumulation. L'influx de B1 montre des valeurs plus basses à la base de la carotte. L'influx de B2 possède une courbe similaire à la concentration des microcharbons (Annexe 3).
Des macrocharbons à 63-64 cm de profondeur dans la carotte B2 ont été identifiés par Isabel Figueiral (INRAP, ISEM) comme appartenant à *Fagus sylvatica*.

2- Palynomorphes non polliniques

Carotte B1
Deux zones ont été définies (Fig. 3a) :
Zone 1 (120-65 cm ; 7440-1670 cal. BP). La zone 1 est caractérisée par de fortes concentrations (> 5000 individus/cm^3) en restes d'invertébrés et perforations scalariformes associés à des Coniochaetaceae et à des Améroascospores (TM-382). La zone 1 est également caractérisée par des occurrences de *Clasterosporium caricinum* (HdV-126), *Sporormiella* (HdV-113), *Delitschia* (TM-006) et *Geoglossum sphagnophilum* (HdV-77a).

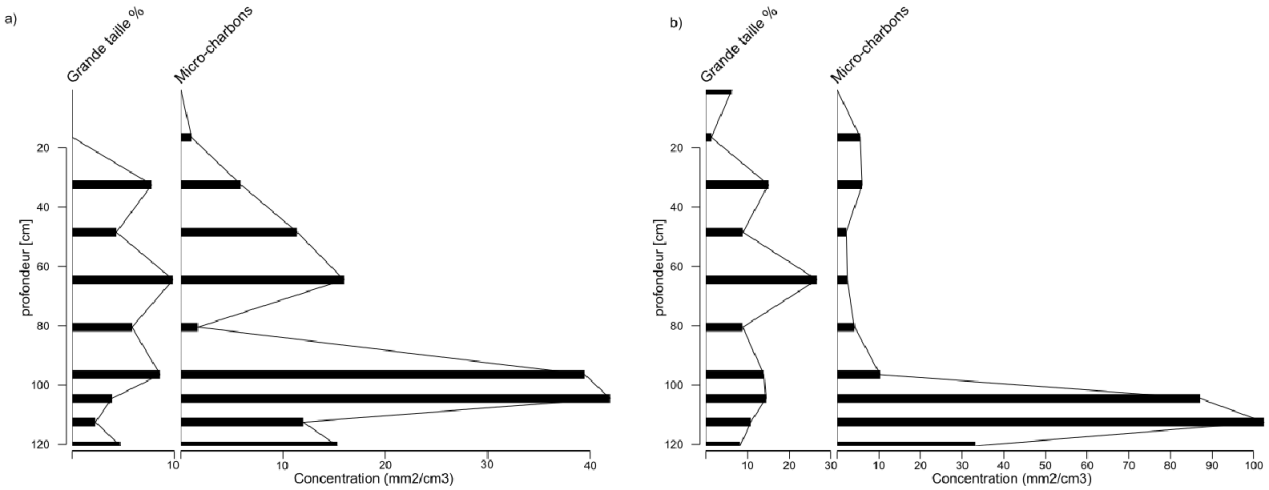


Figure 2. Proportion de grands charbons (> 40 µ) et concentration de microcharbons dans les carottes B1 (a) et B2 (b).

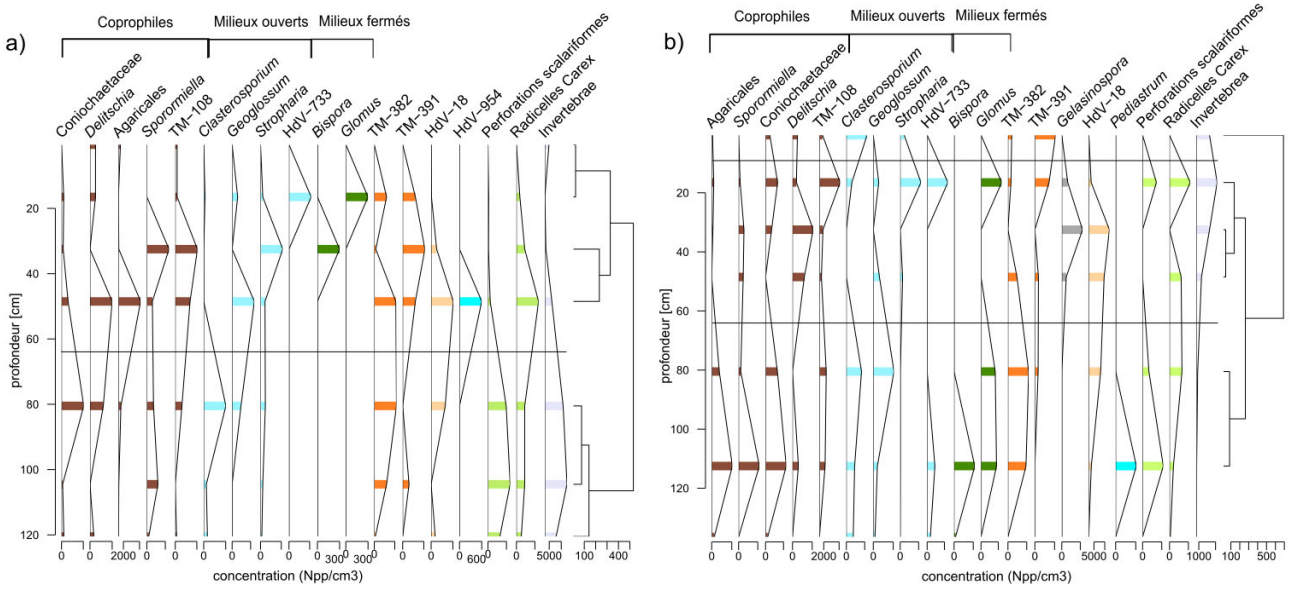


Figure 3. Diagrammes en concentration des palynomorphes non polliniques des carottes B1 (a) et B2 (b). Clé couleur : marron = coprophiles ; bleu clair = indicateurs milieu ouvert ; vert foncé = indicateurs milieu fermé ; orange = indicateurs milieu argileux ; turquoise = algues ; vert clair = restes végétaux ; gris = restes invertébrés.

Zone 2 (65-0 cm : 1670-0 cal. BP). La zone 2 est caractérisée par une concentration élevée de taxons coprophiles : Agaricales (TM-4008), *Delitschia* (TM-006), *Sporormiella* (HdV-113), Amérospores (TM-108), associés à des Améroascospores (TM-391, TM-382). Elle est également caractérisée par la présence de *Stropharia* (> 2000 individus/cm^3), *Geoglossum sphagnophilum* (HdV-77a), Amérospores (HdV-733), Zygnemataceae (HdV-954) et radicelles de *Carex*.

Bispora antennata (TM-4097) et *Glomus* (HdV-207) sont présents uniquement dans cette zone.

Carotte B2
Trois zones ont été définies (Fig. 3b) :

Zone 1 (140-65 cm ; 820-420 cal. BP). La zone 1 est marquée par la présence d'Agaricales (TM-4008), *Bispora antennata* (TM-4097) et *Pediastrum*, que l'on trouve uniquement dans cette zone de la carotte. Elle est aussi caractérisée par des occurrences de *Sporormiella* (HdV-113), Coniochaetaceae, *Clasterosporium caricinum* (HdV-126), *Geoglossum sphagnophilum* (HdV-77a), *Glomus* (HdV-207), Améroascospores (TM-382) et perforations scalariformes.

Zone 2 (65-10 cm ; 420 cal. BP-fin du 20e siècle). La zone 2 présente de fortes concentrations de Didymoascospores (HdV-18) (> 5000/cm^3), *Delitschia* (TM-006) et restes d'invertébrés. On note l'apparition de *Stropharia* et *Gelasinospora* (HdV-1), présents seulement dans cette zone, ainsi que des occurrences de radicelles de *Carex*, Coniochaetaceae, *Geoglossum sphagnophilum* (HdV-77a), Amérospores (TM-108) et Améroascospores (TM-382).

Zone 3 (10-0 cm ; fin du 20e siècle-aujourd'hui). La zone 3, couvrant probablement seulement les dernières décennies, est caractérisée par de grandes concentrations de *Clasterosporium caricinum* (HdV-126), d'Améroascospores (TM-391) et de restes d'invertébrés, associés à des Coniochaetaceae, Amérospores (TM-108), *Delitschia* (TM-006), *Stropharia* et Améroascospores (TM-382) en concentrations plus faibles.

DISCUSSION

1- Reconstitution paléoenvironnementale des derniers 5000-6000 ans

Âge des profils de tourbe et taux d'accumulation
Des datations ^{14}C, réalisées sur les 2 carottes au *Poznan Radiocarbon Laboratory*, ont permis de dater les carottes B1 à 7440 cal. BP et B2 à 820 cal. BP (Muller et al., 2023). Ces deux âges correspondent respectivement au Néolithique, caractérisé par la sédentarisation de populations agro-pastorales (Vaquer & Gandelin, 2014), et à la seconde moitié du Moyen Âge, caractérisée par une forte augmentation démographique et des avancées technologiques majeures. Sur la carotte B1, le taux d'accumulation est d'environ 0,01 cm/an entre 120 et 60 cm, et de 0,08 cm/an au-dessus de 60 cm de profondeur. Sur la carotte B2, le taux d'accumulation est d'environ 0,16 cm/an sur l'ensemble de la carotte.

Régimes passés des incendies
Les échelles de temps entre les deux sites sont très différentes. Il est donc difficile de faire une comparaison. Les calculs d'influx ont permis de supprimer le biais lié au taux d'accumulation, qui entraînait une plus forte concentration à la base. La présence de populations humaines est attestée en Margeride depuis le Paléolithique moyen, et sur la commune depuis le Néolithique moyen (Philibert, 1986). La pratique du brûlis et de l'écobuage était alors très répandue (Vannière & Martineau, 2005), ce qui suggère l'occurrence probable des feux d'origine anthropique à partir de 5000-6000 cal. BP, et peut-être même dès la base de la carotte B1, datée vers 7500 cal. BP. Une faible abondance de microcharbons est enregistrée à 3000 cal. BP, ce qui contraste avec le reste de la carotte. Il est difficile de l'expliquer, mais cela pourrait traduire un arrêt des feux autour de la tourbière à cette période, pouvant coïncider avec l'ouverture du milieu mis en évidence par Dufournet et al. (2023).

Les résultats obtenus sur la carotte B2 montrent de plus fortes concentrations de microcharbons à la base. Le pic à 700 cal. BP laisse penser à un événement important de feux de forêt à proximité de la zone d'étude. Cette période correspond au Moyen Âge féodal, où les forêts étaient fortement exploitées, notamment par la pratique de l'essartage, répandue au 13e siècle (Goepp, 2007). En comparant nos résultats avec ceux de Heim & Lambert (2023), il est possible d'observer, à la suite du pic, une augmentation du pourcentage de taxons herbacés, indiquant potentiellement une ouverture du milieu, peut-être liée à des défrichements. Les feux semblent s'atténuer à

partir de 600 cal. BP. Il est possible d'envisager de potentielles interventions sur la tourbière, traduites par des microcharbons de taille plus importante, indicateurs d'événements de feu locaux (Robin et al., 2013). Des macrocharbons, datés à 960 cal. BP, ont été retrouvés dans B2, à 103-104 cm de profondeur. Ces charbons, antérieurs à l'accumulation de la tourbe, ont pu être amenés au cours du 13e siècle, à la suite de feux éliminant la végétation arborée et permettant l'érosion des sols en amont de la tourbière.

Evolution et dynamique d'ouverture/fermeture de la tourbière

La concentration en perforations scalariformes *d'Alnus/Betula*, plus importante à la base de la carotte B1, suggère un milieu anciennement boisé (7440-2960 cal. BP). A partir de 2960 cal. BP, cette concentration diminue fortement, tandis que les NPPs indicateurs de milieux ouverts augmentent. Les NPPs indicateurs de tourbière à sphaignes (*Geoglossum*, *Stropharia*), ainsi que les radicelles de *Carex*, herbacées de tourbières ouvertes, semblent corroborer cette hypothèse.

Les résultats obtenus sur la carotte B2 ne permettent pas une interprétation aussi claire, mais plusieurs tendances similaires sont observables. La concentration en perforations scalariformes suggère l'existence d'une bétulaie de 800 à 510 cal. BP. La réduction de cette concentration et l'augmentation des radicelles de *Carex* indique ensuite une ouverture du milieu de 310 à 70 cal BP. La zone B2 serait restée une zone ouverte jusqu'à récemment, puisqu'aux alentours de 100 cal. BP, les concentrations de *Stropharia* et HdV-733 augmentent de façon importante (Table 1). L'augmentation des perforations scalariformes au sommet de la carotte et le boisement observé sur le terrain permettent de déduire un reboisement très récent de la partie supérieure de la tourbière.

La zone B1, originellement plus boisée, se serait donc ouverte entre 2960 et 690 cal. BP, tandis que la zone B2, formée plus tardivement et originellement plus boisée, se serait ouverte entre 510 et 310 cal. BP. Cette ouverture pourrait coïncider avec le refroidissement climatique du Petit Âge Glaciaire (Lafontaine-Boyer K. 2014), qui aurait atteint son maximum aux alentours de 400 cal. BP, favorisant probablement les espèces de tourbières ouvertes comme les sphaignes. Elle fut suivie d'une phase de reboisement depuis 70 cal. BP. L'observation de nombreuses pousses de bouleaux autour de B1 permet de prévoir une fermeture totale de la tourbière, qui entraînerait la disparition de la tourbière ouverte, qui abrite actuellement des espèces vulnérables comme *Drosera rotundifolia*.

Reconstitution du pastoralisme passé à partir des champignons coprophiles

Les concentrations importantes observées dans la carotte B1 pour les différents champignons coprophiles semblent corroborer l'hypothèse de l'ouverture du milieu et de la présence de pastoralisme (Van Asperen et al., 2021 ; Wei et al., 2021) entre 2960 à 690 cal. BP. Cette période débute à l'Âge du Bronze final et se termine au Moyen Âge féodal. Elle correspond à l'installation locale de différents peuples : Gaulois, Romains, Francs... Miras (2004) a montré que l'augmentation du pastoralisme à cette période était corrélée avec la déforestation, qui atteint un maximum au Moyen Âge féodal. Les concentrations de champignons coprophiles dans B2 sont quant à elles plus disparates, avec des taxons à la base et d'autres près du sommet de la carotte. La surface de la carotte B2, qui présente de très faibles concentrations en champignons coprophiles, correspond à la déprise pastorale du 20e siècle, qui se traduit localement par la formation des bétulaies.

2- Dynamiques paléoenvironnementales

Milieu ouvert

Le pollen est un élément bien dispersé qui permet de reconstituer des tendances régionales, et non des événements locaux comme les NPPs. La complémentarité des deux approches permet donc de proposer des hypothèses spatialisées. Les données

polliniques de Dufournet et al. (2023) révèlent, entre 7440 et 3820 cal. BP, une végétation en mosaïque, comprenant des boisements de *Betula, Corylus avellana, Fagus sylvatica et Quercus* caducifoliés. La présence simultanée de zones ouvertes est suggérée par l'augmentation des Poaceae et de *Cerealia*-type (Triat-Laval 1982 ; Faure, 2012). Ces données indiquent que l'ouverture du milieu serait de nature anthropique, peut-être afin de permettre l'installation de zones de pâturage (Bottollier-Curtet & Muller, 2008). L'ouverture aurait été réalisée par défrichement via la méthode des brûlis, qui sert également au maintien des zones ouvertes (Sánchez-Morales et al., 2022). En effet, les pourcentages polliniques de *Fagus sylvatica* à la base de la carotte, diminuent lors des deux pics de microcharbons (env. 5580 et 1590 cal. BP). De plus, l'enregistrement de *Cerealia*-type traduisant potentiellement des cultures, témoignerait d'activités anthropiques (1590 cal. BP) ayant pu causer un défrichement (Cubizolle, 2009). Les données polliniques de Dufournet et al. (2023) suggèrent une recolonisation régionale à base d'espèces ligneuses, avec principalement *Pinus sylvestris*-type et *Picea abies* (introduit depuis les Alpes), qui pourraient correspondre aux périodes de reboisements post-révolution industrielle (180 à 0 cal BP ; Jouffroy-Bapicot et al., 2007 ; Collignon-Trotin, 2000 ; Baron, 2005).

Milieu fermé

L'étude réalisée dans la bétulaie révèle la dominance de *Betula*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*-type et *Quercus* caducifoliés (Heim & Lambert, 2023). Les données polliniques suggèrent une activité anthropique régionale, via la déforestation progressive de *Fagus sylvatica*, qui semble laisser place à *Betula*, moins impacté que le hêtre utilisé comme combustible préférentiel en métallurgie et comme bois de chauffage (Jouffroy-Bapicot et al., 2007 ; Reille, 1987). En effet les données de Heim & Lambert (2023) indiquent que *Fagus sylvatica* est présent de 820 à 510 cal. BP (de Beaulieu et al. 1987 ; Bal et al. 2015), avant de régresser jusqu'à aujourd'hui. Le pic de *Fagus sylvatica* daté à 600 cal. BP survient après un abaissement contemporain des concentrations de microcharbons, ce qui laisse penser à une recolonisation du milieu par l'espèce (Valsecchi et al., 2008). Parallèlement, il semblerait que le milieu fermé ait enregistré la déprise anthropique (120 cal. BP à aujourd'hui ; Cubizolle, 2009), observable par l'augmentation du pourcentage des espèces ligneuses par rapport aux espèces herbacées (de 280 à 0 cal. BP ; Heim & Lambert, 2023), et par la corrélation entre les abondances en perforations scalariformes et l'augmentation du pourcentage de *Betula*.

Conclusion

La présente étude a tenté de reconstruire les anciens environnements de la tourbière de Bourge grâce à l'analyse des NPPs et des microcharbons, dont les résultats ont été comparés aux données polliniques acquises par Dufournet et al. (2023) et Heim & Lambert (2023). Les indicateurs considérés ont permis d'apporter des éléments de réponses aux questionnements initiaux au sujet de l'évolution de la tourbière et des impacts anthropiques qu'elle aurait pu subir. Les résultats obtenus suggèrent une tourbière anciennement fermée et de taille réduite (7440 cal. BP), qui se serait ouverte en son centre (de 2960 à 690 cal. BP). La tourbière se serait étendue aux alentours de 800 cal. BP donnant naissance à la zone B2. Cette zone se serait elle-même ouverte vers 400 cal. BP, ce qui aurait créé une grande tourbière ouverte, en cours de reboisement depuis quelques décennies. L'étude des NPPs a en outre révélé un impact anthropique depuis le Néolithique, via l'agropastoralisme, l'agriculture, les feux, le drainage, la déforestation et le reboisement. L'étude a enfin mis en lumière la récente déprise agricole, en partie liée à l'exode rural (Muller, 2005 ; Jouffroy-Bapicot et al., 2007). L'absence récente d'entretien de la tourbière questionne sur l'intérêt apporté par les populations humaines à ces zones sensibles et sur l'avenir des espèces qui leur sont inféodées.

References

Allée P., Paradis S., Boumédiène F. & Rouaud

R. (2010). L'exploitation médiévale du plomb argentifère sur le mont Lozère. *ArchéoSciences*, 34 : 177-186.

Bain C.G., Bonn A., Stoneman R., Chapman S., Coupar A., Evans M., Gearey B., Howat M., Joosten H., Keenleyside C., Labadz J., Lindsay R., Littlewood N., Lunt P., Miller C.J., Moxey A., Orr H., Reed M., Smith P., Swales V., Thompson D.B.A., Thompson P.S., Van de Noory R., Wilson J.D. & Worrall F. (2011). *IUCN UK Commission of Inquiry on Peatlands*. IUCN UK Peatland Programme, Edinburgh.

Bal M.C., Allée P. & Liard M. (2015). The origins of a *Nardus stricta* grassland through soil charcoal analyses: Reconstructing the history of a mountain cultural landscape (Mont Lozère, France) since the Neolithic. *Quaternary International*, 366 : 3-14.

Barber K.E. (1993). Peatlands as scientific archives of past biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2(5) : 474-489.

Beaulieu J.L., Pons A. & Reille M. (1987). Histoire de la végétation, du climat et de l'action de l'homme dans le Massif Central depuis 15000 ans. *Institut Français de Pondichéry, Travaux de la Section Scientifique et Technique*, 25 : 27-32.

Bottollier-Curtet M. & Muller S. (2008). Dynamique et contexte passés du développement d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France). *Comptes Rendus Biologies*, 332 (1) : 69-82.

Bouzillé J.B., Aidoud A. & Bonis A. (2014). *Ecologie des zones humides : concepts, méthodes et démarches.* Tec & Doc Lavoisier, Paris, 264 p.

Braun-Blanquet, J. (1932) *Plant Sociology: The Study of Plant Communities*. McGraw-Hill, New York, 439 p.

Brigić A., Bujan J., Alegro A., Šegota V. & Ternjej I. (2017). Spatial distribution of insect indicator taxa as a basis for peat bog conservation planning. *Ecological Indicators*, 80 : 344-353.

Buschmann C., Röder N., Berglund Ö., Lærke P.E., Maddison M., Mander Ü., Myllys M., Osterburg B. & Akker J.V.D. (2020). Perspectives on agriculturally used drained peat soils: Comparison of the socioeconomic and ecological business environments of six European regions. *Land Use Policy*, 90 : 104181.

Collignon-Trontin A.-M. (2000). *Étude des variations moléculaires chez l'épicéa commun (Picea abies (L.) Karst.) à l'aide de marqueurs RAPD*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré-Nancy 1, 100 p.

Cubizolle H. (2009). Paléoenvironnements. In : A. Marre (éds.), Physio-Géo. Armand Colin, Paris, pp. 9-10.

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. (2019). *Les tourbières et la tourbe : géographie, hydro-écologie, usages et gestion conservatoire*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 419 p.

Cugny C. (2011). *Apports des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen : entre référentiels actuels et reconstitution du passé*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 285 p.

Dufournet L., Guignet A. & Voisin M. (2023). Anthropisation en Margeride : étude sur 7500 ans par l'analyse pollinique de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride). *Orpalm Synthesis*, 16 : 33-46.

Faure É. (2012). *"Hautes terres" : l'anthropisation des monts d'Aubrac et du Lévezou (Massif Central, France) durant l'Holocène : approche palynologique des dynamiques socio-environnementales en moyenne montagne*. Thèse de doctorat, Université Toulouse, 311 p.

Gallé R., Samu F., Zsigmond A.R., Gallé-Szpisjak N. & Urák I. (2019). Even the smallest habitat patch matters: on the fauna of peat bogs. *Journal of Insect Conservation*, 23 (4) : 699-705.

Gauthier E., Jouffroy-Bapicot I. (2021). Detecting human impacts: non-pollen palynomorphs as proxies for human impact on the environment. *The Geological society*, *London*, *Specials Publications*, 511 (1) : 233-244.

Genet M. (2022). *Calibration du proxy microcharbon préservé dans les sédiments marins et reconstruction des paléo-incendies en région Méditerranéenne Occidentale au cours de l'Holocène*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 272 p.

Grimm E.C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13(1) : 13-35.

Goepp S. (2007). *Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien. Déterminismes environnementaux et actions de l'Homme*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur - Strasbourg, 287 p.

Harriss R.C., Gorham E., Sebacher D.I., Bartlett K.B. & Flebbe P.A. (1985). Methane flux from northern peatlands. *Nature*, 315 : 652-654.

Heim Z. & Lambert A. (2023). Etude palynologique de la portion boisée de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : apports à la compréhension de l'histoire de la végétation locale. *Orpalm Synthesis*, 16 : 63-73.

Ise T., Dunn A.L., Wofsy S.C. & Moorcrof P.R. (2008). High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback. *Nature Geoscience*, 1 (11) : 763-766.

Jouffroy-Bapicot I., Pulido M., Baron S., Galop D., Monna F., Lavoie M., Ploquin A., Petit C., de Beaulieu J.-L. & Richard H. (2007). Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analysis. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16 (4) : 251-258.

Küttim M., Küttim L. & Pajula R. (2018). L'état actuel et la restauration écologique des tourbières en Estonie. *Dynamiques Environnementales*, 42 : 146-163.

Kylander M., Weiss D., Peiteado Varela E., Taboada Rodriguez T. & Martínez Cortizas A. (2006). Chapter 21 Archiving natural and anthropogenic lead deposition in peatlands. *In*: Martini I.P., Martinez Cortizas A. & Chesworth W. *Developments in Earth Surface Processes*. Elsevier, Paris, pp. 479-497.

Lafontaine-Boyer K. (2014). *Dynamique de la végétation en regard de la variabilités climatiques au cours de l'Holocène tardif, Outaouais, Québec*. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, 167 p.

Manneville O. (2006). *Le Monde des tourbières et des marais : France, Suisse, Belgique, Luxembourg*. Delachaux, Paris, 320 p.

Martin C., Didon-Lescot J. & Cosandey C. (2003). Le fonctionnement hydrologique des petits bassins versants granitiques du Mont-Lozère : influence du couvert végétal sur les crues et les étiages. *Études de Géographie Physique,* 30 : 3-25.

McCarthy F.M. Riddick N.L., Volik O., Danesh D.C. & Krueger A.M. (2018). Algal palynomorphs as proxies of human impact on freshwater resources in the Great Lakes region. *Anthropocene*, 21 : 16-31.

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 agropastoraux et évolution des territoires ruraux*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 316 p.

Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 70 : 63-69.

Muller S.D., Montade V. & Terral J.-F. (2023). La tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride (Lozère). *Orpalm Synthesis*, 16 : 9-16.

Ogden J.G. III (1986). An alternative to exotic spore or pollen addition in quantitative microfossil studies. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 23 (1) : 102-106.

Philibert M. (1986). Indices d'installations d'altitude au Paléolithique moyen et au

Néolithique moyen en Margeride (Massif-Central). *Revue Archéologique du Centre de la France*, 25 (2) : 145-161.

Reille M. (1987). L'histoire de la végétation en Margeride (Massif Central, France) depuis quelque cent siècles révélés par l'analyse pollinique de la tourbière de la Foulon de la Bique. *Revue du Gevaudan*, 1987-2 : 17-25.

Robin V., Knapp H., Rickert B., Talon B. & Nelle O. (2013). Comparaison de signaux anthracologiques Holocènes issus de différents types d'archives en Allemagne : vers une reconstitution plus précise de l'histoire des incendies ? *Quaternaire*, 24/2 : 167-177.

Romdhane N., Mustapha K.B., Romdhane M.S. & Abed A.E. (2007). Enclave coralligène de l'infralittoral de Korbous (nord de la Tunisie) : Aire minimale qualitative du phytobenthos et inventaire spécifique. *Bulletin de d'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer*, 34 : 69-79.

Sánchez-Morales M., Pèlachs A., García-Codron J.C., Carracedo V. & Pérez-Obiol R. (2022). Landscape dynamics and fire regime since 17,550 cal yr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain). *Quaternary Science Reviews*, 278 : 107-373.

Triat-Laval H. (1982). Pollenanalyse de sédiments quaternaires récents du pourtour de l'étang de Berre. *Ecologia Mediterranea*, 8 : 97-115.

Valsecchi V., Finsinger W., Tinner W. & Ammann B. (2008). Testing the influence of climate, human impact and fire on the Holocene population expansion of *Fagus sylvatica* in the southern Prealps (Italy). *The Holocene*, 18 (4) : 603-614.

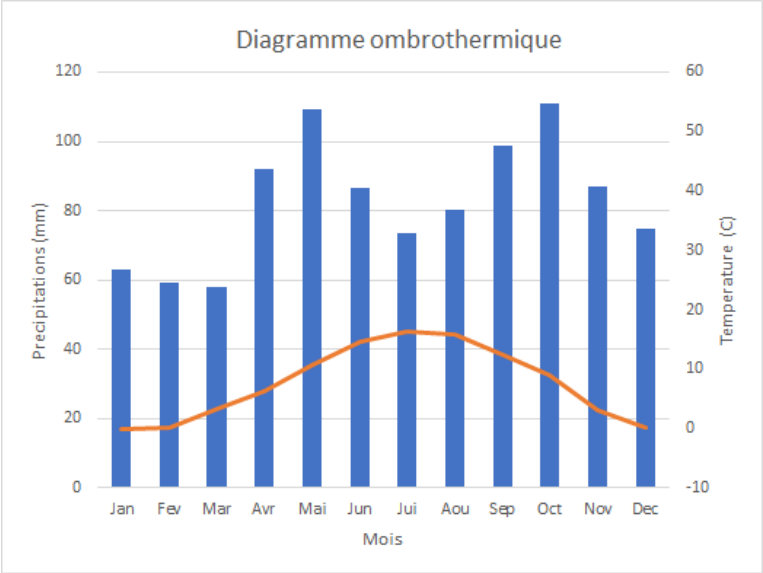
Van Asperen E.N., Perrotti A. & Baker A. (2021). Coprophilous fungal spores: non-pollen palynomorphs for the study of past megaherbivores. *Geological Society of London Special Publication*, 511 : 245-267.

Vannière B. & Martineau R. (2005). Histoire des feux et pratiques agraires du Néolithique à l'âge du Fer en région Centre : implications territoriales, démographiques et environnementales. *Gallia Préhistoire*, 47 : 167-186.

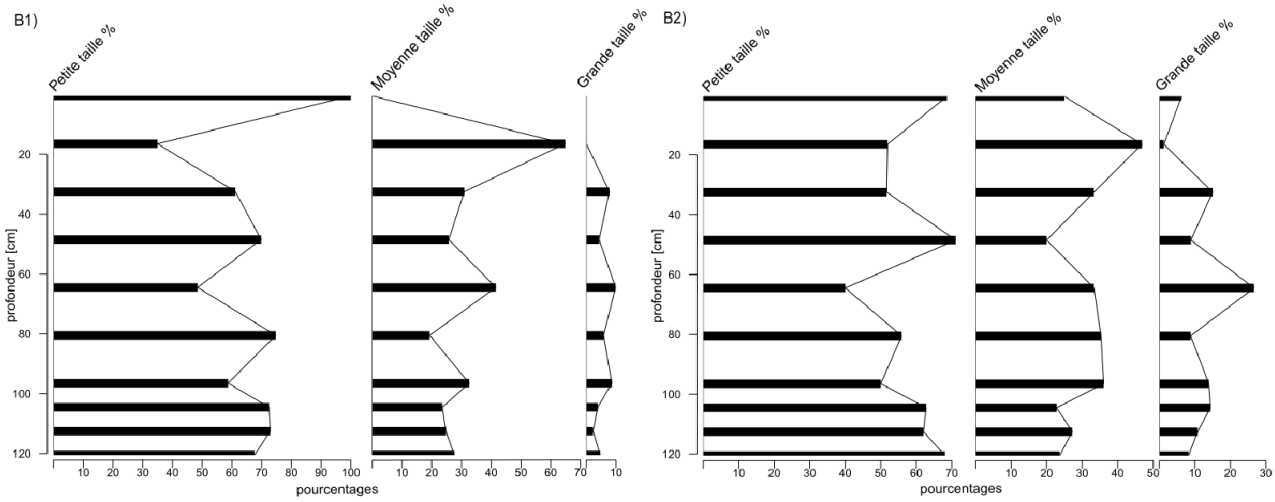
Vaquer J. & Gandelin M. (2014). Villages du Néolithique en Méditerranée occidentale. Sédentarisation et habitat groupé. *Archéopages,* 40 : 6-15.

Wei H., Duan R., Xu Q., Yang., Fan Q., Hou G., Du Y., Qin Z. & Gao J. (2021). Fungal spore indicators of vegetation and highland pastoralism in modern topsoil and dung, eastern Tibetan Plateau. *Catena*, 202 : 105231.

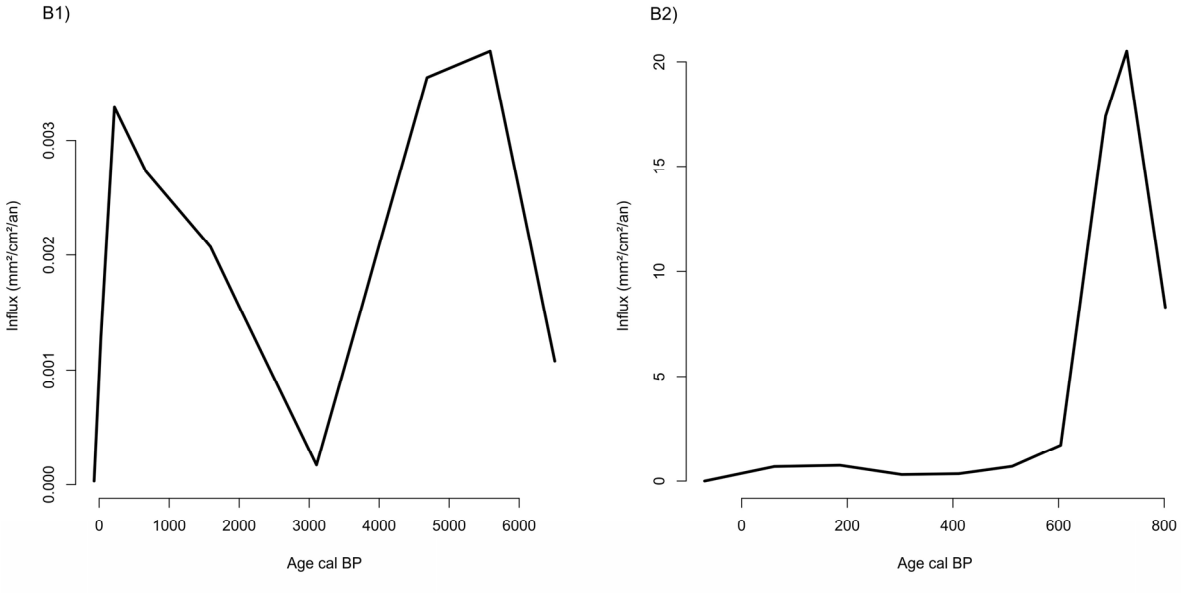
ANNEXE 1. Diagramme ombrothermique du village de Paulhac-en-Margeride



ANNEXE 2. Diagrammes des pourcentages de microcharbons selon leur taille en fonction de la profondeur des carottes B1 et B2



ANNEXE 3. Courbes d'influx des microcharbons en fonction de l'âge des carottes B1 et B2



ETUDE PALYNOLOGIQUE DE LA PORTION BOISEE DE LA TOURBIERE DE BOURGE (PAULHAC-EN-MARGERIDE, LOZERE) : APPORTS A LA COMPREHENSION DE L'HISTOIRE DE LA VEGETATION LOCALE

Heim Zoé [1], Lambert Apolline [2]

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

[1] zoeheim20@gmail.com, [2] lambertapolline2008@gmail.com

Encadrement : Serge Muller

Cet article a été en partie réécrit par J.-F. Terral et S. Muller.

Citation : Heim Z. & Lambert A. (2023). Etude palynologique de la portion boisée de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : apports à la compréhension de l'histoire de la végétation locale. *Orpalm Synthesis*, 16 : 63-73.

Résumé : Une analyse pollinique a été réalisée sur une carotte de tourbe prélevée dans la portion boisée de la tourbière de Bourge (Margeride). Couplée aux autres investigations de terrain et de laboratoire réalisées par les différentes équipes d'ORPAM 2022, les données acquises contribuent à la reconstitution de l'histoire et de la dynamique hydrosérale de la tourbière de Bourge. La tourbière, boisée dès l'origine, s'est initiée par paludification vers 7000 cal. BP au sommet de la zone ouverte, avant de s'étendre aux zones périphériques qu'elle a atteint au cours du dernier millénaire. A cette époque, la bétulaie s'est réduite sous l'impact du pâturage d'origine anthropique. Elle n'a recolonisé les zones périphériques qu'au cours du 20e siècle.

Mots clés : Palynologie, hydrosère, paléoenvironnements, zone humide

Abstract: *Palynological study of the wooded area of Bourge Peatland (Paulhac-en-Margeride, Lozère): contribution to the understanding of the local vegetation history*. A palynological analysis has been performed on the wooded area of Bourge Peatland (Margeride). With several other investigations realised by different ORPAM-2022 teams, the obtained data contribute to the understanding of the history and hydroseral dynamics of Bourge Peatland. The peatland, initially wooded, initiated through paludification around 7000 cal. BP at the top of the open area, before to extend on the peripheral zones reached during the last millenium. At this time, the birch wood declined because of anthropogenic grazing. It recolonizes the peripheral zones only during the 20th century.

Keywords: Palynology, hydrosere, palaeoenvironments, wetland

Les tourbières sont des zones humides caractérisées par la formation de tourbe dont l'accumulation peut perdurer pendant des millénaires. L'étude des dépôts tourbeux contribue à la reconstruction de l'histoire des

environnements passés (Gorham, 1991), dont les domaines disciplinaires impliqués se situent généralement à l'interface des Sciences de la Vie (biologie – écologie), des Sciences de la Terre (géosciences) et des Sciences de l'Homme et de la Société (Adnet et al., 2020). Dans le cadre de l'étude des communautés végétales passées, une des approches les plus développées est la palynologie qui s'appuie sur l'étude des grains de pollen, des spores et autres palynomorphes (Van Geel, 1978 ; Miola, 2012). Ces microrestes sont bien souvent parfaitement conservés dans la tourbe. Les conditions anaérobies générées par la présence permanente d'eau empêchent en effet l'action des microorganismes saprophytes et permettent ainsi l'accumulation de matière organique mal ou non décomposée (Manneville, 2001). Les tourbières sont de fait de véritables puits de carbone, puisqu'elles en stockent près du tiers des sols de la planète (Gorham, 1991). Elles peuvent être définies comme minérotrophes ou ombrotrophes, en fonction de la nature de l'approvisionnement hydrologique (Manneville, 2001).

Du point de la dynamique des communautés végétales, un schéma général de succession sur tourbière, l'hydrosère, a été proposé par Clements (1916) et a ensuite été reformulé et synthétisé par Tansley (1939). Dans les lacs, les restes des algues microplanctoniques se déposent et leur accumulation forme la gyttja (Walker, 1970 ; Jankovská & Pokorný, 2000). Des hydrophytes (Raunkiaer, 1934), comme les *Carex* et *Sphagnum*, colonisent les milieux d'eau libre (terrestrialisation) ou se développent directement sur des ruissellements de pente (paludification) (Korhola, 1992, 1995 ; Klinger, 1996 ; Jankovská & Pokorný, 2000). La surface de la tourbière s'élève progressivement sous l'effet de l'accumulation de la tourbe (Walker, 1970). Les apports allochtones depuis le bassin versant constituent la partie détritique de la tourbe (Magny, 1992).

Le stade ultime de l'hydrosère se matérialise généralement par la colonisation des ligneux. Ces ligneux peuvent être des bouleaux. Le genre *Betula* (Betulaceae) comprend 3 espèces en France : *B. nana, B. pendula* et *B. pubescens*. Deux espèces sont inféodées aux milieux tourbeux : le bouleau nain (*B. nana*) et le bouleau pubescent (*B. pubescens*). Le bouleau nain est le plus rare : il n'est présent que dans le Jura et la Margeride. Le bouleau pubescent est surtout présent dans les régions montagneuses ; il est absent de la zone méditerranéenne et d'une partie du sud-ouest (Dumé et al., 1994). La troisième espèce, le bouleau verruqueux (*B. pendula*), est une espèce pionnière héliophile qui existe dans toute la France, à l'exception de la région méditerranéenne. Il se développe dans les stades de dégradation des écosystèmes forestiers, et peut aussi former d'importants peuplements en ripisylves ou en tourbière, généralement dans des milieux perturbés. Il a la capacité de s'installer dans une large gamme de milieux et produit une grande quantité de graines dont la germination est facilitée par une richesse protéique élevée (Coquillard et al., 1999). Il est peu compétitif, mais capable de réponse rapide aux changements environnementaux (Barbero & David, 1995).

Le Massif Central est le plus grand massif granitique de France (Besqueut, 1953). Les bouleaux y font partie des espèces colonisatrices de tourbières, aux côtés du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et plus rarement du sapin (*Abies alba*) (Cubizolle et al., 2009). C'est le cas de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère), zone d'étude du module ORPAM 2022-2023. Cette tourbière, boisée en périphérie, est caractérisée par une bétulaie à *Betula pendula* sur la zone à sol peu profond et d'un peuplement à *Betula pubescens* dans la zone à sol hydromorphe profond (Bede et al. 2023).

Un carottage de tourbe a été réalisé dans le peuplement à *Betula pubescens*, dans le but de reconstituer :
(1) l'origine et la dynamique de la tourbière,
(2) l'histoire de la végétation environnante et
(3) l'histoire locale du genre *Betula*.

MATERIELS ET METHODES

1- Travail de terrain

Deux relevés de la topographie et de la profondeur de tourbe (pas de 5 m) ont été réalisés sur la tourbière de Bourge le long de deux transects (Fig. 1). Deux carottages ont été prélevés aux profondeurs maximales relevées, un dans la zone ouverte (BOUR-1, 120 cm) et l'autre dans la partie boisée à *Betula pubescens* (BOUR-2, 140 cm). Les carottes ont été placées dans des demi-tubes en PVC et conservées en chambre froide. Deux relevés phytosociologiques ont été réalisés à proximité des deux points de carottage (Muller et al., 2023).

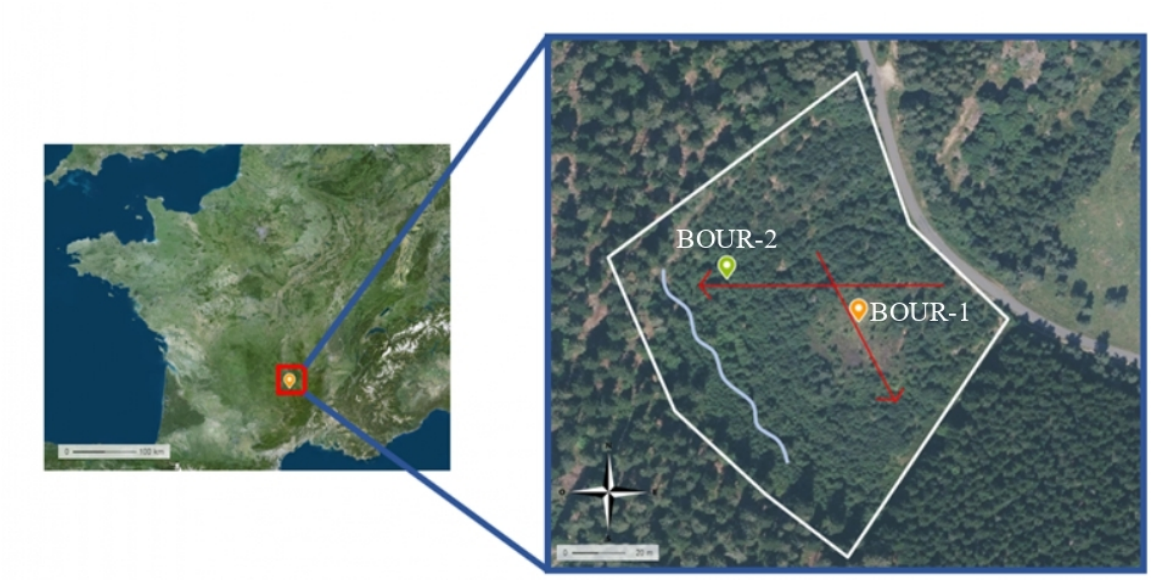


Figure 1. Localisation et délimitation de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère). Flèche rouge à gauche : transect du relevé topographique est-ouest (T1). Figuré vert : point de carottage dans la bétulaie (BOUR-2), et zone du quadrat (16 m²) pour le relevé phytosociologique. Flèche rouge à droite : transect du relevé topographique nord-ouest sud-est (T2), figuré orange : point de carottage dans le milieu ouvert (BOUR-1), et zone du quadrat (16 m²).

2- Traitement des carottes et préparation des échantillons palynologiques

La carotte BOUR-2 est étudiée dans cet article. 1 cm^3 de tourbe a été prélevé tous les 8 cm à l'aide d'un emporte-pièce. Les échantillons ont subi une série de traitements chimiques, constituée d'attaques par des acides et des bases pour éliminer la matière organique et les minéraux emprisonnant les grains de pollen : élimination des carbonates à l'acide chlorhydrique (HCl) ; défloculation à l'hydroxyde de potassium (KOH) ; acidification à l'acide chlorhydrique ; déshydratation à l'acide acétique (CH_3COOH) ; élimination de la matière organique par acétolyse (acide sulfurique HSO_3 et anhydride acétique $C_4H_6O_3$). Les macrorestes sont récupérés sur un tamis. Le culot est monté entre lame et lamelle et les échantillons sont scellés hermétiquement à l'histolaque.

3- Observation, comptage, identification et quantification des grains de pollen

L'observation des lames a été effectuée au laboratoire de palynologie de l'ISEM, à l'aide de microscopes optiques (x 400). Le nombre de lignes totales et comptées a été dénombré

pour chaque lame. Environ 200 grains de pollen par lame ont été identifiés à l'aide des atlas de Reille (1992-1998). Les concentrations ont été calculées par méthode volumétrique (Davis, 1966 ; voir Dufournet et al., 2023 pour le détail). Le package *rioja* du logiciel R (Juggins, 2009) a permis de construire le diagramme pollinique.

RESULTATS

1- Topographie et données phytosociologiques

La tourbière de Bourge est installée sur une forte pente (T2) et présente un profil transversal légèrement bombé (T1) (Fig. 1 ; Annexe 1). Les profondeurs sont généralement inférieures à 1 m, mais atteignent 1,20-1,40 m dans la partie sommitale. La zone ouverte est dominée par *Calluna vulgaris*, *Carex rostrata* et *Eriophorum vaginatum* et *Sphagnum* spp. La zone boisée est majoritairement constituée par *Betula pubescens* (Bede et al., 2023 ; Muller et al., 2023).

2- Sédimentologie et datation 14C

Les caractéristiques de la carotte BOUR-2, prélevée dans la bétulaie à *Betula pubescens*, sont présentées Table 1. Deux prélèvements de tourbe (60-61 et 112-114 cm) et un macrocharbon de *Fagus sylvatica* (103-104 cm) ont été datés au ^{14}C (Muller et al., 2023). Ces datations révèlent un âge récent, d'environ 700 ans pour les niveaux basaux de la bétulaie tourbeuse.

Tableau 1. Caractéristiques de la tourbe de la carotte sédimentaire BOUR-2

Profondeur (cm)	Caractéristiques du substrat
0-16	Tourbe brune fibreuse
16-56	Tourbe brune fibreuse
64-86	Tourbe blonde plastique
104-120	Tourbe plastique proche de la gyttja
120-136	Tourbe argileuse

3- Diagramme pollinique de la carotte BOUR-2

Trois zones ont été définies sur le diagramme pollinique (Fig. 2) :

- La zone 1 (140-70 cm ; 820-450 cal. BP) est marquée par la présence de *Fagus sylvatica*, associés à des spores monolètes.
- La zone 2 (70-23 cm ; 450-120 cal. BP) montre un net déclin de *Fagus* et l'augmentation significative de *Cerealia*-type, de *Quercus* caduc et des Cyperaceae.
- La zone 3 (23-0 cm ; 120-0 cal. BP) présente une forte augmentation d'*Abies alba*, de *Betula*, de *Corylus avellana*, de *Picea abies* et de *Pinus sylvestris*-type.

La première zone débute au Moyen-Âge féodal (1100-1500 cal. AD) et se termine avec le début de l'époque moderne, période qui correspond à la seconde zone (1500-1850 cal. AD). La dernière partie du diagramme s'insère dans l'époque contemporaine (1850-2020 cal. AD ; Muller et al., 2023).

La Figure 3 présente les pourcentages et concentrations de pollen de *Betula* et les concentrations de perforations scalariformes, indicatrices de la présence locale du bouleau (Baty et al., 2023). Tandis que l'enregistrement du bouleau est en profondeur dans BOUR-1, il est en surface dans BOUR-2.

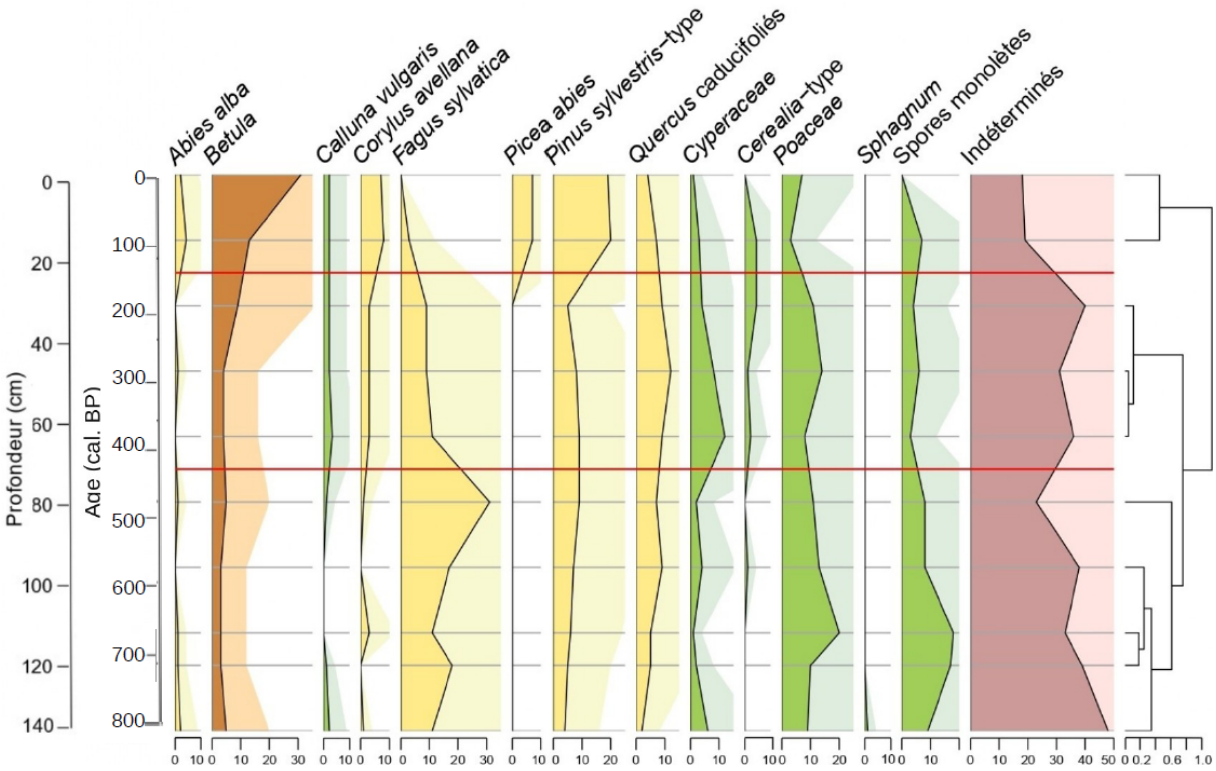


Figure 2. Diagramme pollinique en pourcentages de la carotte BOUR-2 (dans la partie boisée) de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride) en fonction de la profondeur (en cm) et de l'âge (cal. BP). Les deux lignes rouges et le dendrogramme à droite délimitent les trois zones polliniques étudiées (méthode CONISS).

DISCUSSION

1- Caractérisation et origine de la tourbière

La topographie de la tourbière de Bourge, bombée le long du transect T1 (Fig. 1), pourrait caractériser un type limnogène. La partie centrale serait une portion ombrotrophe, alimentée par les précipitations atmosphériques. La périphérie boisée serait minérotrophe et alimentée par les ruissellements du bombement et par ceux de la pente, indiquée par le transect T2. La tourbière de Bourge serait donc une tourbière mixte (Manneville, 2001, 2006). Son origine est clairement holocène, puisque la date la plus ancienne obtenue à la base de la tourbe est de 7500 cal. BP (Muller et al., 2023). Son positionnement sur une pente suggère que la turfigenèse s'est initiée par paludification d'un ruisseau préexistant au sein d'une matrice forestière dominée par le hêtre (Dufournet et al., 2023).

2- Histoire de la végétation régionale

La tourbière se trouvait dans un contexte dominé par *Fagus sylvatica*, jusqu'à environ 1500 cal. AD. Toutefois, les pourcentages enregistrés (10-30%) ne sont pas très importants : ils suggèrent un paysage en mosaïque, comportant des zones ouvertes en mélange avec des hêtraies. Cela correspond bien aux données acquises sur la carotte BOUR-1 (Dufournet et al., 2023), qui révèlent un environnement ouvert depuis la période romaine jusqu'à la fin du Moyen Âge.

Le déclin du hêtre enregistré à cette période pourrait révéler un abaissement des températures, contemporain du Petit Âge Glaciaire (Lafontaine-Boyer, 2014). Il est toutefois associé à une augmentation de *Cerealia*-type, ce qui rend implique un déterminisme anthropique lié à l'accroissement des activités agropastorales (Argant et al., 2004 ; Baty et al., 2023). Ce changement est également accompagné d'une augmentation de *Quercus* caduc et de

Cyperaceae, qui suggèrent d'une part un meilleur enregistrement des forêts caducifoliées de l'étage supraméditerranéen (permis par l'ouverture du milieu autour de la tourbière) et un changement de végétation locale (induit par la modification de l'hydrologie du bassin versant). L'expansion de l'agropastoralisme se fait toujours aux dépens des forêts, dont le bois était utilisé comme matériau de construction (Gauthier, 2004), en particulier dans un contexte démographique croissant (Reille, 1987). Le recul des forêts est en outre lié à l'occurrence de feux anthropiques (De Beaulieu, 1974 ; Reille, 1988), comme le montrent l'enregistrement des microcharbons (Clark et al., 2004 ; Baty et al., 2023) et la présence de macrocharbons datés du Moyen Âge (Fichefet et al., 2009 ; Muller et al., 2023). *Betula pendula,* taxon pionnier (Dumé et al., 1994) dont les graines germent facilement sur les sols cendreux, a peut-être bénéficié de ces incendies pour coloniser le milieu (Reille, 1987). Toutefois, l'enregistrement des perforations scalariformes (Fig. 3 ; Baty et al., 2023) montre clairement que le bouleau enregistré se développait sur la tourbière, et suggère donc plutôt l'existence de bétulaies tourbeuses.

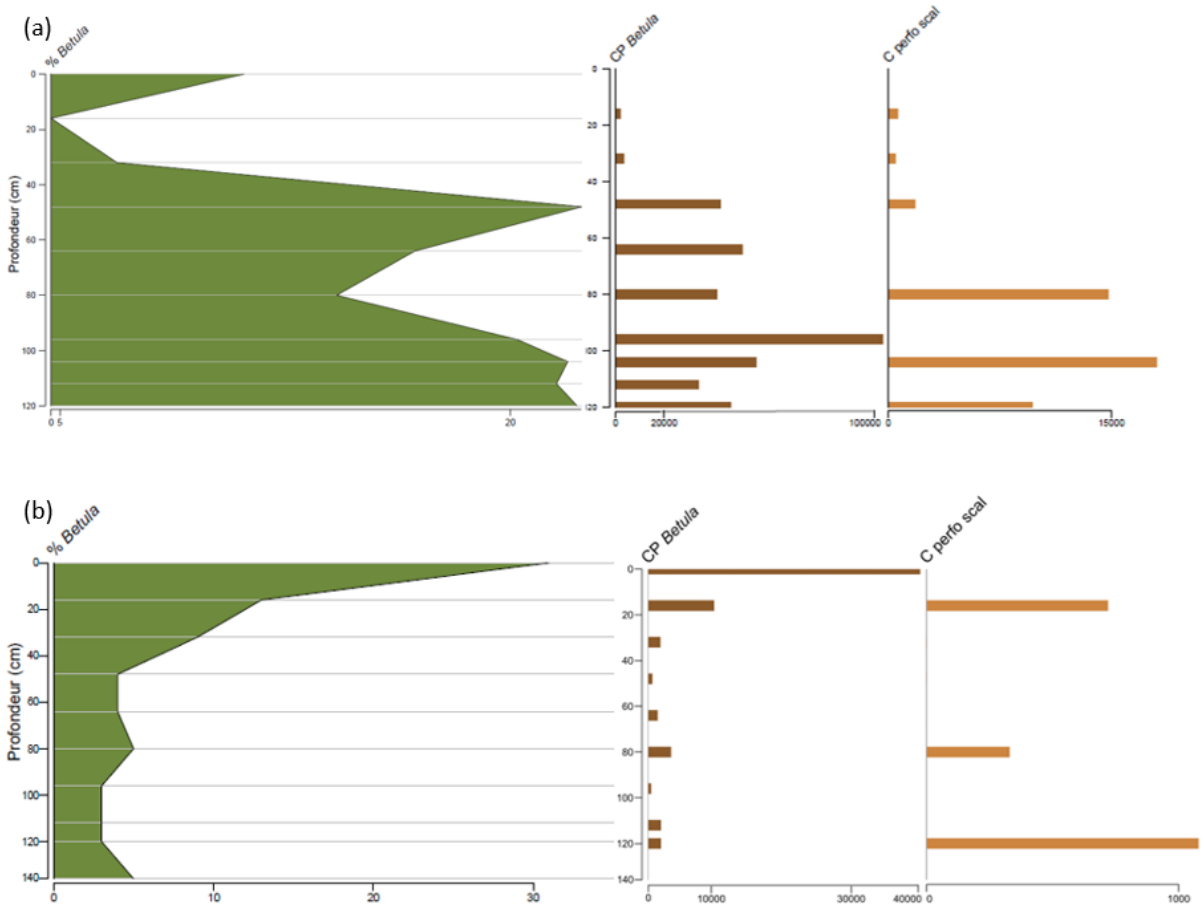


Figure 3. Diagrammes des pourcentages pollinique, concentrations polliniques et concentrations des perforations scalariformes de Betula dans (a) la carotte BOUR-1 et (b) la carotte BOUR-2

Le 19e siècle est marqué par le développement de l'épicéa et des pins, qui caractérisent les reboisements de la période industrielle (Reille, 1989 ; Baron et al., 2005), et par la constitution de la bétulaie tourbeuse actuelle, qui bénéficie certainement de la déprise agropastorale pour coloniser les zones tourbeuses ouvertes (Barbero & David, 1995). Le développement récent de *Betula* et dans une moindre mesure de *Pinus sylvestris*-type sur de nombreuses tourbières du Massif

Central au cours des dernière décennies s'explique par des facteurs humains et physiques, qui se combinent souvent (Argant et al., 2004).

3- Histoire locale de *Betula*

La tourbe se serait initialement accumulée dans une zone réduite, correspondant probablement à la partie supérieure de la zone ouverte actuelle (zone du carottage BOUR-1). La tourbière se serait étendue au cours du Moyen Âge, pour atteindre la zone BOUR-2 il y a environ 800 cal. BP, conférant à la tourbière sa taille actuelle (Fig. 1). L'aspect le plus intriguant de la dynamique végétale locale est l'histoire apparemment inversée de *Betula* enregistrée par les deux carottes étudiées (Fig. 3). La carotte BOUR-1 montre une présence du bouleau surtout en profondeur (120-48 cm ; Dufournet et al., 2023), tandis que la carotte BOUR-2 montre plutôt son développement à partir de 16 cm de profondeur (Fig. 2). Cette contradiction apparente ne peut être comprise que si on considère l'aspect temporel. Les données polliniques associées à l'enregistrement des perforations scalariformes sur la carotte BOUR-1 (Fig. 3 ; Baty et al., 2023 ; Dufournet et al., 2023) montre clairement que des bouleaux se développaient localement sur la tourbière entre 7500 et 700 cal. BP, c'est-à-dire depuis l'initiation de la tourbière au début du Néolithique jusqu'au Moyen Âge féodal. Cette période correspond au début de la carotte BOUR-2 (Fig. 2), qui confirme que le bouleau, bien que présent localement (perforations scalariformes ; Fig. 3 ; Baty et al., 2023) n'y était pas abondant au cours de la période moderne. Cette ouverture du milieu local est en accord avec les palynomorphes non polliniques, qui indiquent un accroissement des activités pastorales (Baty et al., 2023). Le bouleau ne se redéveloppe sur la tourbière que très récemment, au cours du 20e siècle (Fig. 1), où il constitue les boisements périphériques (Bede et al., 2023). La bonne association du pollen de *Betula* avec les perforations scalariformes, qui attestent son développement local (Fig. 3), suggèrent qu'il traduit plutôt l'existence de boisements tourbeux, probablement dominés par *Betula pubescens*, espèce turficole de fin de succession hydrosérale. Il n'est toutefois pas exclu qu'une partie de cet enregistrement puisse être le fait de *Betula pendula*, espèce pionnière, qui a pu se développer autour de la tourbière dans les hêtraies perturbées ou comme aujourd'hui à la périphérie de la tourbière (Muller et al., 2023). Il est également possible que le bouleau nain (*Betula nana*), espèce turficole, ait pu exister localement. Il est en effet encore présent sur les tourbières de Lajo, où il est considéré comme une relicte glaciaire (Vasari & Vasari, 1985).

Conclusion

L'analyse palynologique de la carotte située à la périphérie de la tourbière de Bourge, dans un boisement à *Betula pubescens*, a permis d'en étudier les dynamiques paysagères au cours du dernier millénaire, et de montrer l'existence ancienne de tels boisements, qui constituent probablement l'état naturel du milieu. La tourbière a été boisée depuis sont origine au début du Néolithique jusqu'au Moyen Âge féodal. Au cours du dernier millénaire, le pâturage local a entrainé l'ouverture de la tourbière et la régression des boisements tourbeux, qui se sont toutefois reconstitués récemment à la suite de la déprise agricole.

La tourbière de Bourge n'ayant jamais été analysée auparavant, cette étude constitue un travail préliminaire pour une éventuelle étude future plus approfondie. De nombreuses espèces rares et remarquables sont trouvées dans ces milieux. Leur protection est d'une importance capitale et leur étude paléoenvironnementale permet de reconstituer leur état « naturel », avant d'éventuelles modifications d'origine anthropique (Manneville, 2001 ; Bottollier-Curtet & Muller, 2009).

References

Adnet S., Amiot R., Claude J., Clausen S., Decombeix A.-L., Fernandez V., Métais G., Meyer-Berthaud B., Muller S.D., Senut B.

& Tortosa T. (2020). *Principes de paléontologie*. Dunod, Paris, 329 p.

Argant J., Cubizolle H., Georges V., Latour C. & Serieyssol K. (2004). La turfigenèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif Central oriental granitique : une manifestation de l'action humaine. *Quaternaire*, 15 (4) : 343-359.

Barbero M. & David F. (1995). De l'histoire du genre *Betula* dans les Alpes Françaises du Nord. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 89 (3-4) : 455-467.

Baron S., Carignan J., de Beaulieu J.-L., Lavoie M., Ploquin A. & Pulido M. (2005). Record of Metal Workshops in Peat Deposits: History and Environmental Impact on the Mont Lozère Massif, France. *Environnemental Science & Technology*, 39 (14) : 5131-140.

Baty M., Boudet R. & Deppe C. (2023). Reconstruction paléoenvironnementale de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride, Lozère) : fonctionnement et dynamiques internes sur 7500 ans, via les palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 16 : 47-63.

Bede G., Giqueaux P. & Jean-Sépet M. (2023). Dynamique de recolonisation après coupe d'une tourbière du Massif central (Paulhac-en-Margeride, Lozère) par deux espèces de bouleaux (*Betula pendula* et *B. pubescens*). *Orpalm Synthesis*, 16 : 17-32.

Besqueut L. (1953). La Margeride. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 100 (10) : 21-26.

Bottollier-Curtet M. & Muller S.D. (2009). Dynamique et contexte passé du développement d'une tourbière méditerranéenne. *Comptes Rendus Biologies*, 332 (1) : 69-82.

Clark J.S., Lynch J.A. & Stocks B.J. (2004). Charcoal production, dispersal, and deposition from the Fort Providence experimental fire : interpreting fire regimes from charcoal records in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*. 34 (8) : 1642-1656.

Clements F.E. (1916). *Plant succession : an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institution of Washington, Washington, 658 p.

Coquillard P., Gueugnot J. & Prevosto B. (1999). Growth models of silver birch on two volcanic mountains in the French Massif Central. *Plant Ecology*, 144 : 231-42.

Cubizolle H., Porteret J., Thébaud G., & Tourman A. (2009). Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central oriental au cours du XXème siècle. Écologie et protection des tourbières. *Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière, Vosges du Nord*, 13 : 140-170.

Davis M.B. (1966). Determination of absolute pollen frequency. *Ecology*, 47 : 310-311.

de Beaulieu J.-L. (1974). Évolution de la végétation sur la bordure montagneuse cévenole au postglaciaire, d'après les pollen. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.

Dufournet L., Guignet A. & Voisin M. (2023). Anthropisation en Margeride : étude sur 7500 ans par l'analyse pollinique de la tourbière de Bourge (Paulhac-en-Margeride). *Orpalm Synthesis*, 16 : 33-46.

Dumé G., Dupont P., Keller R., Lecointre A., Mansion D., Rameau J.-C. & Timbal J. (1994). *Flore forestière française, guide écologique illustré, tome 2 : Montagnes*. Institut pour le développement forestier, Paris, 2421 p.

Fichefet T., Goosse H., Heiri O., Renssen H., Roche D.M., & Seppä H. (2009). The spatial and temporal complexity of the Holocene thermal maximum. *Nature Geoscience*, 2 (6) : 411-414.

Gauthier E. (2004). *Forêts et Agriculteurs du Jura, les quatre derniers Millénaires*. Presses Universitaires de Franc-Comtoise, Besançon, 195 p.

Gillet F. (2000). La phytosociologie synusiale intégrée : Guide méthodologique. *Documents du laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie de l'Université de Neuchâtel*, 68 p.

Gorham E. (1991). Northern Peatlands : Role in the carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1 : 182-195.

Jankovská V. & Pokorný P. (2000). Long-term vegetation dynamics and the infilling process of a former lake. *Folia Geobotanica*, 35 (4) : 433-457.

Juggins S. (2009). Rioja: an R package for the analysis of quaternary science data. Version 0.5-3.

Klinger L.F. (1996). The myth of the classic hydrosere model of bog succession. *Arctic and Alpine Research*, 28 (1) : 1-9.

Korhola A. (1992). Mire induction, ecosystem dynamics and lateral extension on raised bogs in the southern coastal area of Finland. *Fennia*, 170 (2) : 25-94.

Korhola A. (1995). Lake terrestrialization as a mode of mire formation: A regional review. *Publications of the National Board of Waters and the Environment* A 207 : 11-21.

Lafontaine-Boyer K. (2014). *Dynamique de la végétation en regard des variabilités climatiques au cours de l'Holocène tardif, Outaouais, Québec*. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, 168 p.

Magny M. (1992). Sédimentation et dynamique de comblement dans les lacs du Jura au cours des 15 derniers millénaires. *ArchéoSciences, revue d'Archéométrie*, 16 (1) : 27-49.

Manneville O. (2001). La diversité des tourbières en France et leur prise en compte dans les politiques de conservation. *In* : Union européenne (éds.), *Outils pour la conservation de la biodiversité dans les domaines némoral et boréonémoral*. Nacorex, Union européenne, pp. 35-41.

Manneville O. (2006). *Le Monde des tourbières et des marais : France, Suisse, Belgique, Luxembourg*. Delachaux, Paris, 320 p.

Miola A. (2012). Tools for Non-Pollen Palynomorphs analysis : A list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972-2011). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 186 : 142-161.

Muller S.D., Montade V. & Terral J.-F. (2023). La tourbière de Bourge, Paulhac-en-Margeride (Lozère). *Orpalm Synthesis*, 16 : 9-16.

Raunkiaer C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography. The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press, Londres, 632 p.

Reille M. (1987). L'histoire de la végétation de Margeride depuis quelque cent siècles, révélée par l'analyse pollinique de la tourbière de la Fouon de la Bique. *Revue du Gevaudan*, 1 : 17-25.

Reille M. (1988). Analyse pollinique de la tourbière des Nassettes (Massif Central), réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.

Reille M. (1989). L'origine du Pin à crochets dans le Massif Central français. Bulletin de la Société botanique de France. *Lettres botaniques*, 136 (1) : 61-70.

Reille M. (1992-1998). Po*llen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, 543p., 530 p.

Rochefort L. & Payette S. (2001). Écologie des tourbières du Québec-Labrador. *Presses Université Laval*, Canada, 621 p.

Gałczyńska M., Gamrat R., Malinowski R., Sotek Z., & Stasińska M. (2019). Birch Bog on Anthropogenically Transformed Raised Bogs. *A Case Study from Pomerania (Poland). Water*, 11 : 1224.

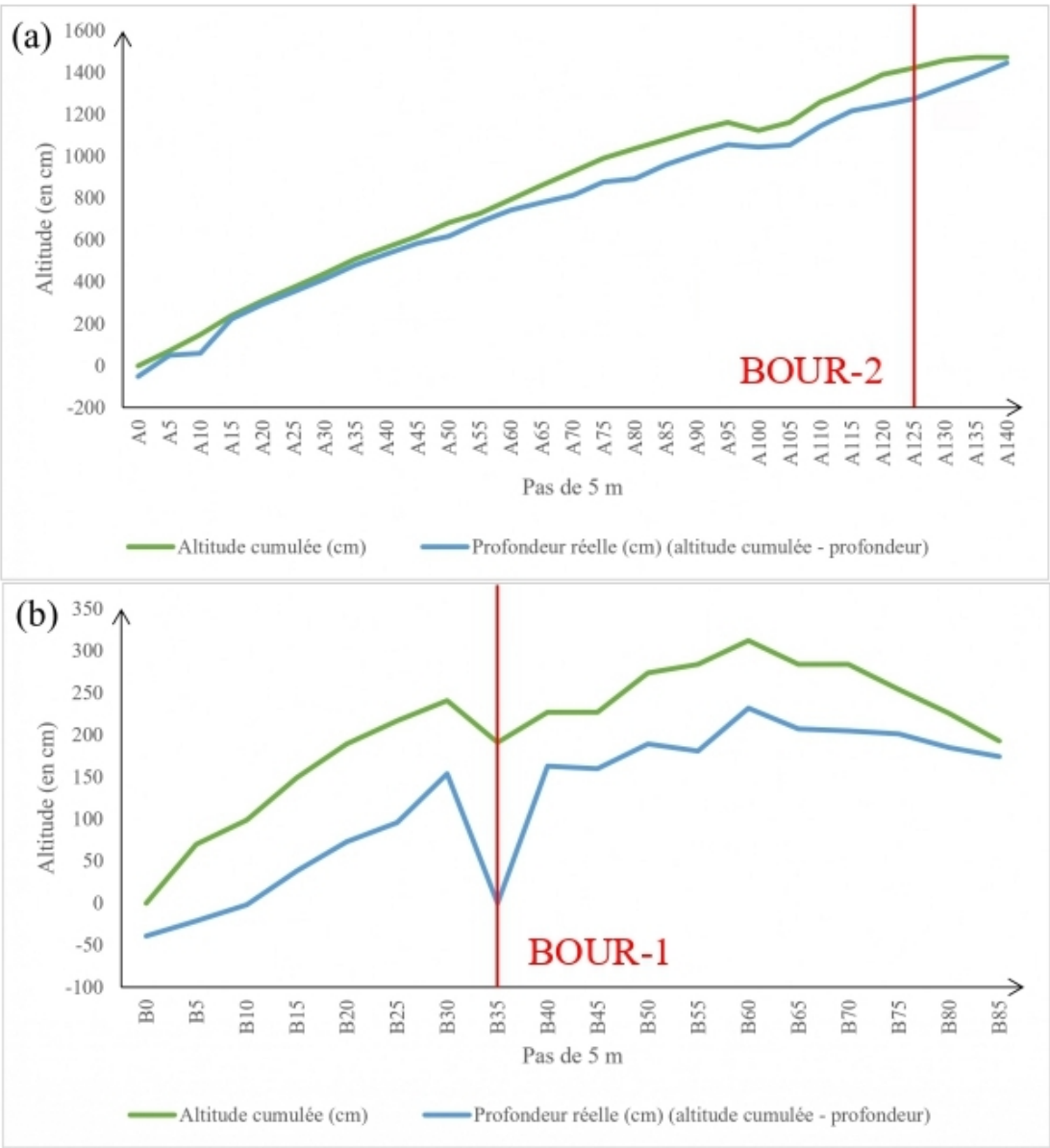
Tansley A.G. (1939). *The British islands and their vegetation*. Cambridge University Press, Cambridge, 970 p.

Van Geel B. (1978). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 (1) : 1-120.

Vasari A. & Vasari Y. (1985). Relic occurrence of *Betula nana* L. in Massif

Central, France. *Ecologia Mediterranea*, 11 (1) : 65-68.

Waddington J.M. & Price J.S. (2000). Effect of peatland drainage, harvesting, and restoration on atmospheric water and carbon exchange. *Physical geography*, 21 (5) : 433-451.

Walker D. (1970). Direction and rate in some British post-glacial hydroseres. *In* : Walker D. and West R. (éds.), *Studies in the vegetational history of the British Isles*, 117-139.

ANNEXE 1. Topographie de T1 (a) et de T2 (b). Les mesures ont été prises tous les 5 m, les altitudes ont été cumulées et les profondeurs réelles ont été obtenues en soustrayant aux altitudes cumulées les profondeurs. Les deux traits rouges indiquent les points de carottage.