

Orpalm

Synthesis

2022 - No 15 (1)



Mont Lozère (3)

Photo de couverture : Cécile Latapy



ORPALM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléoécologie
n° 15 (1) - Année 2022

Editeurs en chef
Jean-Frédéric TERRAL^{1,2}
Serge MULLER^{1,2}

Editeurs associés
Colline BONNET^{1,2}
Laurent BRÉMOND^{1,3}
Vincent MONTADE^{1,4}

¹ISEM, ²UM, ³EPHE, ⁴CNRS

Auteurs

Samuel BIZ, Nolwenn BOURHIS,
Baptiste CLERC, Loïc DAVID,
Lucas DIMANCHE, Marine FIX,
Eolia GOKPON, Adeline
HEMELSDAËL, Cécile LATAPY, Noé
MOROY, Auriane MOUSNIER,
Maddalena PASSELERGUE, Camille
TOURNAIRE

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
3^e trimestre 2022
Université de Montpellier

ORPAM 2021-2022

Mont Lozère 3 : La Lozère, de lauzes et de serres

C'est la 3^{ème} année consécutive que la Lozère accueille l'école de terrain ORPAM (1-3 septembre 2021). Peut-être était-ce le moment d'écrire quelques petits mots sur le département le moins peuplé de France.

Le nom du département de la Lozère viendrait du nom occitan *Losera*, lui-même issu de l'association de deux termes : Lausa (lauze ou lause en français), pierre plate utilisée pour la construction de la couverture de toits et Serre, qui signifie crête ou colline de forme allongée, typique des montagnes érodées du Massif Central. Ce département a vu le jour juste après la révolution française, le 4 mars 1790, en lieu et place du Gévaudan, ancienne province et évêché.

La Lozère est un de ces départements comme le Cantal voisin (les Monts du Cantal) qui tirent leur nom d'une montagne, en l'occurrence le Mont Lozère. Mais bizarrement, le nom du département est féminin alors que son éponyme est masculin. Peut-être le Mont Lozère culminant à 1699 m (Sommet de Finiels) était-il jadis appelé Montagne Lozère ou Montagne de Lozère, à moins que le "a" final de Losera lui confère sa féminité...

Et de reliefs, il en est vraiment question en Lozère qui appartient à 4 zones géographiques et géologiques distinctes partagées avec les départements voisins : les Cévennes incluant le Mont Lozère, principalement granitique et schisteuse ; les Causses (plateaux calcaires vallonnés et incisés) ; l'Aubrac (plateau basaltique) et la

Margeride (essentiellement granitique). En relation avec son orographie, la Lozère est surnommée le pays des sources. En effet, 437 cours d'eau parcourent le département sur près de 2700 km linéaires sans qu'aucun d'entre eux ne provienne d'un département voisin. Les cours d'eau les plus connus alimentent trois grands bassins versants : le bassin de la Garonne (le Lot et le Tarn), le bassin de la Loire (l'Allier qui est l'une des trois rivières françaises dont l'amont compte plusieurs dizaines de frayères à saumon) et le bassin du Rhône (les Gardons cévenols et le Chassezac). Aussi, avec un si grand nombre de sources, il n'est pas étonnant de retrouver en Lozère un nombre élevé de zones tourbeuses parmi lesquelles les tourbières du Peschio et des Grandes Nasses, lieu de pèlerinage de l'école de terrain ORPAM 2021.

« *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 3^{ème} 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.

Un grand merci (1) au département Biologie-Ecologie (Faculté des Sciences, Université de Montpellier) et à l'Institut des Sciences de l'Evolution-Montpellier (ISEM, UMR 5554) laboratoire de recherche leader en France, soutien de l'innovation pédagogique et qui nous permet de développer depuis des années, grâce à la mise à disposition de plateaux techniques, cet apprentissage par la recherche et pour la recherche ; (2) à Mireille Mazoyer pour son accueil aux gîtes communaux du Pont-de-Monvert ; (3) à Corinne et Edgar de l'hôtel-restaurant La Truite enchantée du Pont-de-Monvert ; (4) au Parc National des Cévennes de nous avoir permis de travailler sur la tourbière du Peschio et des Grandes Nasses ; (5) à Emeric Sulmont, qui nous a fait l'amitié et l'honneur de rejoindre l'équipe sur le terrain. Sa connaissance du terrain, ses compétences naturalistes, écologiques et historiques et sa pédagogie ont été une fois encore capitales.

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

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



La preuve par l'image : aucun des ORPAMIENS 2021, cette promotion d'anarchistes tourbiphiles libertins, ne porte de masque, et ce au mépris des plus élémentaires règles sanitaires. Non contents de poser (presque) nus, certains se vautrent dans la fange dans des postures lascives, sous le regard concupissant de la meute qui les entoure et les encourage de ses cris obscènes. Heureusement, la marée-chaussée veille d'un œil débonnaire, appuyée par les MaGiBaG (Men and Girl in Black and Grey), que l'on reconnaît à leurs lunettes noires et à leur air méchant.

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 3^e et 4^e 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 2021-2022

Mont Lozère (3)

Muller S.D., Bremond L., Bonnet C., Girard V., Montade V. & Terral J.-F. : <i>Le mystère des dynamiques holocènes du hêtre et du sapin dans le sud du Massif Central</i>	9
Hemelsdaël A. & Tourniaire C. : <i>La tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère) : âge de la tourbière et sédimentologie</i>	21
Bourhis N. & Gokpon E. : <i>Caractérisation de la tourbe et identification des macrorestes : la séquence de la tourbière du Peschio (Mont Lozère)</i>	39
Moroy N., Mousnier A., Passelergue M. : <i>Dynamiques postglaciaires de végétation à l'échelle locale et régionale sur le Mont Lozère</i>	51
Biz S., Dimanche L., Fix M. : <i>Dynamique des feux sur le Mont Lozère : étude comparative des tourbières du Peschio et des Nassettes</i>	71
Clerc B., David L. & Latapy C. : <i>Reconstitution de la dynamique holocène de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France), à partir des palynomorphes non polliniques</i>	89



Moment d'émotion : l'observation du rare lycopode inondé (Lycopodiella inundata, Lycopodiaceae) à proximité du sentier du Mas Camargue, aux sources du Tarn. Il est accompagné de Drosera rotundifolia et de Sphagnum auriculatum.

LE MYSTERE DES DYNAMIQUES HOLOCENES DU HETRE ET DU SAPIN DANS LE SUD DU MASSIF CENTRAL

Serge D. Muller ¹, Laurent Bremond, Colline Bonnet, Vincent Girard, 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., 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.

Résumé : Le hêtre et le sapin sont les espèces dominantes de l'étage montagnard du Massif Central, mais leur dynamique postglaciaire dans cette région est encore mal comprise. La réinterprétation de plusieurs sites sélectionnés pour leur bon contrôle chronologique confirme l'absence de refuges glaciaires dans le sud de la France pour les deux espèces, et suggère une migration nord-sud pour le sapin et est-ouest pour le hêtre. Tandis que l'expansion du sapin semble plutôt contrôlée par le gradient climatique nord-sud, celle du hêtre pourrait avoir été influencée par les activités humaines.

Mots clés : chronologie, migration, postglaciaire, compétition, forêt mixte

Abstract: *The mystery of Holocene dynamics of beech and fir in southern Massif Central.* The beech and the fir are the dominant species of the Mountain Belt of the Massif Central, but their postglacial dynamics in this region is still largely unknown. The reinterpretation of some sites selected for their good chronological control confirms the absence of glacial refugia in the southern France for both species, and suggests a southward migration for the fir and a westward one for the beech. Although the fir expansion seems to have been controlled by the north-south climate gradient, the beech expansion could have been rather triggered by human activities.

Keywords: chronology, migration, postglacial, competition, mixt forest

Le hêtre (*Fagus sylvatica*, Fagaceae) et le sapin (*Abies alba*, Pinaceae) sont les deux espèces dominantes de l'étage montagnard de l'Europe (San-Miguel-Ayanz et al., 2016). En raison de leurs exigences écologiques très proches, ils constituent ensemble une forêt mixte, la hêtraie-sapinière. Toutefois, la gestion forestière privilégie généralement le hêtre, qui rejette de souche, au détriment du sapin, tandis que les conditions climatiques peuvent localement favoriser le sapin, moins sensible que le hêtre à la sécheresse estivale. La dynamique passée de ces deux espèces a fait l'objet de nombreuses études, qui ont

notamment permis de localiser leurs refuges glaciaires et de préciser leurs voies de migration postglaciaire.

Les refuges glaciaires du hêtre sont principalement localisés dans les Carpathes, les Alpes Dinariques, la Calabre et la Péninsule Ibérique (Magri et al., 2006 ; López-Merino et al., 2008 ; Magri, 2008 ; Brus, 2010), mais certains auteurs suggèrent la persistance de refuges sur le littoral méditerranéen français (Triat-Laval, 1979 ; Delhon & Thiébaud, 2005 ; Azuara et al., 2018). La phylogéographie de cette espèce, qui montre une grande homogénéité génétique sur l'ensemble de l'aire de répartition

(Demasure et al., 1996), indique que seul le refuge des Carpathes se serait exprimé, ce qui est supporté par la migration nord-sud mise en évidence dans les Alpes par van der Knaap et al. (2005).

Les refuges du sapin sont localisés dans les Alpes Dinariques, le nord de l'Adriatique, la Calabre et le nord de la Péninsule Ibérique (Terhürne-Berson et al., 2004). La différenciation génétique des populations de la Cordillère Cantabrique, des Pyrénées et de Calabre indique que les refuges nord-ibérique et sud-italien n'ont pas participé à la recolonisation post-glaciaire (Konnert & Bergmann, 1995 ; Fady et al., 1999). Les deux autres zones refuges ont quant à elles généré deux voies de migration, qui ont donné des zones de contact dans le nord des Alpes Dinariques et dans les Carpathes (Liepelt et al., 2009). La vitesse de migration maximale a été estimée à 250 m/an (Cheddadi et al., 2014). Les Alpes françaises ont été colonisées par le sud, à partir du refuge nord-adriatique vers 10 000 cal. BP : le sapin s'est d'abord étendu dans les zones externes, avant de pénétrer, dans un second temps, dans les vallées internes (Muller et al., 2007).

Puisque le hêtre et le sapin ne sont jamais sortis de leurs refuges ibériques et pyrénéens, le Massif Central a forcément été colonisé par ces deux espèces à partir des Alpes. Mais en l'absence de travaux dédiés et de synthèse régionale basée sur des chronologies fiables,

la dynamique des deux espèces sur l'ensemble du massif est encore mal connue. Les études réalisées dans le cadre d'ORPALM depuis plusieurs années dans le Massif Central offrent une opportunité de faire un point sur ce problème paléobiogéographique et d'essayer de préciser la dynamique postglaciaire du hêtre et du sapin dans le sud du Massif Central.

MATERIEL ET METHODES

1- Dynamique postglaciaire

Watts (1973), Birks (1986), Lang (1992) et van der Knaap et al. (2005) ont discuté l'interprétation de la migration des arbres à partir des données palynologiques. Ils distinguent trois phases dans la dynamique postglaciaire des taxons arborés :

- l'apparition (approche de la région géographique concernée), correspondant aux premières occurrences éparses (moins de 1 %),
- l'immigration (installation dans la région géographique concernée), correspondant au début de la courbe continue, qui correspond souvent à des occurrences d'environ 1 %,
- l'expansion (constitution de forêts), correspondant à la forte augmentation des pourcentages polliniques.

Table 1. Séquences polliniques utilisées

Site	Code	Long. N	Lat. E	Alt. (m)	Références
<i>Monts de Lacaune, Hérault</i>					
Canroute	CAN	43°38'48"	02°34'35"	790	Terral & Muller, 2018, 2019
<i>Massif du Somail, Lac de Vézoles, Hérault</i>					
Baïssescure	BAIS	43°33'31"	02°48'08"	1000	de Beaulieu, 1967, 1969, 1974
Gatimort	GATI	43°34'31"	02°47'08"	1000	Pulido Avila, 2006
<i>Monts d'Aubrac, Lozère</i>					
Bonnecombe	BONN	44°33'47"	03°07'26"	1340	de Beaulieu et al., 1985
La Chaumette	CHAU	44°43'06"	03°05'17"	1215	de Beaulieu et al., 1985
<i>Mont Lozère, Lozère</i>					
L'Amourous	LAM	44°26'05"	03°39'48"	1550	Servira Vives, 2014
<i>Planèze St-Flour, Cantal</i>					
Cheylade	CHEY	45°11'05"	02°42'17"	1040	Reille & de Beaulieu, 1981

2- Sites d'étude

Ces différentes phases ont été recherchées sur les diagrammes polliniques les mieux datés du sud du Massif Central (Muller et al., 2019), ainsi que sur quelques diagrammes sélectionnés dans des régions plus septentrionales (Table 1).

3- Datations radiocarbone

Les âges étalonnés (cal. BP, i.e. années calendaires *before present*) ont été calculés à

l'aide de Calib 8.1.0 (Stuiver & Reimer, 1993), en utilisant le référentiel IntCal20 (Reimer et al., 2020). Les modèles d'âge ont été réalisés sur R, avec le package Clam (Blaauw, 2010).

RESULTATS

1- Chronologie

Les datations radiocarbone utilisées sont présentées Table 2.

Table 2. Datations radiocarbone des sites étudiés

Site	Code	Code Labo	Prof. (cm)	Age BP	Age cal.BP	Référence
L'Amourous	LAM	UGAMS-8013	50-51	1630 ± 25	1550-1410	Servira Vives, 2014
	-	UGAMS-8865	61-62	2520 ± 20	2730-2500	-
	-	UGAMS-8014	111-112	3500 ± 25	3840-3690	-
	-	UGAMS-8866	124-125	4240 ± 25	4860-4650	-
	-	UGAMS-8015	171-172	5490 ± 30	6390-6206	-
	-	UGAMS-8867	203-204	5660 ± 25	6500-6350	-
	-	UGAMS-6549	230-231	6930 ± 30	7830-7680	-
Baissescure	BAIS	Ly-1137	92,5	3700 ± 130	4410-3710	EPD
	-	Ly-777	102,5	4720 ± 150	5840-4970	de Beaulieu, 1974
	-	Ly-778	122,5	6010 ± 160	7250-6500	-
	-	Gif-1104	140	6000 ± 250	7410-6320	EPD
	-	Ly-779	162,5	7250 ± 190	8400-7700	de Beaulieu, 1974
Bonnecombe	BONN	Ly 2558	20-30	2290 ± 210	2790-1820	de Beaulieu et al., 1985
	-	Ly ?	105-112	5150 ± 210	6400-5470	-
	-	Ly 2560	200-210	6900 ± 310	8370-7180	-
	-	Ly 2561	285-290	9500 ± 240	11600-10190	-
	-	Ly 2562	300-307	9180 ± 180	11070-9770	-
	-	Ly 2563	325-335	10260 ± 370	12800-10790	-
	-	Ly ??	355-360	10640 ± 300	13100-11410	-
Canroute	CAN02-A1	Poz-129948	19-20	345 ± 30	480-310	Bremond & Muller, inédit
	-	Poz-109171	39-40	3150 ± 35	3450-3260	-
	-	Poz-129949	59-60	4380 ± 35	5040-4860	-
	-	Poz-141932	75-76	5120 ± 40	5980-5750	-
	-	Poz-109172	79-80	5200 ± 35	6160-5900	-
	CAN02-A2	Poz-142282	85-86	5640 ± 40	6490-6310	-
	-	Poz-142283	95-96	5690 ± 40	6620-6360	-
	-	Poz-129950	99-100	5710 ± 35	6620-6400	-
	-	Poz-129951	109-110	5940 ± 40	6880-6670	-
	-	Poz-109174	119-120	6710 ± 30	7660-7510	-
	-	Poz-129995	129-130	7830 ± 50	8970-8450	-
	-	Poz-129996	139-140	9790 ± 50	11310-11110	-

Table 2. suite

Site	Code	Code Labo	Prof. (cm)	Age BP	Age cal.BP	Référence
Cheylade	CHEY	Ly-2067	80-90	4180 ± 160	5280-4250	Reille & de Beaulieu, 1981
	-	Ly-2068	130-140	5560 ± 170	6730-5950	-
	-	Ly-2069	170-180	6790 ± 190	7990-7320	-
	-	Ly-2070	220-230	8220 ± 200	9540-8610	-
	-	Ly-2108	250-260	8930 ± 180	10480-9540	-
	-	Ly-2109	260-270	9250 ± 380	11600-9490	-
	-	Ly-2072	320-330	10440 ± 220	12730-11410	-
Chaumette	CHAU	Ly-2110	22	4300 ± 180	5540-4420	de Beaulieu et al., 1985
	-	Ly-2111	57	4670 ± 190	5840-4860	-
	-	Ly-2112	137	6880 ± 200	8160-7420	-
	-	Ly-2113	182	7980 ± 260	9480-8370	-
	-	Ly-2114	296	10430 ± 570	13420-10700	-
	-	Ly-1857	342	10190 ± 360	12760-10790	-
	-	Ly-1858	407	10370 ± 340	12900-11210	-
	-	Ly-2115	418	11490 ± 170	13750-13100	-
Gatimort	GATI	Poz-6100	35	700 ± 30	690-560	Pulido Avila, 2006
	-	Poz-6101	61	1470 ± 30	1400-1300	-
	-	Poz-6102	84	5700 ± 40	6630-6400	-
	-	Poz-6179	110	6870 ± 40	7790-7620	-

2- Phases de la migration

Les différentes phases de la migration du hêtre et du sapin identifiées dans les diagrammes polliniques étudiés sont cartographiées [Figure 1](#). Les principales dates qui peuvent en être tirées sont les suivantes.

Abies alba

- Apparition : datée vers 7500-7300 cal. BP en Lozère
- Immigration : d'abord dans le Cantal (7200 cal. BP), puis vers 6700 cal. BP sur la marge sud-est, et enfin vers 6400-6200 cal. BP en Aubrac et en Lozère (date douteuse de 8200 cal. BP à Gatimort non prise en compte)
- Expansion : vers 6900 cal. BP dans le Cantal, vers 5000 cal. BP en Aubrac et vers 4700 cal. BP sur la marge sud-ouest
- Déclin : entre 2000 et 1300 cal. BP

Fagus sylvatica

- Apparition : datée vers 8000 cal. BP sur le Mont Lozère et vers 6500 cal. BP à Canroute
- Immigration : d'abord sur le Mont Lozère (7100 cal. BP), le Cantal (6600 cal. BP), l'Aubrac (6400 cal. BP), puis la marge sud-ouest, entre 6300 et 6000 cal. BP
- Expansion : entre 5800 et 4700 cal. BP
- Déclin : entre 2100 et 1400 cal. BP

DISCUSSION

1- Dynamique postglaciaire du sapin (*Abies alba*)

L'apparition du sapin dans les spectres polliniques, et donc dans la végétation régionale, est enregistrée en Lozère vers 7400 cal. BP ([Fig. 1](#)), plus de 2500 ans après son immigration effective dans la région de Grenoble ([Muller et al., 2007](#)).

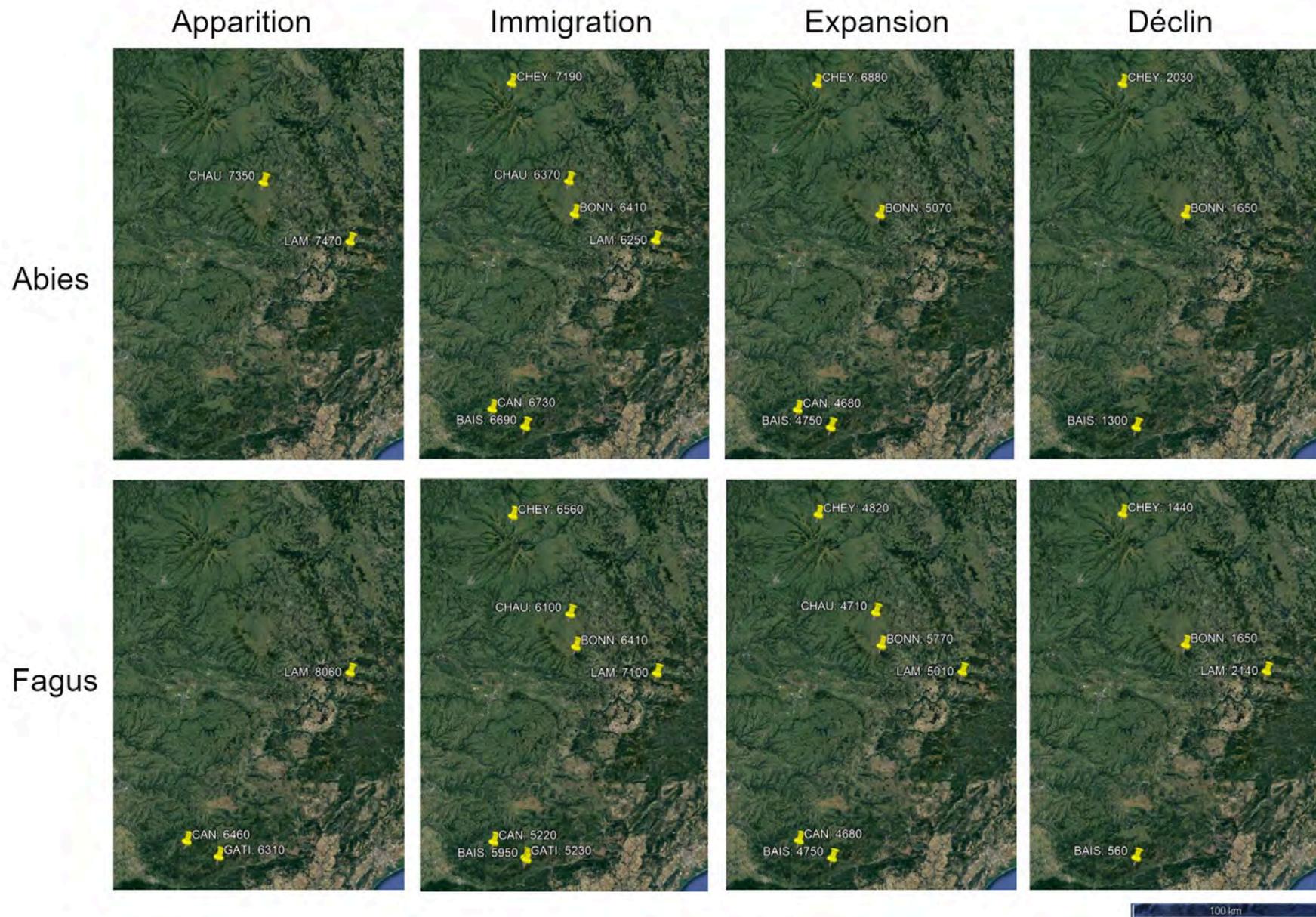


Figure 1. Dynamique postglaciaire du sapin et du hêtre dans le sud du Massif Central

Cette date tardive est confirmée par celle de son immigration, estimée vers 7200 cal. BP dans le Cantal. Il s'installe ensuite vers 6700 cal. BP dans l'extrémité sud-ouest, vers 6400-6200 cal. BP en Aubrac et en Lozère. Ces dates, ainsi que son apparition très précoce, dès 9040 cal. BP, dans le Massif du Pilat (Argant, 1993 ; Argant & Cubizolle, 2005), suggèrent clairement une colonisation du Massif Central par le nord. Il semblerait que le sapin n'ait pas réussi à traverser la basse vallée du Rhône et qu'il n'ait pu pénétrer dans le Massif Central que par les Alpes du Nord.

Son expansion est elle-aussi enregistrée de manière plus précoce dans le Cantal (vers 6900 cal. BP) que dans l'Aubrac (vers 5000 cal. BP) et dans les massifs sud-occidentaux (vers 4700 cal. BP). Le délai entre l'immigration et l'expansion correspond en théorie au temps nécessaire pour que les populations se densifient suffisamment pour constituer des peuplements conséquents. De 300 ans dans le Cantal, ce délai s'allonge à 1300 ans dans l'Aubrac et à 2000 ans dans le sud-ouest (Fig. 1). On peut voir là une manifestation du gradient climatique nord-sud, qui aurait ralenti l'expansion de l'espèce dans les régions sous influence méditerranéenne, où la compétition des autres espèces forestières serait plus forte.

Enfin, le déclin du sapin est également enregistré de manière plus précoce dans le Cantal (vers 2000 cal. BP) que dans l'Aubrac (vers 400 AD) et le sud-ouest (vers 700 AD). Ces dates, comprises entre l'époque gallo-romaine et le haut Moyen-Age, sont cohérentes avec un déterminisme anthropique, responsable à la même époque, dans les Alpes du Sud, du morcellement des forêts d'altitude et de la régression des zones humides (Muller et al., 2006, 2012).

2- Dynamique postglaciaire du hêtre (*Fagus sylvatica*)

L'hypothèse de refuges glaciaires du hêtre dans la basse vallée du Rhône (Delhon & Thiébaud, 2005 ; Azuara et al., 2018), est basée sur quelques occurrences polliniques au Dryas récent et au Préboréal (Triat-Laval,

1979 ; Argant, 1988). De tels enregistrements, qui existent également pour le sapin (cf. Muller et al., 2007), sont trop isolés et discontinus pour traduire la présence locale de l'espèce et proviennent très certainement d'un transport lointain depuis les zones refuges. Les deux charbons de bois identifiés à la transition Dryas récent-Préboréal sur le site des Baraquettes, dans le Cantal (Heinz, 2003), ne peuvent également pas être interprétés comme traduisant la présence locale du hêtre : ils peuvent avoir été transportés par des populations humaines. Quoiqu'il en soit, les données palynologiques et chronologiques synthétisées ici (Tables 1 et 2) ne supportent pas l'hypothèse de refuges glaciaires du hêtre dans le sud de la France. Alors que des grains isolés sont notés dès 9980 cal. BP sur le Massif du Pilat (Argant & Cubizolle, 2005), l'apparition significative du hêtre dans les spectres polliniques, et donc dans la végétation régionale, n'est en effet enregistrée que vers 8000 cal. BP sur le littoral héraultais (Azuara et al., 2018) et en Lozère, puis vers 6400 cal. BP dans le sud-ouest du Massif Central (Fig. 1). Le maintien de refuges glaciaires dans la région méditerranéenne française se serait forcément traduit par une immigration beaucoup plus précoce sur les reliefs méridionaux, comme celle des autres arbres forestiers (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*...), qui y sont enregistrés dès le début de l'Holocène (de Beaulieu et al., 1974, 1984).

Le hêtre immigre d'abord dans les Cévennes vers 7100 cal. BP, avant de coloniser les régions plus septentrionales entre 6600 et 6100 cal. BP et le sud-ouest entre 6000 et 5200 cal. BP. Ces résultats suggèrent une migration est-ouest, avec une possible pénétration dans le Massif Central par la basse vallée du Rhône, qui n'a sans doute pas joué pour cette espèce le rôle de barrière qu'elle a joué pour le sapin. Cette hypothèse est en accord avec les données paléanthracologiques (Delhon & Thiébaud, 2005) et avec l'existence de hêtraies relictuelles de basse altitude dans la basse vallée du Rhône. Elle n'exclut évidemment pas la possibilité d'une migration selon un front nord-sud, parallèle à la vallée du Rhône,

avec de multiples zones de passage entre les Alpes et le Massif Central.

L'expansion du hêtre aurait débuté vers 5800 cal. BP dans l'Aubrac, puis beaucoup plus tardivement, entre 5000 et 4700 cal. BP dans les autres régions du Massif Central. Ces dates sont cohérentes avec les dates retenues pour cet événement dans l'Hérault (après 6000 cal. BP ; [Azulara et al., 2018](#)) et dans le Massif Central oriental granitique (début du Subboréal, c'est-à-dire vers 5500 cal. BP ; [Argant & Cubizolle, 2005](#)). [Azulara et al. \(2018\)](#) suggèrent que ce changement résulterait à la fois de modifications climatiques et anthropiques. Toutefois, le délai entre l'immigration et l'expansion, calculé à partir des données synthétisées ici ([Fig. 1](#)), compris entre 540 et 2090 ans, ne révèle aucun gradient géographique. Cette absence de schéma géographique suggère un rôle prédominant des activités humaines, par ailleurs clairement mis en évidence à cette époque dans le Massif Central ([Reille, 1988](#) ; [Miras et al., 2004a](#) ; [Argant & Cubizolle, 2005](#)).

Enfin, le déclin du hêtre est enregistré entre 2140 et 560 cal. BP, c'est-à-dire entre l'Age du Fer et la fin du Moyen-Age. Là encore, l'asynchronisme de cet événement révèle l'influence des perturbations d'origine anthropique. Il est toutefois intéressant de noter que si la régression du sapin et du hêtre sont contemporaines dans l'Aubrac, ce n'est le cas ni dans le Cantal, ni dans le massif du Somail ([Fig. 1](#)).

3- Dynamique relative des deux espèces

C'est généralement le hêtre qui domine l'histoire de la seconde moitié de l'Holocène dans le Massif Central ([de Beaulieu, 1974](#) ; [de Beaulieu et al., 1984](#) ; [Reille, 1988](#) ; [Miras et al., 2004b, 2015](#) ; [Argant & Cubizolle, 2005](#)). Toutefois, quelques rares sites révèlent une situation de codominance, comme à Canroute, dans les Monts de Lacaune ([Bonnet, 2021](#)), ou de dominance du sapin, comme à Cheylade et Lapsou, dans les Monts du Cantal ([Reille & de Beaulieu, 1981](#) ; [Dubois & Plancher, 2017](#) ; [Plancher, 2017](#)) ou à la Digonnière, dans le Massif du Pilat ([Argant &](#)

[Cubizolle, 2005](#)). Ces exceptions révèlent probablement l'influence des conditions stationnelles ou microclimatiques, mais elles pourraient également être liées à l'ordre d'immigration des deux espèces. Selon cette hypothèse, dite du « premier arrivé », la compétition exercée par la première espèce ralentirait l'immigration de la seconde et limiterait son expansion. Les cas de codominance pourraient alors correspondre à une arrivée simultanée des deux protagonistes. Ce schéma expliquerait par exemple l'arrivée tardive, vers 2000 cal. BP, de l'épicéa (*Picea abies*) dans les Alpes françaises ([de Beaulieu et al., 1993](#) ; [Ravazzi, 2002](#)). Sa migration vers l'ouest, depuis ses refuges en Europe de l'Est, aurait été freinée par les autres arbres forestiers (chênes, hêtre, sapin...).

A l'échelle du sud du Massif Central, les dates d'immigration du hêtre et du sapin, estimées à partir des diagrammes polliniques étudiés ([Fig. 1](#)), ne valident pas l'hypothèse du premier arrivé. Sur l'ensemble des sites étudiés, bien que le sapin arrive souvent le premier, c'est le hêtre qui devient généralement dominant. Seuls deux sites montrent la dominance du premier arrivé : L'Amourous pour le hêtre et Cheylade pour le sapin. On pourrait également ajouter Canroute, où l'arrivée plus précoce du sapin débouche sur une codominance des deux espèces.

CONCLUSION

Bien que très parcellaires, les données palynologiques et chronologiques sélectionnées dans le cadre de ce travail permettent de lever un voile sur l'histoire postglaciaire du hêtre et du sapin dans le Massif Central français. Elles confirment l'absence de refuge glaciaire dans le sud de la France pour les deux espèces. Si pour le sapin, ce fait semble acquis ([Muller et al., 2007](#)), il n'en est pas de même pour le hêtre, puisqu'à la suite de [Triat-Laval \(1979\)](#), [Delhon & Thiébaud \(2005\)](#) et [Azulara et al. \(2018\)](#) ont récemment continué à soutenir l'idée de la persistance de refuges sur le littoral méditerranéen français. Dans un second temps, les données réunies révèlent

une migration nord-sud pour le sapin et est-ouest pour le hêtre. Cette différence, à la lumière de celle mise en évidence à l'échelle des Alpes par [van der Knaap et al. \(2005\)](#), montre que les deux espèces, en dépit de leurs exigences écologiques similaires, ont eu des dynamiques postglaciaires relativement différentes. Enfin, le rôle des populations humaines semble avoir été déterminant, d'abord dans l'expansion du hêtre après 6000 cal. BP, puis dans le déclin des deux espèces à partir de l'Age du Fer.

REFERENCES

- Argant J. (1988). *Analyses Palynologiques de gisements Quaternaires du Bassin du Rhône*. Thèse, Université Lyon I, Lyon.
- Argant J. (1993). Premières indications sur la végétation lyonnaise à l'Holocène d'après l'analyse pollinique. *Palynosciences*, 2 : 57-78.
- Argant J. & Cubizolle H. (2005). L'évolution holocène de la végétation des monts de la Madeleine, du Forez, du Livradois et du Pilat (Massif Central oriental, France) : l'apport d'une nouvelle série d'analyses palynologiques. *Quaternaire*, 16 : 119-142.
- Azuara J., Lebreton V., Peyron O., Mazier F. & Combourieu-Nebout N. (2018). The Holocene history of low altitude Mediterranean *Fagus sylvatica* forests in southern France. *Journal of Vegetation Science*, 29 : 438-449.
- Birks H.J.B. (1986). Late-Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. In : B.E. Berglund (éd.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Wiley, Chichester, pp. 3-65.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for "classical" age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5 : 512-518.
- Bonnet C. (2021). *Impact du pâturage sur les communautés végétales de la tourbière de Canroute (Monts de Lacaune, Massif Central) depuis 5 000 ans*. Master 2, Université de Montpellier.
- Brus R. (2010). Growing evidence for the existence of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the south-eastern Alps and north-western Dinaric Alps. *Periodicum Biologorum*, 112 (3) : 239-246.
- Cheddadi R., Birks H.J.B., Tarroso P., Liepelt S., Gömöry D., Dullinger S., Meier E.S., Hülber K., Maiorano L. & Laborde H. (2014). Revisiting tree-migration rates: *Abies alba* (Mill.), a case study. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23 : 113-122.
- de Beaulieu J.-L. (1967). *Recherches pollenanalytiques sur les tourbières des Monts de l'Espinouse (Hérault)*. Diplôme d'Etudes Supérieures (Sciences Naturelles), Université d'Aix-Marseille, Marseille.
- de Beaulieu J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et Spores*, 11 (1) : 83-96.
- de Beaulieu J.-L. (1974). Évolution de la végétation sur la bordure montagneuse cévenole au postglaciaire, d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.
- de Beaulieu J.-L., Coûteaux M., Pons A. & Reille M. (1984). Première approche d'une histoire postwürmienne de quelques taxons arboréens dans le sud-est de la France. *Revue de Paléobiologie de Genève*, NS : 11-24.
- de Beaulieu J.-L., Pons A. & Reille M. (1985). Recherches pollenanalytiques 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., Kostenzer J. & Reich K. (1993). Dynamique forestière holocène dans la haute vallée de l'Arve (Haute-Savoie) et migrations de *Abies* et *Picea* dans les Alpes occidentales. *Dissertationes Botanicae*, 196 : 387-398.
- Delhon C. & Thiébaud S. (2005). The migration of beech (*Fagus sylvatica* L.) up the Rhone: the Mediterranean history of a "mountain" species. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14 : 119-132.

- Demesure B., Comps B. & Petit R.J. (1996). Chloroplast DNA phylogeography of the common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Europe. *Evolution*, 50 (6) : 2515-2520.
- Dubois M. & Plancher C. (2017). Dynamiques paléoenvironnementales holocènes de la tourbière de Lapsou (Cantal, France). *Orpalm Synthesis*, 10 (2) : 37-48.
- Fady B., Forest I., Hochu I., Ribiollet A., de Beaulieu J.-L. & Pastuszka P. (1999). Genetic differentiation in *Abies alba* Mill. populations from southeastern France. *Forest Genetics*, 6 : 129-138.
- Heinz C. (2003). Données anthracologiques. In : F. Surmely (dir.), *Le site mésolithique des Baraquettes (Velzic, Cantal) et le peuplement de la moyenne montagne cantalienne, des origines à la fin du Mésolithique*. Mémoire 32, Société Préhistorique Française, Paris, pp. 185-187.
- Konnert M. & Bergmann F. (1995). The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, Pinaceae) in relation to its migration history. *Plant Systematics and Evolution*, 196 : 19-30.
- Lang G. (1992). Some aspects of European late- and postglacial flora history. *Acta Botanica Fennica*, 144 : 1-17.
- Liepelt S., Cheddadi R., de Beaulieu J.-L., Fady B., Gömöry D., Hussendörfer E., Konnert M., Litt T., Longauer R., Terhürne-Berson R. & Ziegenhagen B. (2009). Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) — A synthesis from palaeobotanic and genetic data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153 : 139-149.
- López-Merino L., López-Sáez J.A., Ruiz Zapata M.B. & Gil García M.J. (2008). Reconstructing the history of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the north-western Iberian Range (Spain): From Late-Glacial refugia to the Holocene anthropic-induced forests. *Review of Palaeobotany and Palynology* 152 : 58-65.
- Magri D., Vendramin G.G., Comps B., Dupanloup I., Geburek T., Gömöry D., Latalova M., Litt T., Paule L., Roure J.M., Tantau I., Van der Knaap W.O., Petit R.J. & de Beaulieu J.-L. (2006). A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist*, 171 : 199-221.
- Magri D. (2008). Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography*, 35 : 450-463.
- Miras Y., Vergne V., Guenet P. & Surmely F. (2004a). Le Massif Central : premières traces d'anthropisation révélées par l'analyse pollinique des zones humides corrélées aux données archéologiques. In : H. Richard (dir.), *Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Presses Universitaires Franc-Comtoises (Annales Littéraires : 777. Série Environnement, sociétés et archéologie, 7), Besançon, pp. 89-105.
- Miras Y., Laggoun-Defarge F., Guenet P. & Richard H. (2004b). Multi-disciplinary approach to changes in agro-pastoral activities since the Subboreal in the surroundings of the "narse d'Espinasse" (Puy de Dôme, French Massif Central). *Vegetation History and Archaeobotany*, 13 : 91-103.
- Miras Y., Beauger A., Lavrieux M., Berthon V., Serieyssel K., Andrieu-Ponel V. & Ledger P.M. (2015). Tracking long-term human impacts on landscape, vegetal biodiversity and water quality in the Lake Aydat catchment (Auvergne, France) using pollen, non-pollen palynomorphs and diatom assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 424 : 76-90.
- Muller S.D., Nakagawa T., Beaulieu J.-L. de, Court-Picon M., Fauquette S. & Genries A. (2006). Paléostratigraphie de végétation à la limite supérieure des forêts, dans les Alpes françaises internes. *Comptes Rendus Biologies*, 329 : 502-511.
- Muller S.D., Nakagawa T., de Beaulieu J.-L., Court-Picon M., Carcaillet C., Miramont C., Roiron P., Bouterin C., Ali A.A. & Bruneton H. (2007). Postglacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the

- southwestern Alps. *Journal of Biogeography*, 34 : 876-899.
- Muller S.D., Miramont C., Bruneton H., Carré M., Sottocornola M., Court-Picon M., de Beaulieu J.-L., Nakagawa T. & Schevin P. (2012). A palaeoecological perspective for the conservation and restoration of wetland plant communities in the central French Alps, with particular emphasis on alder carr vegetation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 171 : 124-139.
- Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2019). Âge des tourbières de la marge méridionale du Massif Central. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 9-15.
- Plancher C. (2017). *Végétations holocènes reflétées par le registre pollinique de la tourbière de Lapsou (Massif Central, France) : histoires paléobotaniques du site et de la région d'étude*. Master 1, Université de Montpellier.
- 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, Marseille.
- Ravazzi C. (2002). Late Quaternary history of spruce in southern Europe. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 120 : 131-177.
- Reille M. & de Beaulieu J.-L. (1981). Analyse pollinique de l'étang de Cheylade (Massif Central, France) : histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la plaine de Saint-Flour. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 292 : 243-246.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la Tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif-Central, France) ; réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.
- 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.
- San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T. & Mauri A., eds. (2016). *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg.
- 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 ¹⁴C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- Terhürne-Berson R., Litt T. & Cheddadi R. (2004). The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data. *Vegetation History and Archaeobotany*, 13 : 257-268.
- Terral J.-F. & Muller S.D., eds. (2018). *Monts de Lacaune. Orpalm synthesis*, 11 (1), Université de Montpellier.
- Terral J.-F. & Muller S.D., eds. (2019). *Monts de Lacaune. Orpalm synthesis*, 12 (1), Université de Montpellier.
- Triat-Laval H. (1979). *Contribution pollenanalytique à l'histoire Tardi- et Postglaciaire de la végétation de la basse vallée du Rhône*. Thèse, Université d'Aix-Marseille III, Marseille.
- van der Knaap W.O., Leeuwen J.F.N., Finsinger W., Gobet E., Pini R., Schweizer A., Valsecchi V. & Ammann B. (2005). Migration and population expansion of *Abies*, *Fagus*, *Picea*, and *Quercus* since 15,000 years in and across the Alps, based on pollen-percentage threshold values. *Quaternary Science Reviews*, 24 : 645-680.

Watts W.A. (1973). Rates of change and stability in vegetation in the perspective of long periods of time. *In* : H.J.B. Birks &

R.G. West (éds.), *Quaternary plant ecology*. Blackwell, Oxford, pp. 195-206.

LA TOURBIERE DES GRANDES NASSES (MONT LOZERE) : AGE DE LA TOURBIERE ET SEDIMENTOLOGIE

Adeline Hemelsdaël ¹, Camille Tourniaire ²

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

¹ adeline.hemelsdael@gmail.com, ² camilletourniaire@hotmail.com

Encadrement : Serge Muller

Citation : Hemelsdaël A. & Tourniaire C. (2022). La tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère) : âge de la tourbière et sédimentologie. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 21-38.

Résumé : Une séquence tourbeuse de 150 cm, prélevée dans la tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère), a été datée et étudiée à travers des méthodes de sédimentologie. Les modèles d'âge et les taux d'accumulation sédimentaire des autres tourbières du Mont Lozère montrent une grande hétérogénéité à l'échelle du massif. L'âge basal des Grandes Nasses (5760 cal. BP), situé à la fin de l'Atlantique, suggère une possible influence anthropique dans l'initiation de la tourbière, et les résultats obtenus indiquent que l'agropastoralisme a probablement été un facteur important de contrôle de la turfigenèse des Grandes Nasses.

Mots clés : perte au feu, humification, taux d'accumulation sédimentaire, agropastoralisme, tourbière

Abstract: *The Grandes Nasses peatland (Mont Lozère): peatland age and sedimentology.* A 150 cm peat profile, taken from the Grandes Nasses peatland (Mont Lozère), was dated and studied using sedimentology methods. The age-depth models and the sediment accumulation rates of the other peatlands of Mont Lozère reveal a great heterogeneity at the scale of the massif. The basal age of the Grandes Nasses (5760 cal. BP), located at the end of the Atlantic, suggests a possible anthropogenic influence in the initiation of the peatland, and the obtained results indicate that agropastoralism was probably an important factor controlling the peat accumulation in the Grandes Nasses.

Keywords: loss on ignition, humification, sediment accumulation rate, agropastoralism, peat

Les tourbières sont des écosystèmes enregistrant l'histoire des paléoenvironnements et des paléoclimats (Chambers et al., 2012). L'accumulation de la tourbe est liée à une production de matière organique supérieure au taux de décomposition (Muller, 2002). Cette dynamique d'accumulation (Moore, 1987) entraîne le stockage de quantités importantes de carbone organique (Gorham, 1991 ; Warner et al., 1993 ; Gignac & Vitt, 1994), sous forme de débris et

macrorestes végétaux, que les conditions anaérobies du catotélme permettent de conserver sur le long terme (Moore, 1998). Il existe 2 grands types de tourbières : les fens qui sont des tourbières minérotrophes (Manneville, 2006), et les bogs, qui sont des tourbières ombrotrophes (Wu & Roulet, 2014). Leur principale différence provient du système hydrologique. Les fens sont alimentés par les eaux de ruissellement, tandis que les bogs dépendent principalement des eaux météoriques. L'analyse et la

caractérisation de la tourbe permettent de reconstituer l'histoire et la dynamique de végétation de la tourbière (Anderson, 2003). Le taux de matière organique (Ball, 1964 ; Heiri et al., 2001 ; Moreno et al., 2001) renseigne sur la présence éventuelle de minéraux (détritisme) dans la tourbe ; associé au taux de décomposition, il permet de déterminer les conditions hydrologiques de formation de la tourbe (Blackford & Chambers, 1993 ; Klavins et al., 2008). Les méthodes d'analyses citées précédemment sont associées à la sédimentologie, d'autres disciplines peuvent permettre d'apporter plus de précision sur l'histoire de la tourbière notamment la palynologie ou l'antracologie. La palynologie est définie comme étant la science des palynomorphes ; ces derniers regroupent différents outils d'étude tels que le pollen, les spores, les diatomées (Halbritter et al., 2018). L'antracologie correspond à l'analyse et à l'interprétation de macrofossiles de charbons de bois (Asouti & Kabukcu, 2021). Elle permet de retracer l'historique des forêts et de comprendre l'évolution de la végétation et du climat (Kabukcu & Chabal, 2021).

L'histoire du Mont Lozère est déjà bien connue à travers de nombreuses études paléoenvironnementales antérieures (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu, 1974 ; Baron et al., 2005 ; Pulido-Avila, 2006 ; Servera-Vives et al., 2014 ; Cornet & Wales, 2020). L'objectif du travail est de présenter une reconstitution préliminaire de l'histoire et la formation d'une tourbière encore jamais étudiée de ce massif : la tourbière des Grandes Nasses, située sur le col de Finiel. Les données réunies durant notre stage ORPAM a pour but de : (1) mettre en relation l'âge basal de la tourbière des Grandes Nasses avec l'âge des autres tourbières du Mont Lozère, (2) caractériser le profil tourbeux et (3) proposer une reconstitution préliminaire de l'histoire passée du site.

MATERIEL ET METHODE

1- Zone et site d'étude

Le Mont Lozère est situé dans le Parc

National des Cévennes. Il fait partie d'un massif granitique allongé d'est en ouest sur 25 km et culminant à 1702 m d'altitude. Le climat y est montagnard et humide. Les sols du Mont Lozère sont stabilisés par la végétation, mais ils s'érodent facilement lorsque le couvert végétal est insuffisant (Vanara & Maire, 2008 ; Follain & Colin, 2020). La végétation actuelle est répartie en fonction de l'altitude et de l'histoire du site, notamment l'anthropisation du milieu (Martin et al., 2002). De 400 à 900 m, les forêts sont dominées par *Quercus petraea* et *Q. pubescens*, puis par *Fagus sylvatica* jusqu'à 1500 m, sous forme de couvert forestier peu dense. Au-delà de 1500 m, se trouvent des pelouses dominées par *Nardus stricta* (Bal et al., 2014).

Plusieurs tourbières du massif ont déjà fait l'objet d'études paléoenvironnementales : L'Amourous, Countrasts, Font-Bernard, les Laubies, les Narses-Mortes, les Nassettes et le Peschio (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu, 1974 ; Baron et al., 2005 ; Pulido-Avila, 2006 ; Servera-Vives et al., 2014 ; Cornet & Wales, 2020). La tourbière des Grandes Nasses est une tourbière ombrotrophe (bog) caractérisée par une prédominance de sphaignes (Annexe 1). Elle est située sur le versant nord-est du Mont Lozère à environ 1475 m d'altitude.

2- Travail de terrain

Deux carottes (B1 : 0-100 cm et B2 : 50-150 cm) ont été prélevées sur la tourbière des Grandes Nasses. Les prélèvements ont été effectués à moins de 10 cm d'écart et sont considérés comme une carotte continue de 150 cm. La localisation du carottage a été choisie au niveau du point le plus profond de la tourbière. Ce point a été préalablement déterminé par une cartographie des profondeurs de la tourbe. Jowsey (1966) montre que l'utilisation d'un carottier russe pour l'extraction limite les erreurs de datations induites par la compaction de la tourbe lors du prélèvement.

3- Caractérisation de la tourbe

La caractérisation de la tourbe est une méthode permettant de déterminer les différents composants de la tourbe et d'estimer leur taux de décomposition sous loupe binoculaire. Cette procédure simplifiée provient des travaux de [Troels-Smith \(1955\)](#) et de [Aaby & Berglund \(1986\)](#). Elle se base sur l'établissement d'un pourcentage relatif des différents éléments présents et leur degré de décomposition ou leur état (Annexe 2). La détermination tient compte du taux de décomposition et du type de reste observé : Detritus (D) signifie que les restes sont reconnaissables mais non-identifiables et Limus (L) qu'ils sont trop décomposés pour être identifiables (généralement inférieurs à 2 mm). Les types de restes peuvent être ligneux (Lignosus, Dl), herbacés (Herbosus, Dh) ou non identifiables (Detrituosus, Ld). Il peut également s'agir de matière minérale, du sable (Sa). Les quantités relatives sont divisées en 4 catégories : < 25%, de 25-50%, de 50-75% et de 75-100%. Afin d'appliquer la méthode, des échantillons d'environ ½ cm ont été prélevés tous les 2 cm sur les carottes B1 (1-72cm) et B2 (74-150cm).

4- Perte au feu

La perte au feu permet de mesurer le taux d'humidité et le pourcentage de matière organique présents dans la tourbe ([Ball, 1964](#) ; [Heiri et al., 2001](#) ; [Moreno et al., 2001](#)). Afin de la réaliser, 22 échantillons ont été prélevés sur les carottes (B1 et B2) tous les 7 cm (Annexe 3) à l'aide d'un emporte-pièce de 1 cm³. Les creusets (résistants aux températures élevées) sont séchés à 105°C pendant 12 h avant d'être refroidis au dessiccateur où ils seront stockés et préservés de l'humidité. Les creusets sont pesés (Ptare). Les échantillons sont ajoutés aux creusets et pesés (P0) puis placés dans une étuve à 150°C pendant 12 h avant d'être refroidis dans un dessiccateur pendant 1 h. Les échantillons sont à nouveau pesés (P150) puis placés dans un four à 550°C pendant 5 h. Ils sont refroidis au dessiccateur et pesés (P550). La différence de poids après chaque étape de chauffe

permet de déterminer la teneur en matière organique :

$$\text{PAF550} = [(P105-P550)/P150]*100$$

5- Taux d'humification

Le taux d'humification peut être déterminé à partir de la coloration de la tourbe ([Stanek & Silc, 1977](#) ; [Drzymulska, 2016](#) ; [Zeccone et al., 2018](#)). Ce taux provient de la décomposition végétale. L'humification est due à la formation d'acides aromatiques qui absorbent les UV ([Blackford & Chambers, 1993](#) ; [Klavins et al., 2008](#)). La méthode la plus employée pour déterminer le taux d'humification de la tourbe consiste en l'extraction chimique des acides humiques par NAOH puis de la mesure de l'absorbance lumineuse de la solution ([Chambers et al, 2010](#)). La procédure a été simplifiée en remplaçant le NAOH par de l'eau distillée afin de diluer la tourbe échantillonnée et d'obtenir une même gamme de teintes que le témoin. Les teintes sont appréciées par les expérimentateurs (la spectrophotométrie de mesure d'absorbance n'est pas utilisée). Le témoin est constitué du prélèvement recueilli au point le plus haut possible (6 cm) dans la carotte, dilué dans de l'eau distillée (7 ml). La teinte de l'échantillon dilué servira de témoin référence. De petites quantités de tourbes sont prélevées à l'aide d'une spatule le long de la carotte tous les 8 cm à partir de 6 cm (entre 1 et 6 cm, la tourbe est trop peu décomposée pour se diluer dans l'eau distillée). Les échantillons sont placés dans une éprouvette graduée contenant un agitateur. L'eau distillée est ajoutée progressivement afin d'atteindre la même teinte que le témoin.

Pour limiter au maximum les biais dus à l'observateur, la comparaison des teintes a été effectuée et choisie par consensus des deux observateurs. Les échantillons de tourbe prélevés le long de la carotte ont été récoltés alternativement par les deux expérimentateurs.

6- Analyse macroscopique de la carotte

L'observation macroscopique permet de

comparer des différentes couches de tourbe (couleur, texture, etc.) les unes par rapport aux autres et de déterminer l'emplacement relatif des macroéléments qu'elle contient. L'observation a été effectuée en disposant la carotte sur une surface plane bien éclairée. Cette disposition permet une meilleure visibilité des détails. L'observation a été réalisée par 6 observateurs et la représentation finale est déterminée par consensus.

7-Analyses numériques

Test de corrélation entre le taux d'humification et la quantité de matière organique

La normalité des données a été testée avec le test de Shapiro-Wilks. Le test non-paramétrique de Spearman a été utilisé afin de calculer la corrélation entre nos variables. Les tests ont été réalisés sur Rstudio (version 4.1.2).

Modèles d'âge

Les modèles d'âge ont été obtenus grâce au package Clam sur R (Blauuw, 2010) pour les Grandes Nasses et les tourbières comparatives (Amourous, Countrasts, Font-Bernard, les Laubies, les Narses-Mortes, les Nassettes, le Peschio). Les données ont été extraites des travaux menés sur des tourbières situées au Mont Lozère (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu, 1974 ; Baron et al., 2005 ; Pulido-Avila, 2006 ; Servera-Vives et al., 2014 ; Cornet & Wales, 2020).

Taux d'accumulation

Les données permettant de les calculer proviennent des modèles d'âge effectués avec le package Clam sur R (Blauuw, 2010). Les taux d'accumulation sont exprimés en mm/an. La formule est la suivante : $10/(Age2-Age1)$ où 10 correspond à la profondeur (mm), et Age1 et Age2 aux âges.

RESULTATS

1- Chronologie des Grandes Nasses

La datation radiocarbone de la base (149-150

cm) de la séquence prélevée dans les Grandes Nasses a donné un âge de 4990 ± 40 BP (Poz-142284). La base de la tourbière des Grandes Nasses est datée à env. 5760 cal. BP à 150 cm, ce qui correspond à un TAS moyen de 0,26 mm/an. Ce TAS est similaire à celui de l'Amourous (0,28 mm/an), où la profondeur de 150 cm correspond à 5250 cal. BP.

2- Caractérisation de la tourbe

La caractérisation de la tourbe (Fig. 1) permet de déterminer sa composition et ses différents degrés de décomposition avec plus de précision qu'une analyse macroscopique (Aaby & Berglund, 1986). La présence de ligneux est visible sur plusieurs phases distinctes. Ils sont présents en quantité importante durant trois phases : 150-100, 83-47 et 9-5 cm. La plus grande proportion de ligneux a été relevée à 129 cm. Les herbacées sont observables dans tous les échantillons de la carotte et présentent peu de variation dans leur quantité. Elles correspondent au minimum à 25% de la surface de chaque échantillon. Les fragments de végétaux décomposés inférieurs à 2 mm (non identifiables) sont présents sur la totalité de la carotte. Une phase remarquable est observée à 81cm où il n'y a qu'une très petite quantité de fragments. Les zones sableuses sont éparses et présentent de grandes variations. Une quantité importante de sable est relevée à six emplacements de la carotte : 121, 113, 111, 101, 81 et 5 cm. Une absence de sable est également remarquée sur 20 cm (entre 69 et 49 cm). A 81 cm, la quantité de fragments ligneux (DI) et de végétaux non-identifiables (Ld) est très faible tandis que la quantité de sable est la plus importante. De manière générale, lorsque la quantité de sable est importante, la quantité des fragments végétaux non-identifiables (Ld) et des ligneux (DI) diminue.

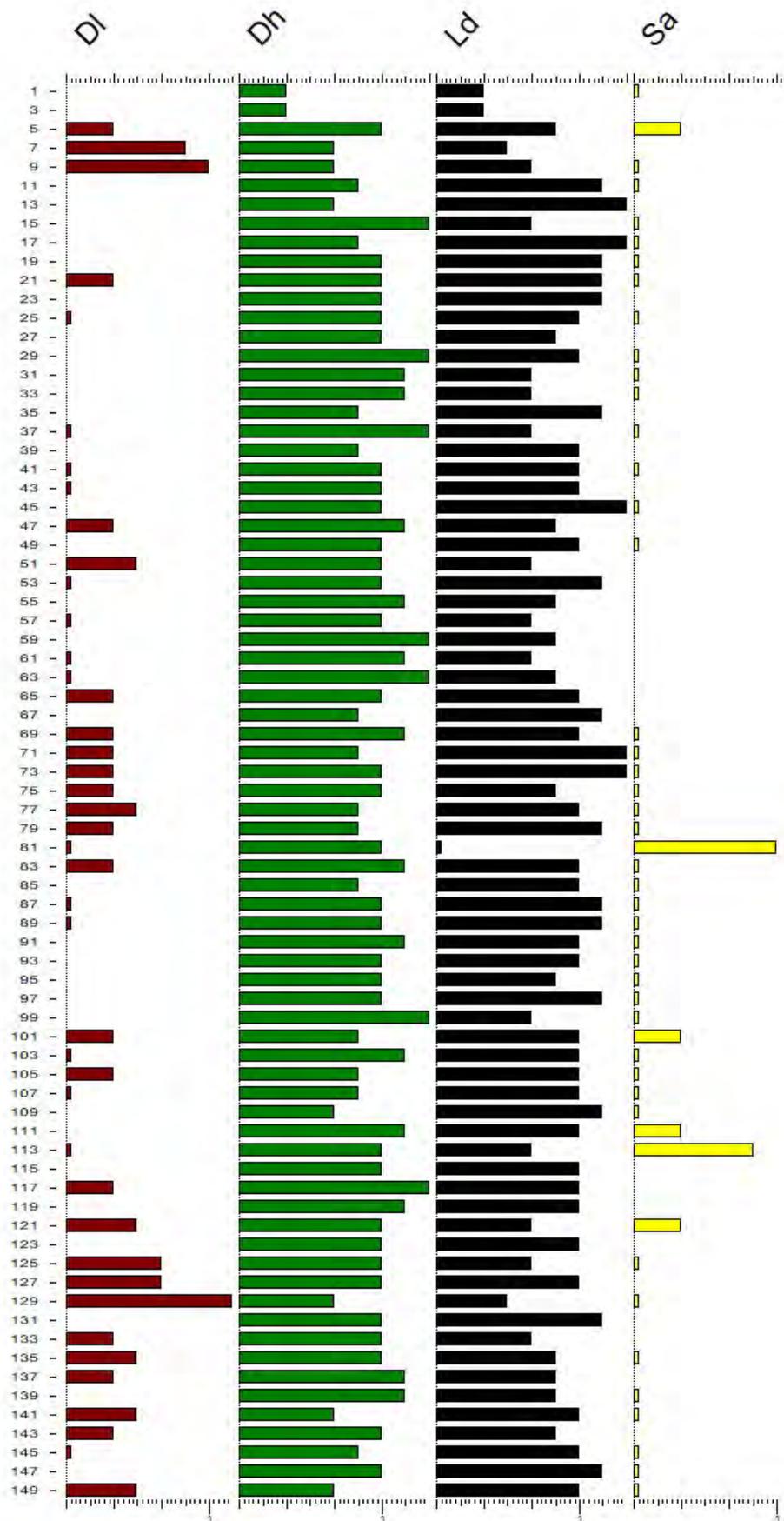


Figure 1. Caractérisation de la tourbe en fonction de la profondeur (Dl= *Detritus lignosus*, Dh= *Detritus herbosus*, Ld = *Limus detrituosus*).

3- Perte au feu

Le taux de matière organique est variable (80-96%) mais élevé au cours de son histoire (toujours supérieur à 80%), ce qui montre que la majorité de la tourbe est composée de matière organique. Le taux le plus faible et le plus élevé se trouvent respectivement à des profondeurs de 17 et 150 cm.

4- Taux d'humification

La détermination du taux d'humification (Fig. 2) a permis d'observer des variations dans les conditions de formation de la tourbe tout au long de la carotte. Le taux d'humification est relativement homogène entre 142 et 110 cm de profondeur. Le taux le plus faible et le plus élevé se trouvent respectivement à 30 et 70 cm. Il y a une diminution progressive entre 46 et 30 cm.

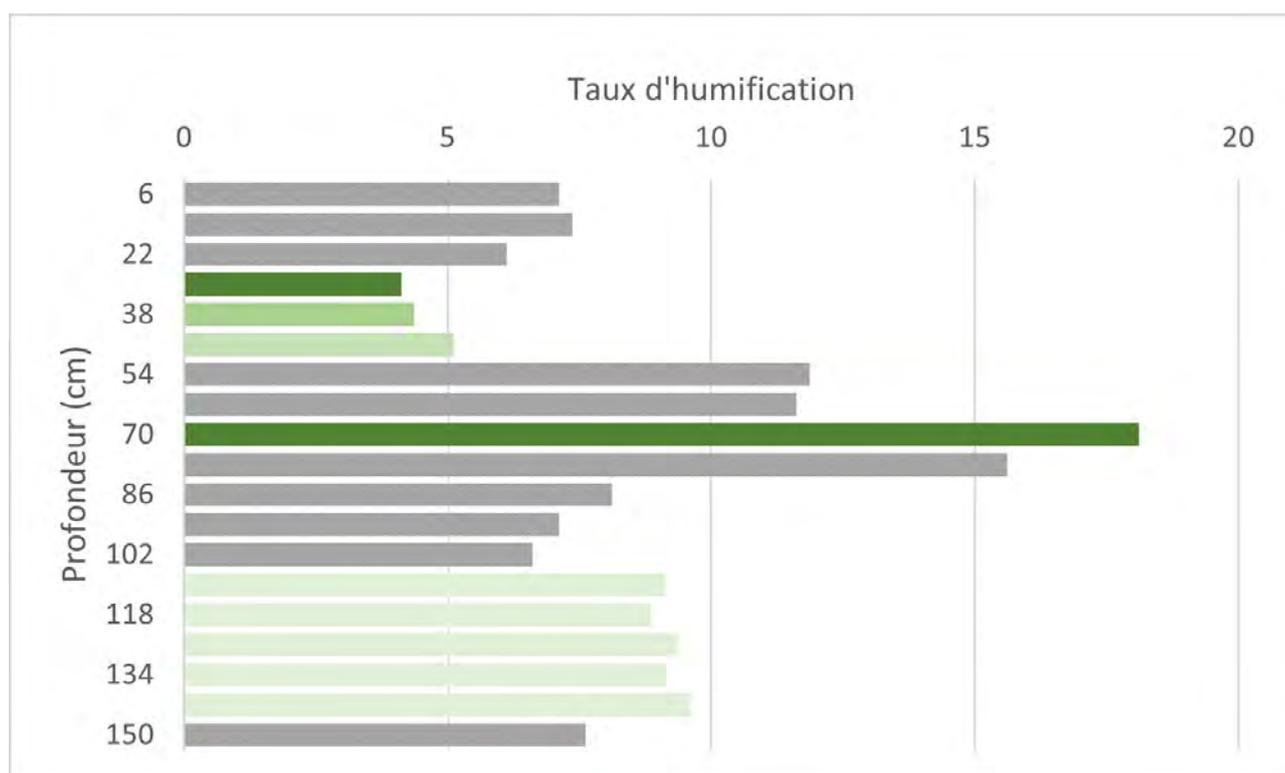


Figure 2. Taux d'humification relatif en fonction de la profondeur

5- Taux de matière organique et taux d'humification de la carotte B

Après vérification de l'absence de normalité des données par le test de Shapiro-Wilks (p-value du taux d'humification < 0,05 ; p-value de la quantité de matière organique = 0,001), la corrélation entre les deux variables a été vérifiée par le test de Spearman ($\rho = 0,48$; p-value < 0,001). Les résultats montrent une corrélation positive et significative entre le taux de matière organique et le taux d'humification.

6- Analyse macroscopique de la carotte

Le sommet de la carotte (7-0 cm) est constitué de tourbe blonde (sommet de l'acrotelme), ce qui correspond à une tourbe peu décomposée (Fig. 3). Le reste de la carotte est composé de tourbe brune plus ou moins foncée. La tourbe claire est présente à trois profondeurs : 150-103, 54-31 cm et 17-15 cm. La tourbe brun foncé est observée à trois profondeurs : 101-54, 31-17 et 15-7 cm.

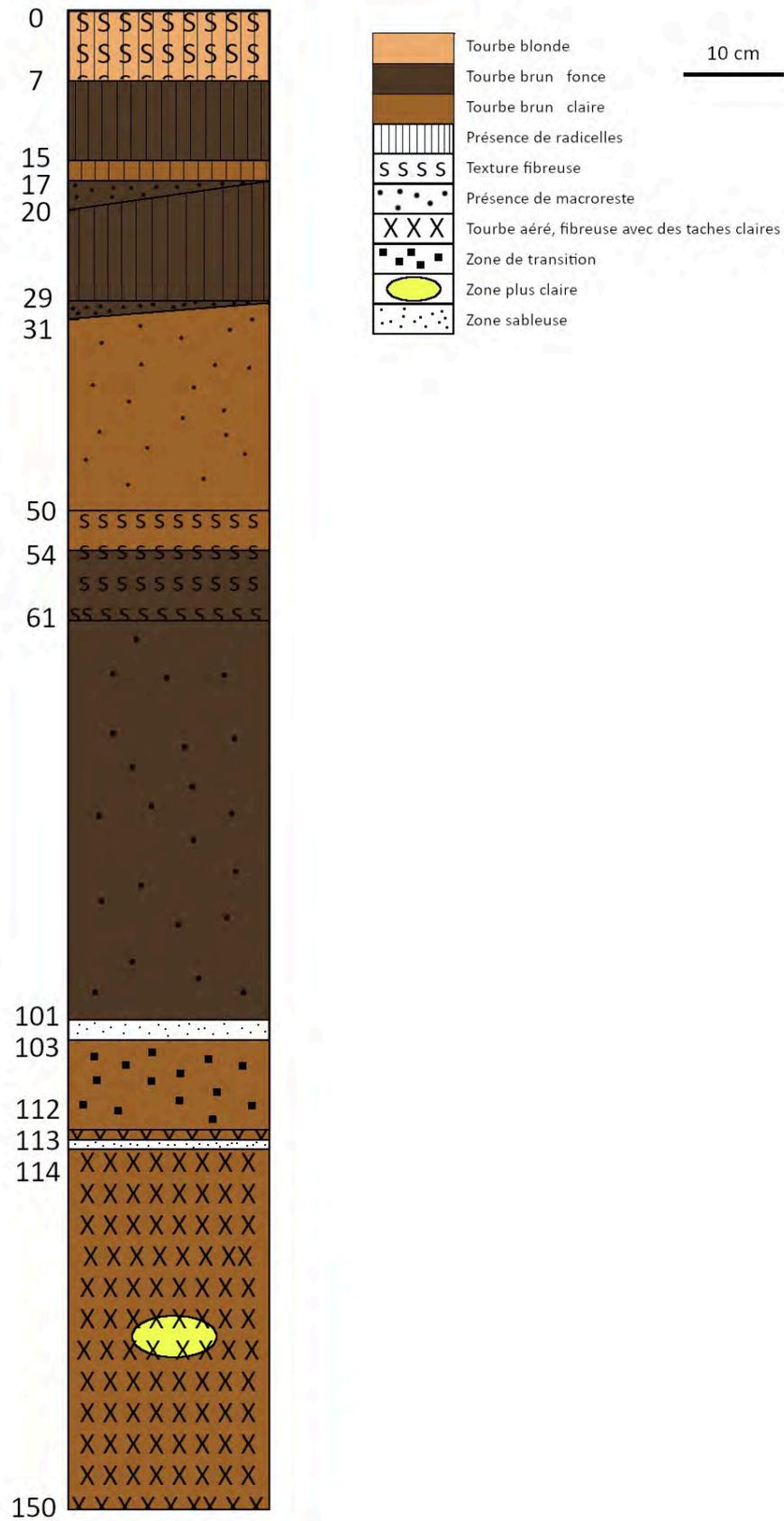


Figure 3. Représentation schématique de la carotte B prélevée sur la tourbière des Grandes Nasses

La texture de la tourbe est particulièrement fibreuse entre 61-50 et 7-0 cm. La présence de fibres ne semble pas être liée à la couleur de la tourbe puisqu'elle présente cette texture dans les trois nuances observées. Des radicelles sont observables entre 29 et 0 cm. Des macrorestes sont visibles en quantité importante entre 101 et 29 cm.

De 150 à 112 cm, la carotte possède une texture particulière (plus aérée et fibreuse et présentant des taches claires particulièrement visibles aux environs de 130 cm). Cette portion est surmontée d'une zone de transition où la tourbe s'aère progressivement et se charge en fibres sur 9 cm (112-103 cm).

La carotte comporte deux phases remarquables composées d'une grande quantité de sable entre 114 et 113 cm et entre 103 et 101 cm.

7- Modèles d'âge

Les différents modèles d'âge ont été réalisés (Fig. 4) afin d'effectuer la comparaison avec les Grandes Nasses. Le modèle le plus proche des Grandes Nasses est celui de l'Amourous qui débute à 8080 cal. BP sur 230 cm avec un taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de 0,28 mm/an. La tourbière des Grandes Nasses est datée à 5760 cal. BP à 150 cm avec un TAS de 0,26 mm/an. Cette datation est proche de celle d'Amourous (5250 cal. BP) située à 150 cm.

DISCUSSION

1- Age de l'initiation de la tourbière des Grandes Nasses

Les tourbières du Mont Lozère se sont formées à 4 périodes : 15 000, 10 000-8000, 6500-5200 et 2000-1700 cal. BP (de Beaulieu, 1974 ; Servera-Vives et al., 2014 ; Muller et al., 2019). Certaines tourbières sont très anciennes : c'est notamment le cas des tourbières des Nassettes (15 000 cal. BP), du Peschio (10 600 cal. BP), des Nasses Mortes (vers 10 000 cal. BP ; de Beaulieu, 1974) et de l'Amourous (8000 cal. BP ; Servera-Vives

et al., 2014). D'autres sont en revanche beaucoup plus récentes : Countrasts (2000 cal. BP) et Font-Bernard (800 cal. BP) (Servera-Vives et al., 2014). La tourbière ayant le taux d'accumulation sédimentaire le plus proche de celui des Grandes Nasses est la tourbière de l'Amourous. A des profondeurs similaires, les deux tourbières présentent des âges proches. Les tourbières les plus anciennes ont été formées avant le néolithique (Miras et al., 2004 ; Muller et al., 2019), leur formation est donc d'origine naturelle, provoquée par un changement des conditions hydrodynamiques.

L'âge de la tourbière des Grandes Nasses a été évalué vers 5760 cal. BP, à partir d'une analyse radiocarbone, réalisée à 150 cm de profondeur, sur le niveau basal de la carotte. Cet âge correspond à la fin de la chronozone Atlantique, caractérisée par l'optimum de la chênaie mixte et par son remplacement en altitude par la hêtraie-sapinière (Robin et al., 2018). Dans la chronologie des sociétés humaines, cette période correspond au Néolithique, marqué par les premiers indices d'activité humaine à l'échelle du Massif Central (Miras et al., 2004) et plus précisément dans la région du Mont Lozère (Pulido-Avila, 2006). Les activités anthropiques n'ont pas encore eu un impact fort sur les milieux forestiers (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu & Pons, 1979 ; Reille, 1988 ; Pulido-Avila, 2006), mais la fin de l'Atlantique est caractérisée par des indices de végétation forestière pionnière (Bal et al., 2014) indiquant l'existence de forêts ouvertes. La tourbière des Grandes Nasses est initiée dans un contexte montagnard marqué par le début de l'agropastoralisme (Robin et al., 2018). Servera-Vives (2015) a suggéré que l'anthropisation du milieu a provoqué des changements hydrodynamiques et de compositions végétales aux abords du Monts Lozère. La déforestation entraîne une augmentation de l'érosion des sols et peut provoquer des accumulations d'eau (Cubizolle et al., 2004) propices à la formation d'une tourbière.

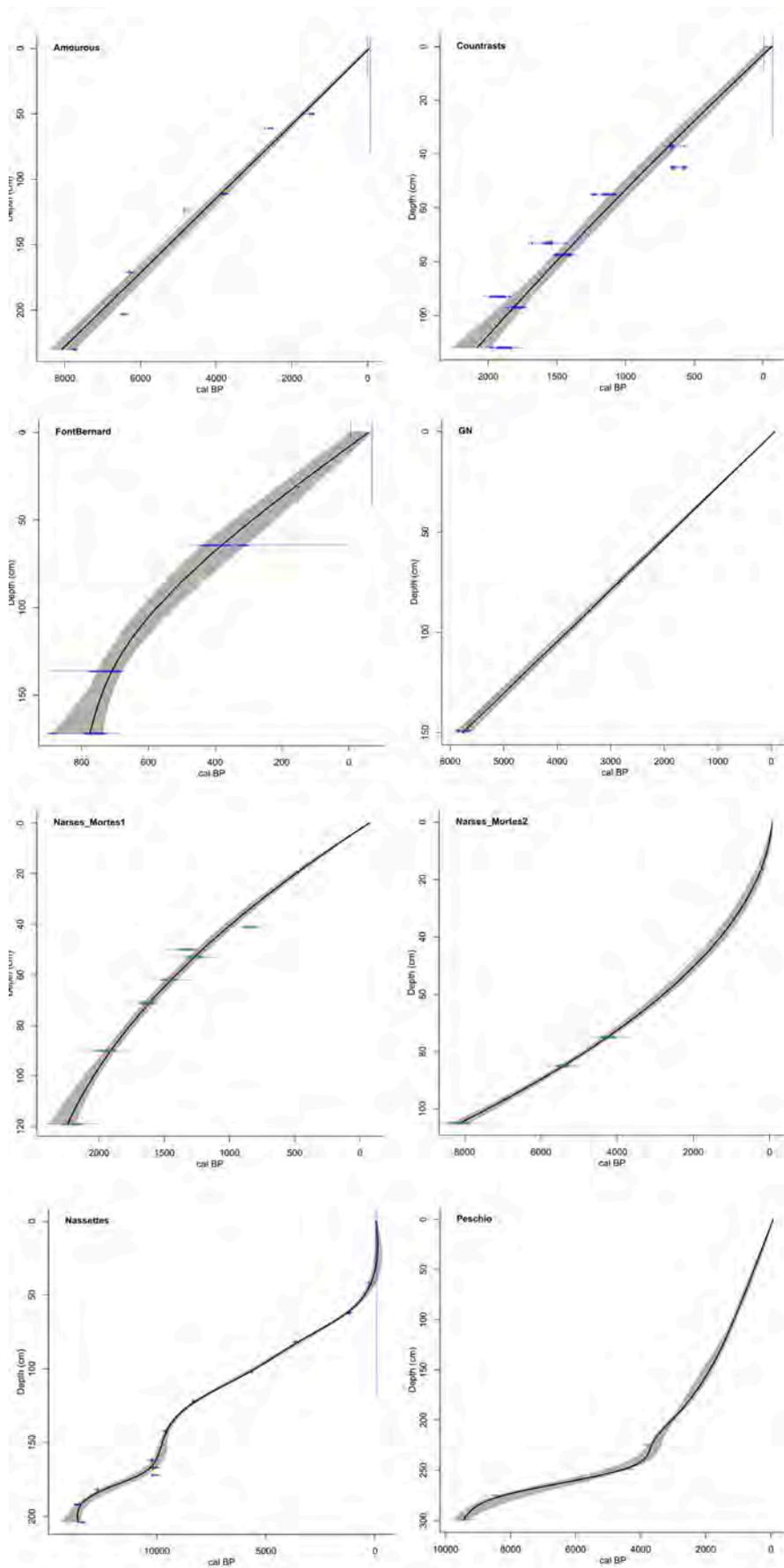


Figure 5. Modèles d'âge des tourbières d'Amourous, de Countrasts, de Font Bernard, des Grandes Nasses, des Laubies, des Narses Mortes, des Nassettes et du Peschio

2- Caractérisation du profil tourbeux

Le profil et la topographie de la tourbe constituant les Grandes Nasses montrent une tourbière à sphaignes de type bog, alimentée par les eaux météoriques. La tourbe est acide et semble tendre vers une acidification croissante (Pearsall, 1952 ; Mullan-Boudreau et al., 2017). Des restes de végétaux herbacés sont visibles sur tous les échantillons. Ils représentent la strate végétale qui domine sur la tourbière. La tourbe est également constituée de restes ligneux sur une partie des périodes échantillonnées. La variation de la quantité de ligneux indique une évolution du couvert forestier au cours de l'histoire de la tourbière, suggérant des phases de déforestation (certainement d'origine anthropique). La tourbe est principalement composée de matière organique, en

proportion relativement constante au cours du temps (> 80% ; Fig. 5). Elle comporte six périodes avec un apport détritique particulièrement important (4640, 4320, 4250, 3860, 3080 et 50 cal. BP). Cet apport détritique traduit une érosion importante et l'absence de restes végétaux ligneux (provenant probablement des écosystèmes forestiers environnant de la tourbière, encore présents aujourd'hui aux limites de la tourbière) suggère que l'érosion est probablement due à des périodes de déforestation. La tourbière semble avoir été alimentée par des débris végétaux depuis le début de l'Holocène. Le taux de décomposition variable de la tourbe traduit probablement des modifications de la composition végétale et des conditions hydrologiques du site.

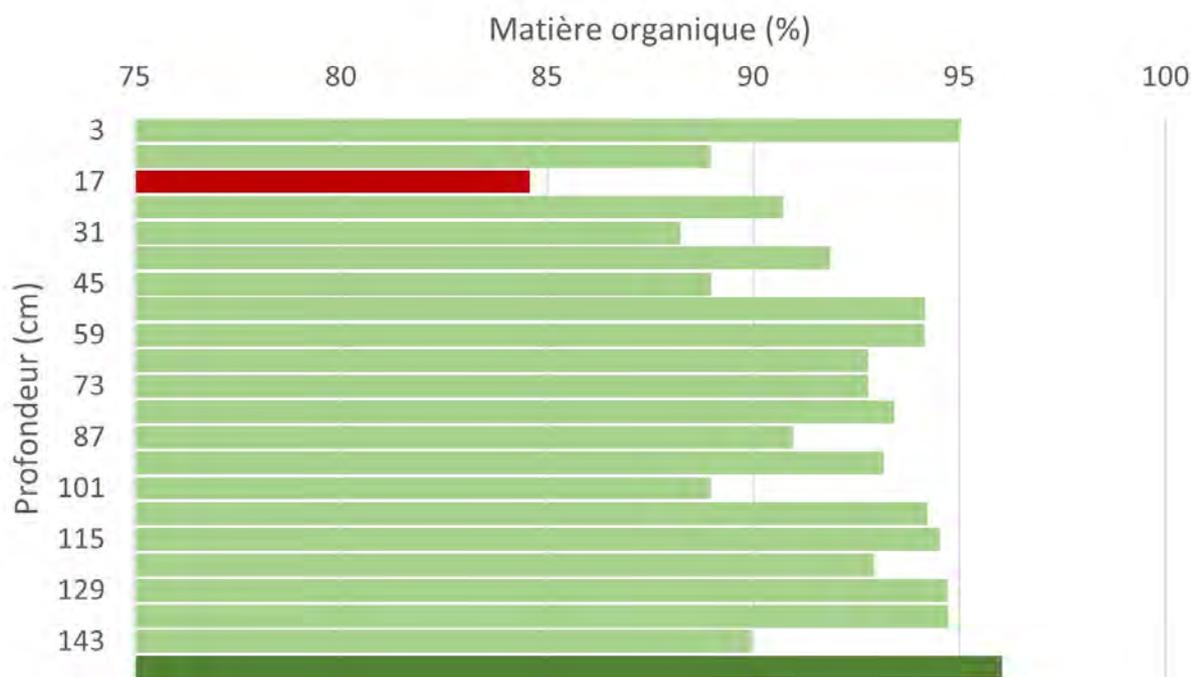


Figure 2. Teneur en matière organique en fonction de la profondeur

3- Reconstitution préliminaire de l'histoire passée du site

Atlantique et subboréal

La datation radiocarbone prélevée sur la carotte des Grandes Nasses (5760 cal. BP) est comprise dans la période dominée par la

hêtraie-sapinière (de Beaulieu, 1974 ; de Beaulieu & Pons, 1979 ; Reille, 1988). La quasi-absence de ligneux entre 4400 à 4100 cal. BP (115-107 cm ; Fig. 1) coïncide avec le développement de l'agropastoralisme dans la région du Mont Lozère, mis en évidence dans les tourbières de l'Amourous et du Peschio

(Servera-Vives, 2015). Ce développement de l'agropastoralisme a provoqué des défrichements (Bal et al., 2014) qui ont augmenté l'érosion des sols provoquant des apports détritiques dans les tourbières (Fig. 1) (Anderson et al, 1984 ; Geel et al, 2003 ; Servera-Vives, 2015).

Subboréal-subatlantique

La caractérisation de la tourbe permet d'observer une quasi-absence de ligneux sur cette période, à l'exception d'une phase de 3000 à 2460 cal. BP (79-65 cm ; Fig. 1). A 3080 cal. BP (81 cm), la faible présence de ligneux est associée à une forte augmentation de sable. En lien avec ces résultats, les interprétations de Servera-Vives (2015) concernant la tourbière de l'Amourous permettent de supposer une pression d'origine anthropique. En effet, entre 3100 et 3000 cal. BP, les données géochimiques suggèrent une augmentation du processus d'érosion ayant pour origine une perturbation des sols du fait d'incendies (Servera-Vives, 2015). Toujours selon cet auteur, ces incendies peuvent être reliées à des activités agropastorales avec pour objectif de créer des espaces ouverts en altitude (Vannière & Martineau, 2005).

Subatlantique

La chronozone Subatlantique est caractérisée par des phases à végétaux ligneux, séparées par des déforestations associées à de l'érosion (alternance de périodes comprenant des quantités importantes de ligneux et peu de sable, et de périodes comprenant des quantités importantes de sable et peu de ligneux ; Fig. 1). Ces phases s'inscrivent dans un contexte de déclin de la hêtraie-sapinière dû au développement du pastoralisme et de l'agriculture à partir de 2200 cal. BP (Pulido-Avila, 2006 ; Miras, 2011). Cette hypothèse est renforcée par la régression des herbacées forestières (Bonnet, 2021). Ces enregistrements montrent une déforestation probablement d'origine anthropique (Behre, 1981 ; Miras et al., 2003 ; Azuara et al., 2018). L'arrivée des populations dans la région est associée à une intensification du régime d'incendie, souvent utilisé pour

déforester (Reille, 1998 ; Charieau & Larrieu, 2021).

Au cours de cette période, le pastoralisme et l'agriculture ont continué à se développer de manière importante (Pulido-Avila, 2006). L'augmentation de l'humification de la tourbe est possiblement due à une aération par des ligneux des périodes récentes dont les racines s'enfoncent dans les couches inférieures. Cette reprise de la décomposition montre une diminution du pastoralisme et de l'agriculture et une augmentation des végétaux ligneux dans les périodes plus récentes détaillées ci-dessous.

Antropocène

L'acrotelme est la partie « vivante » de la tourbière. Le catotelme est la partie du profil tourbeux située sous la limite inférieure de la zone de battement de la nappe phréatique (taux d'humification et de matière organique les plus faibles de la carotte ; Figs. 2 et 5). Les couches les plus récentes de l'acrotelme sont composées de végétation vivante (tourbe blonde et fibreuse comportant des fragments ligneux et des radicelles actuelles ; Fig. 3). Elles permettent l'aération et l'oxygénation de la tourbe favorisant la décomposition des couches inférieures. Une décroissance du taux de matière organique dans les derniers 20 cm de l'acrotelme peut être reliée aux battements de la nappe phréatique (zone brun foncé sur la carotte). La tourbe présente dans l'acrotelme est formée durant une période d'érosion (présence de sable). Cette période est marquée par une présence importante de ligneux entre 320 et 120 cal. BP. L'époque moderne montre des phases de reforestation dues à une diminution du pastoralisme et de l'agriculture très présents dans les périodes ultérieures (de Beaulieu & Pons, 1979).

Limites

Les résultats obtenus, bien que concordants, ne se basent que sur les analyses de la carotte prélevée dans les Grandes Nasses. Ces résultats correspondent à la perte au feu, au taux d'humification et à l'analyse macroscopique. Ils permettent d'acquérir une base et de considérer l'intérêt de la zone. Néanmoins, l'utilisation de la spectrométrie

pour mesurer l'absorbance et le pourcentage de transmission de la lumière (Chambers et al., 2012) permettrait d'obtenir des données plus objectives et non biaisées par l'observateur concernant la vérification du taux d'humification de la tourbe. De même, l'analyse macroscopique effectuée sous loupe binoculaire aurait gagné à être détaillée sous microscope. Enfin, il aurait été intéressant de coupler ces observations à des analyses polliniques et anthracologiques afin d'établir des hypothèses plus concrètes (notamment concernant l'agropastoralisme).

CONCLUSION

Les tourbières sont des milieux humides relativement rares dans le Sud de la France. Leur analyse permet d'obtenir des données précises sur leur histoire. (1) La tourbière des Grandes Nasses s'est formée aux alentours de 5800 cal. BP, durant la chronozone Atlantique (Néolithique). L'origine de sa turfigénèse et de celle des tourbières formées durant le Néolithique semblent liées à l'anthropisation du milieu. Elle est notamment marquée par une déforestation des zones auparavant dominées par une hêtraie-sapinière (de Beaulieu, 1974 ; de Beaulieu & Pons, 1979 ; Reille, 1988). (2) Le profil tourbeux des Grandes Nasses montre un dépôt relativement constant de matière organique et des variations des conditions environnementales et hydrologiques. L'alternance de phases de forêts ouvertes et de déforestation d'origine anthropique montre l'influence de l'Homme sur les conditions environnementales locales. (3). La déforestation d'origine anthropique qui débute au Néolithique est effectuée par un régime de feu pour les tourbières du Mont Lozère (Servera-Vives, 2015) et s'est poursuivie du Subboréal au Subatlantique avec l'augmentation de l'agro-pastoralisme. Son histoire est donc marquée par une anthropisation progressive, avec le développement de l'agropastoralisme avant la déprise agricole liée à la révolution industrielle (de Beaulieu & Pons, 1979).

La caractérisation de la tourbe a permis d'obtenir un grand nombre d'informations pour l'interprétation de l'histoire des Grandes

Nasses. Il serait intéressant de compléter ces résultats avec une étude de l'histoire météorologique et de la topographie locale pour consolider l'hypothèse d'une initiation de la turfigénèse des Grandes Nasses d'origine anthropique.

REFERENCES

- Aaby B. & Berglund B.E. (1986). *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley & Sons, pp. 231-246.
- Allée P. (2003). *Dynamique hydrosédimentaires actuelles et holocènes dans les systems fluviaux de Moyenne montagne. (Limousin, hautes Cévennes, Maures), Contribution à l'étude des discontinuités spatiotemporelles dans le fonctionnement du système bassin versant*. Thèse de doctorat, Université de Limoge, Limoge, 449 p.
- Anderson R.S., Homola R.L., Davis R.B. & Jacobson, G.L. (1984). Fossil remains of the mycorrhizal fungal *Glomus fasciculatum* complex in postglacial lake sediments from Maine. *Canadian Journal of Botany*, 62 : 2325-2328.
- Anderson R.L., Foster D.R. & Motzkin G. (2003). Integrating Lateral Expansion into Models of Peatland Development in Temperate New England. *Journal of Ecology*, 91(1) : 68-76.
- Asouti E. & Kabukcu C. (2021). Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology. *Quaternary International*, 593-594 : 1-5.
- Azuara J., Lebreton V., Peyron O., Mazier F. & Combourieu-Nebout N. (2018). The Holocene history of low altitude Mediterranean *Fagus sylvatica* forests in southern France. *Journal of Vegetation Science*, 29 : 438-449.
- Ball D.F. (1964). Loss-on-ignition as estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Science*, 15 : 84-92.
- Ball D.F., 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 Lozere, France) since the Neolithic. *Quaternary International*, 366 : 3-14.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5 : 512-518.
- Blackford J.J. & Chambers F.M. (1993). Determining the degree of peat decomposition in peat-based palaeoclimatic studies. *International Peat Journal*, 5 : 7-24.
- de Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : Analyses polliniques et datages. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 : 1641-1644.
- de Beaulieu, J.-L. (1974). Évolution de la végétation sur la bordure cévenole au postglaciaire, d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.
- 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.
- Cornet F. & Wales A. (2020). Reconstitution des paléo-incendies du Mont-Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 9-20.
- 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. *Environmental Science & Technology*, 39 (14) : 5131-5140.
- Behre K.-E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23 : 225-245.
- Bonnet C. (2021). *Impact du pâturage sur les communautés végétales de la tourbière de Canroute (Monts de Lacaune, Massif Central) depuis 5 000 ans*. Master 2, Université de Montpellier.
- Chambers F., Beilman D. & Yu Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7 : 1-10.
- Chambers F.M., Booth R.K., De Vleeschouwer F., Lamentowicz M., Le Roux G., Mauquoy D., Nichols J.E. & van Geel B. (2012). Development and refinement of proxy-climate indicators from peats. *Quaternary International*, 268 : 21-33.
- Cubizolle H., Georges V., Latour C., Argant J. & Serieyssol K. (2004). Peat inception and peat accumulation at the end of the Sub Boreal and during the Sub-Atlantic in the granitic eastern Massif central (France) : an evidence for human activity. *Quaternaire*, 15(4) : 343-359.
- Drzymulska D. (2016). Peat decomposition – shaping factors, significance in environmental studies and methods of determination; a literature review. *Geologos*, 22 : 61-69.
- Follain S. & Colin F. (2020). Épisodes pluvieux intenses, érosion des sols et viticulture. In : J. Pérard & C. Wolikow (éds.), *Rencontres du Clos-Vougeot 2019, Fluctuations climatiques et vignobles du 14 Néolithique à l'actuel : impacts, résilience et perspectives*. Chaire UNESCO “ Culture et Traditions du Vin ”, pp.337-347.
- Gignac L.D. & Vitt D.H. (1994). Réponses des tourbières nordiques aux changements climatiques : effets sur les bryophytes. *Journal des laboratoires botaniques Hattori*, 75 : 120-132.
- Gorham E. (1991). Tourbières du Nord : rôle dans le cycle du carbone et réponses probables au réchauffement climatique. *Applications écologiques*, 1 : 182-195.
- Halbritter H., Ulrich S., Grímsson F., Weber M., Zetter R., Hesse M., Buchner R., Svojtka M. & Frosch-Radivo A. (2018). Palynology: History and Systematic Aspects. In : H. Halbritter et al.(éds.), *Illustrated Pollen Terminology*, Springer, pp. 3-21.
- Heiri O., Lotter A.F. & Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediment: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 24 : 101-110.

- Jowsey P.C. (1966). An Improved Peat Sampler. *New Phytologist*, 65(2) : 245-248.
- Kabukcu C. & Chabal L. (2021). Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: Achievements and prospects. *Quaternary International*, 593-594 : 6-18.
- Klavins M., Sire, J., Purmalis, O. & Melecis, V. (2008). Approaches to estimating humification indicators for peat. *Mires and Peat*, 3 : 1-15.
- Manneville O., Vergne V. & Villepoux O. (2006). *Le monde des tourbières et des marais : France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. Delachaux & Niestlé, Paris.
- Miras Y., Guenet P., Surmely F., Michelin Y., Tible R., Walter-Simonnet A.V. & Richard H. (2003). Histoire de l'environnement et des dynamiques agro-pastorales dans le massif du Cantal : la Tourbière de Roussy (Saint-Projet-de-Salers, France). *Quaternaire*, 14 : 265-278.
- Miras Y., Vergne V., Guenet P. & Surmely F. (2004). Le Massif Central : premières traces d'anthropisation révélées par l'analyse pollinique des zones humides corrélées aux données archéologiques. In : H. Richard (dir.), *Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Presses Universitaires Franc-Comtoises (Annales Littéraires : 777. Série Environnement, sociétés et archéologie ; 7), Besançon, pp. 89-105.
- Miras Y., Guenet, P. & Richard H. (2011). Holocene vegetation, landscape, and reconstruction of human activity from prehistory to the roman period based on new pollen data performed in "the plateau de Millevaches" (Limousin, Massif Central, France). *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 22 (2) : 147-164.
- Moore P.D. (1987). Ecological and hydrological aspects of peat formation. *Geological Society, London, Special Publications*, 32 (1) : 7-15.
- Moore T.R., Roulet N.T. & Waddington J-M. (1998). Incertitude dans la prédiction de l'effet du changement climatique sur le cycle du carbone des tourbières canadiennes. *Climatic Change*, 40 (2) : 229-245.
- Moreno M.T., Audesse P., Giroux M., Frenette N. & Cescas M. (2001). Comparaison entre la détermination de la matière organique des sols par la méthode de Walkley-Black et la méthode de perte au feu. *Agrosol*, 12 (1) : 49-58.
- Mullan-Boudreau G., Davies L., Devito K., Froese D., Noernberg T., Pelletier R. & Shotyk W. (2017). Reconstructing past rates of atmospheric dust deposition in the Athabasca bituminous sands regions using peat cores from bogs. *Land Degradation and Development*, 28 : 2468-2481.
- Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2019). Âge des tourbières de la marge méridionale du Massif Central. *Orpalm synthesis*, 12 (1) : 9-16.
- Pearsall W. (1952). The pH of natural soils and its ecological significance. *Journal of Soil Science*, 3 : 41-51.
- 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 Paul Cézanne, Aix-Marseille, 308 p.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif Central, France) ; réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.
- Robin V., Nelle O., Talon B., Poschlod P., Schwartz D., Bal M-C., Allée P., Vernet J-L. & Dutoit T. (2018). A comparative review of soil charcoal data: Spatiotemporal patterns of origin and long-term dynamics of Western European nutrient-poor grasslands. *The Holocene*, 28 : 1313-1324.
- Stanek W. & Silc T. (1977). Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. *Canadian Journal of Soil Science*, 57 : 109-117.
- Servera-Vives G., Miras Y., Riera S., Julià R., Allée P., Orengo H., Paradis-Grenouillet S. & Palet J.M. (2014). Tracing the land use history and vegetation dynamics in the Mont

- Lozère (Massif Central, France) during the last 2000 years : The interdisciplinary study case of Coustrasts peat bog. *Quaternary International*, 353 : 123-139.
- Servera-Vives G. (2015). *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, Université de Limoges et Universitat de Barcelona, 377 p.
- Talbot J-M., Allison S.D. & Treseder K.K. (2008). Decomposers in disguise: mycorrhizal fungi as regulators of soil C dynamics in ecosystems under global change. *Functional Ecology*, 22 : 955-963.
- Troels-Smith J. (1955). *Karakterisering af lose jordater (Characterisation of Unconsolidated Sediments)*. C.A. Reitzel, København, 73 p.
- Vanara N. & Maire R. (2008). Déforestation et érosion des sols dans les montagnes karstiques du Guizhou, Chine. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 244 : 507-532
- van Geel B., Buurman J., Brinkkemper O., Schelvis J., Aptroot A., van Reenen G. & Hakbijl T. (2003). Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science*, 30 (7) : 873-883.
- Vannièrè 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.
- Warner B.G., Clymo R.S. & Tolonen, K. (1993). Implications de l'accumulation de tourbe à Point Esuminac, Nouveau-Brunswick. *Recherches Quaternaires*, 39 : 245-248.
- 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. *Global Biogeochemical Cycles*, 27 : 1005-1024.
- Zeccone C., Plazab C., Ciavattad C., Mianoe T.M. & Shotyk W. (2018). Advances in the determination of humification degree in peat since Achard (1786): Applications in geochemical and paleoenvironmental studies. *Earth-Science Reviews*, 185 : 163-178.

ANNEXE 1. Inventaire des sphaignes de la tourbière des Grandes Nasses (collecte et identification : E. Sulmont et S.D. Muller).

Espèce	Section	Famille
<i>Sphagnum auriculatum</i> Schimp.	<i>Subsecunda</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	<i>Acutifolia</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum divinum</i> Flatberg & Hassel	<i>Sphagnum</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum fallax</i> (Klinggr.) Klinggr.	<i>Cuspidata</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum palustre</i> L.	<i>Sphagnum</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum papillosum</i> L.	<i>Sphagnum</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum rubellum</i> Wils.	<i>Acutifolia</i>	Sphagnaceae
<i>Sphagnum teres</i> (Schimp.) Angstr.	<i>Squarrosa</i>	Sphagnaceae

ANNEXE 2. Critères de détermination pour catégoriser la tourbe (A, catégories ; B, indices d'abondance relative).

A

I	Turfa	Bryophytica (mousse)	Tb
		Lignosa (ligneux)	Tl
		Herbacea (herbacée)	Th
II	Detritus	Lignosus (ligneux)	Dl
		Herbosus (herbacé)	Dh
III	Limus (fragments <2mm)	Detritus	Ld
IV	Sable		Sa

B

1	<25%
2	25-50%
3	50-75%
4	75-100%

ANNEXE 3. Données brutes de la perte au feu

n° de creuset	n° d'échantillon	n° de carotte	Ptare (g)	P0 (g)	P150 (g)	P550 (g)	Taux d'humidité (%)	Teneur en matière organique (PAF550)
Q	1	B2	18.30	18.84	18.37	18.31	88.22	95.87
35	2	B2	11.49	12.39	11.60	11.50	87.98	89.80
42	3	B2	11.71	12.57	11.84	11.71	84.48	94.57
10	4	B2	11.46	12.14	11.56	11.46	84.51	94.55
29	5	B2	11.44	12.39	11.57	11.45	86.00	92.77
B	6	B2	15.18	15.90	15.29	15.18	85.05	94.36
34	7	B2	11.45	12.39	11.60	11.46	83.96	94.05
30	8	B2	11.67	12.50	11.78	11.68	86.47	88.80
28	9	B2	11.43	12.28	11.54	11.44	87.37	93.00
23	10	B2	11.68	12.52	11.80	11.69	85.00	90.79
11	11	B2	11.41	12.08	11.52	11.42	84.02	93.25
37	12	B2	11.74	12.44	11.87	11.75	81.00	92.63
44	13	B1	11.25	12.06	11.37	11.26	85.14	92.63
65	14	B1	11.79	12.67	11.93	11.80	84.09	93.99
45	15	B1	11.65	12.52	11.81	11.66	82.07	94.00
A5	16	B1	16.70	17.49	16.86	16.71	80.13	88.81
21	17	B1	11.86	12.79	12.02	11.87	82.27	91.70
26	18	B1	11.46	12.38	11.67	11.49	76.87	88.07
18	19	B1	11.17	12.06	11.40	11.19	73.83	90.56
57	20	B1	11.86	12.63	12.02	11.89	79.74	84.41
A9	21	B1	18.38	18.97	18.49	18.40	81.43	88.80
9	22	B1	11.55	11.89	11.62	11.56	79.76	94.83

CARACTERISATION DE LA TOURBE ET IDENTIFICATION DES MACRORESTES DE LA SEQUENCE DE LA TOURBIERE DU PESCHIO (MONT LOZERE)

Nolwenn Bourhis ¹, Eolia Gokpon ²

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

¹ nolwenn.bourhis@etu.umontpellier.fr, ² eolia.gokpon@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Serge Muller

Citation : Bourhis N. & Gokpon E. (2022). Caractérisation de la tourbe et identification des macrorestes de la séquence de la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 39-50.

Résumé : À partir de la caractérisation de la séquence sédimentaire de la tourbière du Peschio (0 à 300 cm de profondeur), un log stratigraphique a été établi. A différentes profondeurs et donc à différentes périodes, des macrorestes ont été échantillonnés, identifiés par analogie à des restes actuels et classés par abondance (de 0 à 4). Au cours du temps, la tourbière du Peschio a connu une phase boisée, herbacée puis bryophytique. Malgré ces variations, le log stratigraphique fait état de couches relativement homogènes. La tourbière semble persister dans une phase minérotrophe. L'étude des macrorestes couplée à une étude pollinique a permis de fournir des précisions quant à la présence de certaines espèces végétales sur le Peschio permettant de déceler une dynamique paléoécologique.

Mots clés : stratigraphie, inventaire floristique, paléoenvironnement Holocène, perturbations

Abstract: *Characterization of peat and identification of macroremains of the Peschio peatland (Mont Lozère)*. Based on the characterisation of the sedimentary sequence of the Peschio peat bog (0 to 300 cm depth), a stratigraphic log has been established. At different depths and therefore at different periods, macroremains were sampled, identified by analogy with present-day remains and classified by abundance (from 0 to 4). The Peschio peat bog has undergone a woody, herbaceous and then bryophytic phase over time. Despite these variations, the stratigraphic log contains relatively homogeneous layers. It seems to persist in a minerotrophic phase. The study of macroremains coupled with a pollen study has made it possible to provide details on the presence of certain plant species on the Peschio, making it possible to detect a palaeoecological dynamic.

Keywords: stratigraphy, floristic inventory, Holocene paleoenvironnement, perturbations

Les tourbières sont des écosystèmes particuliers dans lesquels s'installent et persistent des plantes adaptées aux milieux gorgés d'eau. Les débris végétaux s'y accumulent et forment la tourbe. La tourbe est un dépôt organique acide composé d'eau et de matière organique faiblement décomposée et

contenant peu d'éléments minéraux. Un bloc de tourbe sec brûle comme du charbon puisqu'il contient jusqu'à 50 % de carbone. Une grande partie des tourbières européennes s'est formée à la fin de la dernière glaciation (Tardiglaciaire 12 000 - 10 000 ans) (Jacquemart et al., 2004). Trois conditions doivent être réunies pour obtenir un bilan

hydrique positif permettant la formation des tourbières. L'humidité doit être élevée de telle sorte que le sol soit toujours imbibé d'eau. Le climat favorable à la tourbification est donc caractérisé par une forte pluviosité régulière.

L'exploitation et la pression anthropique ont entraîné, depuis plusieurs siècles, la régression des tourbières françaises qui couvraient encore 120 000 ha avant 1945, contre 60 000 aujourd'hui (Manneville, 2001). Dans les pays nordiques, ces écosystèmes occupent une place beaucoup plus importante. Néanmoins, en raison de la géomorphologie, la grande variété des substrats géologiques, des climats et des altitudes, les tourbières françaises sont caractérisées par une diversité biologique élevée, en particulier végétale. Cette richesse écologique et l'importance fonctionnelle des zones humides (en termes d'hydrologie notamment) ont poussé les chercheurs à étudier ces milieux naturels dans le but de les protéger (Manneville, 2001 ; Bottollier-Curtet & Muller, 2009).

Les tourbières se trouvent au-delà de 1000 m d'altitude dans le sud du Massif Central. Plusieurs études ont été menées sur le Mont Lozère (sud du Massif Central) afin de mieux comprendre les dynamiques paléoenvironnementales et l'influence des activités humaines. Parmi ces études, la caractérisation de la séquence sédimentaire de la tourbière du Peschio a débuté en 2020 (Oliveira & Zitouni, 2021). Cependant, suite à la pandémie du COVID-19, les 60 cm les plus profonds de la carotte du Peschio correspondant à l'intervalle 9500-5500 cal. BP (Hemelsdaël & Tourniaire, 2022) n'ont pas été analysés. Notre étude a pour but de compléter la caractérisation de la base de la carotte et d'y ajouter l'identification des macrorestes. Ce travail vise à contribuer à la reconstruction des paléoenvironnements holocènes du Mont Lozère par l'étude de macrorestes végétaux.

MATERIEL ET METHODES

1- Région et site d'étude

Le Mont Lozère est un massif granitique des Cévennes, situé sur la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et l'Atlantique et culminant à 1702 m au Pic de Finiels (Braun-Blanquet, 1953). Son climat est montagnard, avec de notables influences méditerranéennes (sécheresse estivale malgré la survenue d'orages) et une prédominance des vents d'ouest. La température moyenne annuelle est de 3,2°C et une moyenne annuelle des précipitations d'environ 1600 mm sont enregistrées. Le versant sud est le plus humide car les montagnes agissent comme une barrière aux dépressions météorologiques issues de la Mer Méditerranée, nombreuses en automne par effet de Foehn (Servera Vives et al., 2014).

La tourbière étudiée est la tourbière du Peschio (44°27'N, 03°38'E) située sur le massif du Lozère, dans les Cévennes septentrionales. Le bassin du Peschio est une vaste dépression autour de laquelle de nombreux vallons accueillent d'autres tourbières (Martin & Didon-Lescot, 2007 ; Bonnet et al., 2020). La tourbière du Peschio est de type minérotrophe et son fonctionnement a été influencé par la construction d'une digue au Moyen Âge, ce qui a entraîné l'élévation du niveau d'eau dans une tourbière préexistante (Pulido Avila, 2006).

2- Végétation actuelle

Lors de notre session de terrain (01/09/2021), des relevés de végétation ont été effectués. La végétation environnante est composée principalement de *Fagus sylvatica* (hêtre), *Abies alba* (sapin) et *Pinus* spp. (pins), cortège caractéristique de l'étage montagnard. Certains individus de pin présentant les caractéristiques du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) (branches orangées) semblent être introgressés par le pin à crochets (*Pinus uncinata*) du fait de l'existence de cônes dont les écailles asymétriques sont à mucron proéminent (caractère de pin à crochets). Il est

à noter que le pin à crochets, espèce caractéristique des zones subalpines sèches des Pyrénées et des Alpes (Faure, 2012), a été introduit dans le Massif Central à des fins de restauration forestière (Chondroyannis & Vigneron, 1990). L'idée que certaines stations du Massif Central puissent être d'origine relictuelle a été invalidée par les analyses polliniques (Reille, 1989, 1990-1991 ; Bégeot & Richard, 1996). *Calluna vulgaris* (callune), *Juniperus communis* (genévrier commun) typique de l'étage montagnard et le pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) sont également présents. Ce dernier dont la plasticité écologique est très large, est issu d'introductions (Chondroyannis & Vigneron, 1990). Concernant les herbacées, deux espèces de Poaceae dominant : *Molinia caerulea* (molinie) et *Nardus stricta* (nard raide). La première est à l'origine de touradons (buttes plus ou moins arrondies), mais peut également être retrouvée dans les landes périphériques colonisées par la callune. Le nard raide forme également des touffes denses et peut former çà et là des pelouses.

3- Carottage et modèle d'âge

Pour l'étude de la tourbière du Peschio, trois carottes d'1 m chacune ont été prélevées. La carotte PES-01 a été récupérée au point GPS 44°46'N, 03°63'E (Oliveira & Zitouni, 2021). Elle a été extraite à l'aide d'un carottier russe possédant une chambre de carottage de 1 m de longueur. Les sédiments sont conservés au frais (en dessous de 10°C) et analysés en laboratoire. Nos résultats développés ci-après s'appuient sur le modèle d'âge en cal. BP établi par Hemelsdaël & Tourniaire (2022) dont l'objectif est de comprendre le rythme de l'accumulation de la matière organique en fonction de la profondeur et du temps.

4- Caractérisation de la tourbe, dénombrement et identification des macrorestes

La caractérisation de la tourbe a débuté l'année dernière par d'Oliveira & Zitouni (2021). La méthode utilisée est celle de Troels-Smith (1955), décrite par Aaby &

Berglund (1986). La même méthode a été utilisée pour caractériser les 60 cm les plus profonds de la carotte (de 240 cm à 300 cm) de la séquence. Cette méthode permet de décrire la composition de la tourbe en déterminant les différents éléments végétaux et leur abondance relative pour finalement comprendre leur état de décomposition. "*Substantia humosa*" correspond à la matière organique trop détériorée pour être identifiée. "*Turfa*" désigne les débris de végétaux les moins dégradés pour lesquels des bryophytes et des parties aériennes d'herbacées d'Angiospermes pourront être observées voire identifiées. Enfin, "*Detritus*" est le stade intermédiaire dans lequel seules quelques structures réfractaires (les rhizomes, les radicelles ou morceaux épars de bois) sont observées mais non identifiables. Les termes "*Turfa bryophytica*", "*Turfa herbacea*", "*Detritus herbosus*" et "*Detritus lignosus*" sont appliqués pour apporter plus de précision aux observations possiblement faites. Le premier se réfère aux Bryophytes et les deux autres aux débris herbacés (Troels-Smith, 1955 ; Aaby & Berglund, 1986).

Des échantillons d'1 cm³ de tourbe ont été prélevés tous les 8 cm le long de la carotte, soit un total de 38 échantillons. La manipulation débute à 240 cm de la carotte et se termine à 300 cm. De l'eau distillée est utilisée pour la dilution suivie de la filtration avec plusieurs tamis (mailles de 1 et de 0,5 mm). L'observation s'est effectuée à la loupe binoculaire. Chaque type d'élément est compté sur la lame et divisé en 5 classes d'abondance, de 0 à 4 (0 : absence d'éléments, 1 : entre 1-10 éléments, 2 : entre 10-100 éléments, 3 : entre 100-1000 éléments, 4 : > 1000 éléments). « *Substantia humosa* » a quant à elle été décrite en pourcentage de recouvrement de la lame par rapport aux autres matériaux (0 : absence, 1 : 0-25%, 2 : 25-50%, 3 : 50-75%, 4 : 75-100%). La présence d'objets remarquables (graine, débris animal, charbon, etc.) est signalée en commentaire.

Le protocole (Aaby et Tauber, 1975) utilisé est le suivant :

- La découpe de la carotte se fait centimètre par centimètre. La moitié de chaque échantillon est récupérée pour mener les observations. Les échantillons sont pris tous les 8 cm le long des carottes. Avec cette première estimation, vingt-huit échantillons et analyses peuvent être réalisées,
- Pour chaque échantillon, le volume de matière prélevée est mesuré par déplacement d'eau.
- Les échantillons sont plongés dans une solution à base de KOH à 10% permettant de commencer à défloculer les amas de tourbe.
- Ils sont mis à ébullition dans un bain-marie pendant 5 minutes.
- Les échantillons précédemment chauffés sont passés au tamis (mailles de 1 et de 0.5 mm).

RESULTATS

1- Log stratigraphique de la séquence tourbeuse

Le log stratigraphique du Peschio (Fig. 1) a été réalisé sur les 240 cm de la carotte (Oliveira & Zitouni, 2021). Cette séquence présente une tourbe essentiellement composée de *Detritus herbosus* avec des états de décomposition légèrement variables, observés grâce aux différentes classes d'abondances de *Substantia humosa* (classes 1 à 3) avec plus ou moins de racines et de radicelles. Le log stratigraphique montre une alternance de tourbe sombre et de tourbe claire. La tourbe s'est accumulée très rapidement entre 3500 cal. BP (correspondant à l'âge du Bronze) et aujourd'hui. En revanche, un taux d'accumulation très faible caractérise la période comprise entre 9500 et 3500 cal. BP (Fig. 1) (Hemelsdäel & Tourniaire, 2022). Notre étude a permis de déterminer la composition de la base de la carotte, soit de 300 à 240 cm. Une zone sableuse d'environ 1 cm d'épaisseur a été observée à 269 cm de profondeur (Oliveira & Zitouni, 2021). La séquence sédimentaire comprise entre 290 et 240 cm est composée essentiellement de *Detritus herbosus* (Fig. 1). C'est la partie de

la carotte qui comprend l'abondance la plus élevée conjointement de *Detritus herbosus* et de *Substantia humosa* par rapport au reste de la carotte. Cette séquence possède également des graines, des restes d'insectes et des fragments de charbons (Figs. 2 et 3). Le *Detritus lignosus* s'observe uniquement entre 280 et 265 cm, puis entre 250 et 240 cm. Enfin, dans les 10 cm les plus profonds de la carotte, la présence de sable, de petits cailloux blancs ainsi que des *Cenococcum* (une espèce fongique ectomycorhizienne) est relevée.

2- Identification des macrorestes

L'étude des éléments de la matrice de la tourbe démontre une quantité remarquable plus ou moins variable de racines et de radicelles pour tous les échantillons relevés (Fig. 3). Avec les différents éléments aperçus, trois groupes d'éléments associés se distinguent. De 9600 à 2700 cal. BP, des fragments de bois et d'écorces, des charbons et des *Cenococcum graniforme* sont observés. Après 2700 cal. BP, plus aucune trace de bois n'est observée. Puis, des restes de *Carex* tels que des racines et radicelles en plus grande quantité, sont constatés de 9600 à 2300 cal. BP (Figs. 2 et 3). Ces restes sont à mettre en parallèle avec les quantités de racines et de radicelles. Enfin, de 1700 jusqu'à 340 cal. BP, des feuilles ou tiges de *Sphagnum* sont observés en quantité nettement plus importante. L'analyse des éléments de macrorestes présente différents restes tels que des graines, des fruits, des feuilles de plantes de multiples groupes taxonomiques et divers restes d'invertébrés (Fig. 2). Avec ces éléments, trois groupes distincts peuvent être mis en évidence et corrélés avec ceux exposés par les résultats de la matrice. Premièrement, une samare de *Betula* est découverte à 4400 cal. BP. Puis, des akènes de *Carex rostrata* et *C. chordorhiza/echinata* sont retrouvés en quantité plus importante en majorité dans de multiples échantillons. D'autres macrorestes d'herbacées tels que des graines de *Menyanthes trifoliata*, de *Potentilla*, de *Viola palustris*, de *Lotus* sont aussi identifiés.

Le troisième groupe se repère avec la présence de feuilles de 4400 à 340 cal. BP, de différentes espèces de *Sphagnum* telles que *S. angustifolium-fallax*, *S. section cuspidata*, de *S. palustre*, *S. centrale/divinum* et *S. papillosum* avec une diversité plus importante de *Sphagnum* à 680 cal. BP avec l'occurrence de *S. angustifolium-fallax*, *S. section*

cuspidata et *S. palustre* (Fig. 2). Divers restes d'Arthropodes sont observés dans tous les échantillons, exceptés dans ceux correspondant à l'intervalle de temps de 7500 à 2000 cal. BP. Des akènes de *Filipendula ulmaria* et de *Potamogeton* sont identifiés à 9500 et dans l'intervalle 2000-1700 cal. BP.

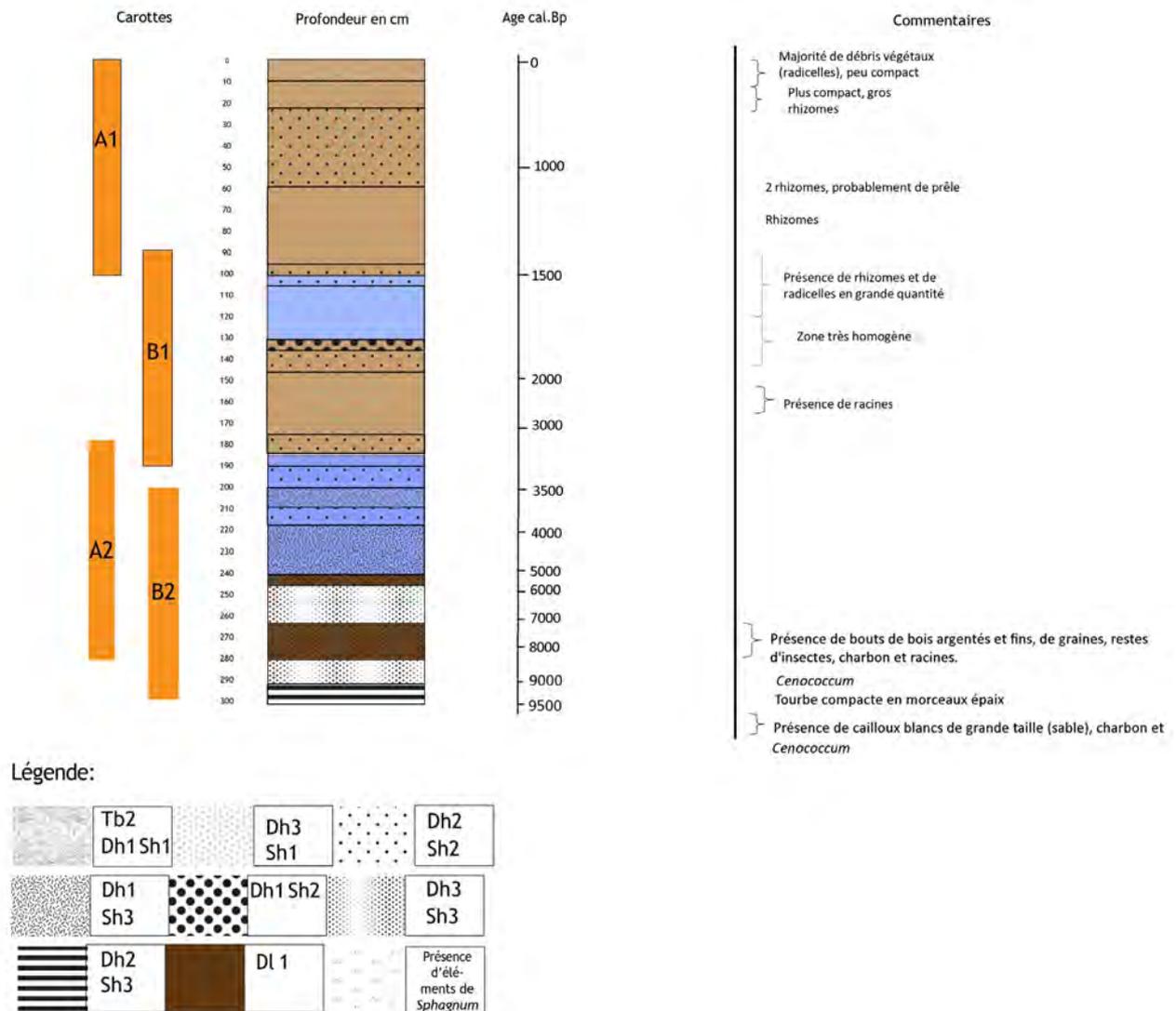


Figure 1. Log stratigraphique complet de la carotte PES-01, d'après Troels-smith (1955). Sh, *Substantia humosa* ; Dh, *Detritus herbosus* ; Tb, *Turfa bryophytica* ; Dl, *Detritus lignosus*.

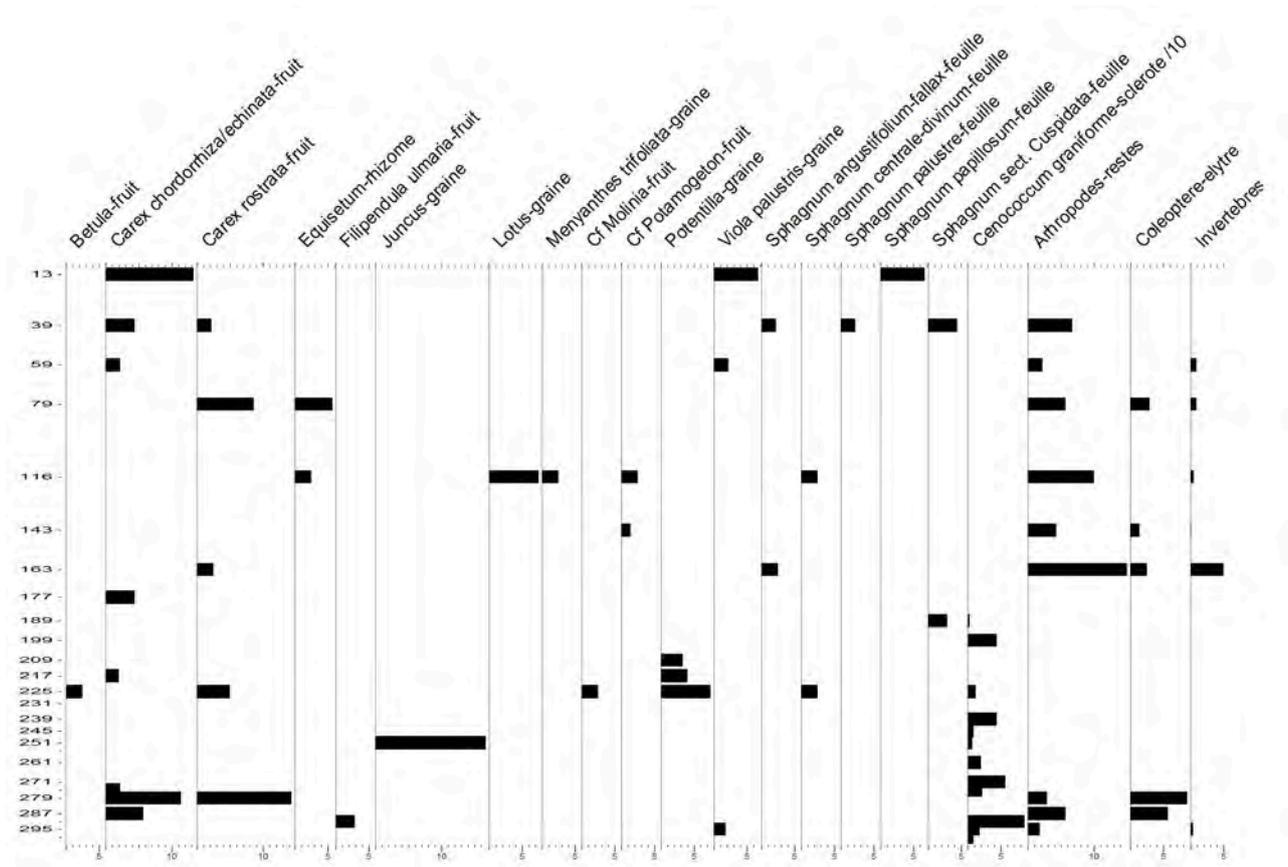


Figure 2. Diagramme des macrorestes en concentration (nombre/cm³) du Peschio

DISCUSSION

1- Caractérisation et fonctionnement de la tourbière au regard de la stratigraphie et de l'identification des macrorestes

La carotte de la tourbière du Peschio révèle une forte abondance de *Detritus herbosus* et de *Substantia humosa* formant une stratigraphie plutôt homogène. Une abondance plus ou moins élevée de racines, de radicelles, de restes de *Carex* indéterminés (Fig. 1) ont été mis en évidence. Le caractère minérotrophe est identifié par les occurrences de feuilles de *Sphagnum* (Oliveira & Zitouni, 2021) (incluant *S. angustifolium-fallax*) et d'akènes de *Carex* qui sont des plantes typiques de tourbières humides. Ces éléments semblent indiquer que cette tourbière est de

type minérotrophe (fen) à dominance herbacée. L'analyse des macrorestes a apporté des précisions quant au fonctionnement de la zone étudiée de la tourbière. Dans la matrice, de 9500 à 9000 cal. BP puis de 5000 à 3200 cal. BP il est relevé la présence de morceaux épars de bois (Fig. 3) ainsi qu'une samare de *Betula* à 4400 Cal. BP dans les macrorestes (Fig. 2). Ces résultats sont en accord avec les données polliniques du *Pinus*, *Betula* et *Corylus* (noisetier) présents en forte densité de 9500 à 5032 sur le Peschio (Moroy et al., 2022). Cependant, lorsque la fréquence en pollen de *Pinus* diminue, celle de *Betula* et de *Corylus* augmente. Ces éléments témoignent d'une phase plus boisée de la tourbière. De plus, la présence de *Cenococcum*, champignons à affinité forestière, plaide également pour une phase boisée (James, 1962).

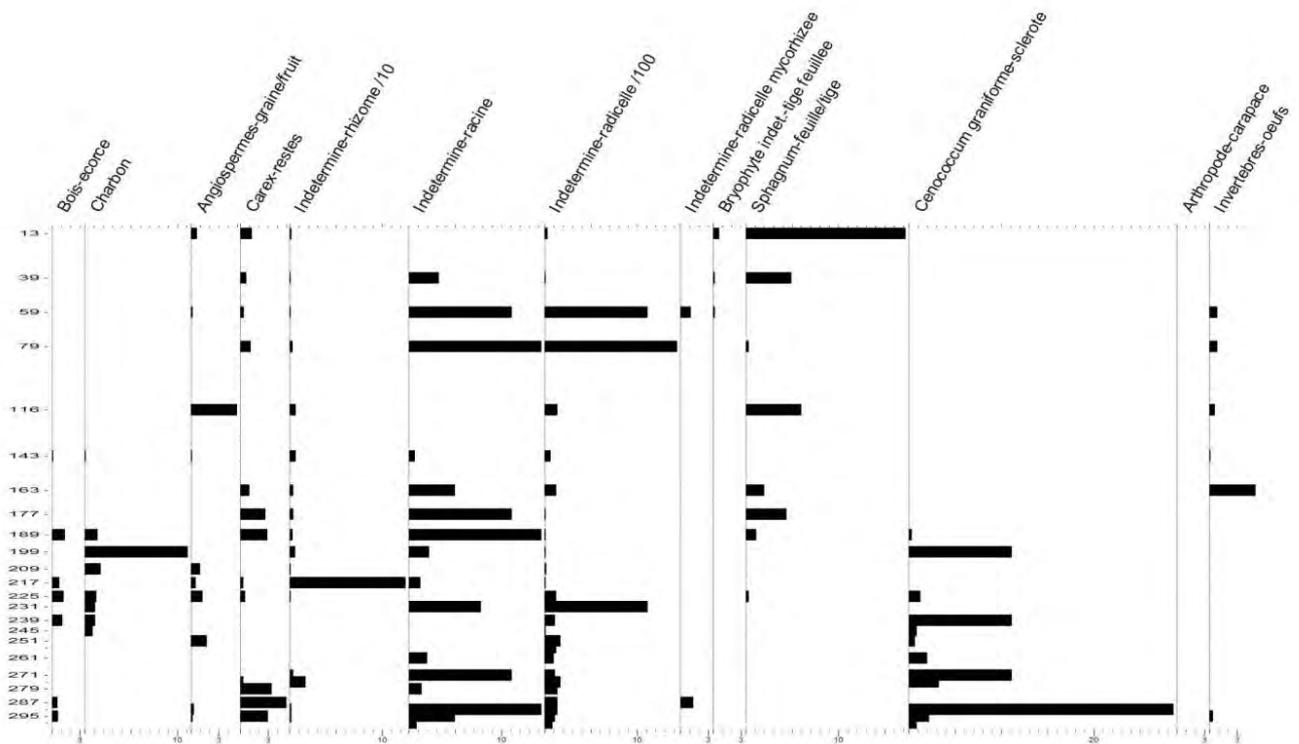


Figure 3. Diagramme de la matrice en concentration (nombre/cm³) du Peschio

Filipendula ulmaria, espèce typique des mégaphorbiaies, est retrouvée sur la carotte uniquement vers 8800 cal. BP (période Atlantique) dans les macrorestes. Elle est retrouvée dans la même période au sein des données polliniques puis très rarement le long de la carotte (Moroy et al., 2022). Son caractère mellifère pourrait expliquer la présence de fragments d'invertébrés dont des coléoptères (Fig. 2). Cette espèce est souvent accompagnée de *Lotus pedunculatus* dans les mégaphorbiaies marécageux, alluviales, rarement fauchés et pâturés. Ces mégaphorbiaies transitoires sont sujets à des inondations phréatiques avec un sol enrichi en matière organique. Leur richesse spécifique peut monter jusqu'à 30 espèces différentes, en particulier des espèces prairiales ou de bas-marais (Fernex et al., 2015 ; Laville & Juhuel, 2017). *Viola palustris* est retrouvée juste un peu avant l'occurrence de *Filipendula ulmaria*, c'est-à-dire à environ 9100 cal. BP (Fig. 2). C'est une herbacée qui peut se développer en prairie humide et en bord de bois de feuillus humides (Lehmuskallio & Lehmuskallio, 2019). Sa

présence ainsi que l'attestation de *F. ulmaria* témoignent de l'existence d'un mégaphorbiaie dans un contexte pré-forestier.

Entre 9000 et 5000 cal. BP, il n'y a plus de traces de bois (Fig. 3). Les *Cenococcum* diminuent (Fig. 2), ainsi que les *Carex*. Les Cypéracées disparaissent également du diagramme pollinique dans cette même période (Moroy et al., 2022). Un abaissement des températures commençant lors de l'Atlantique allant de 6000 à 4000 cal. BP (De Beaulieu, 1974) pourrait expliquer la diminution des *Carex*. Une remontée de la nappe accompagnée d'un tassement du sol semble indiquer un fort apport d'eau entraînant l'augmentation de la présence de *Juncus* à 5700 cal. BP (Fare et al., 2001) témoignant d'une alimentation de la tourbière par ruissellement. La présence de charbon de 5400 à 3000 cal. BP semble indiquer que la tourbière subit à cette période des perturbations liées à des incendies. Ces événements récurrents de feu pourraient expliquer l'absence de restes d'insectes (7000 à 2700 Cal. BP) et de *Cenococcum* (9500 à 3000 Cal. BP). Ce champignon semble

particulièrement abondant dans les milieux forestiers. Les feux ont asséché le milieu ce qui a pu les faire persister (Van Geel, 1978 ; Comtois, 1982 ; Garneau, 1987). Leurs hyphes sont retrouvés au niveau des racines végétales lorsque le champignon n'est pas dégradé (James, 1962). De ce fait, les traces de charbon montrent que des incendies se sont déroulés à ces dates. Dès lors, le feu aurait provoqué un assèchement de la surface entraînant ainsi la multiplication de ce champignon. La couche de tourbe sableuse vers 7100 cal. BP peut être également la marque d'ouverture du milieu (Grove, 2001). Dès la fin de l'Atlantique, les premiers défrichements ont lieu lors de l'Âge du cuivre, ce qui permet d'étendre la nardaie (De Beaulieu & Gilot, 1972). Enfin, l'accentuation de l'agropastoralisme a entraîné l'ouverture progressive du milieu pendant le Subatlantique (à partir de 2800 cal. BP), ce qui pourrait expliquer l'absence de fragments de bois aux périodes plus récentes. Lors de l'exploration du terrain, est observé le développement d'un couvert dense de Poaceae dominé par le genre *Molinia* et *Nardus* ainsi que de la *Callune* qui sont indicateurs d'anthropisation. Par ailleurs, les données polliniques confirment leur existence avec une forte augmentation à partir d'environ 1600 cal. BP et un pique à environ 910 cal. BP (Moroy et al., 2022). La sécheresse édaphique ou dite agricole est plus prononcée. Elle permet le développement d'un couvert dense de Poaceae dominées par le genre *Molinia* et *Nardus* sur le Peschio (Bottollier-Curtet & Muller, 2009).

Des Cypéracées dont les akènes de *Carex*, en particulier *Carex rostrata*, sont nombreux entre 1600 et 1200 cal. BP. Ils sont accompagnés des graines de *Menyanthes trifoliata*, une espèce héliophile et hydrophile (Lavoie et al., 1995). Ces macrorestes permettent de caractériser la tourbière comme de type herbacé et semblent indiquer dès l'âge du Bronze, une ouverture du milieu liée à des facteurs anthropiques. Cette ouverture illustre un changement d'écologie et le caractère minérotrophe riche (richfen) de la tourbière du Peschio jusqu'à 1700 cal. BP (Muller et al., 2003). *Potamogeton* étant une plante typique

de végétation aquatique, sa présence à 1600 cal. BP démontre que la tourbière était encore plus en eau (Fernex et al., 2015 ; Laville & Juhuel, 2017) durant l'Antiquité. D'autres taxons comme *Menyanthes trifoliata*, *Lotus*, *Sphagnum centrale-divinum* et *Equisetum* semblent confirmer l'existence d'un milieu humide, voire très humide.

De 1600 à 340 cal. BP, la présence de Bryophytes dont *Sphagnum* dans les macrorestes indiquent que la tourbière a connu une phase bryophytique. La présence de *Carex rostrata*, *C. chordorhiza/echinata* et de *Viola palustris* ont indiqué le caractère minérotrophe pauvre (poorfen) de la tourbière (Muller et al., 2003). L'inventaire des espèces présentes sur la tourbière du Peschio et les relevés phytosociologiques réalisés à l'emplacement des deux carottes (Cartier et al., 2021) ont montré que la tourbière était probablement à nouveau plus humide depuis environ 1100 cal. BP. La présence simultanée de plusieurs espèces de *Sphagnum* à 680 cal. BP n'est attestée qu'une fois sur la séquence de la carotte du Peschio. La stagnation au stade de fen s'explique probablement par les conditions climatiques du sud du Massif Central et au pâturage malgré qu'elle ait connu différentes phases : boisée, herbacée et bryophytique.

2- Comparaison des log stratigraphiques

Afin de comprendre la dynamique des tourbières du Mont Lozère, le log stratigraphique du Peschio a été comparé avec le log stratigraphique de la tourbière des Nassettes et des Grandes Nasses (Bonnet et al., 2020 ; Hemelsdaël & Tourniaire, 2022) (Fig. 4). Les carottes du Peschio et des Nassettes présentent de 10000 à 2000 cal. BP une tourbe plutôt compacte, essentiellement constituée de *Substantia humosa*. De 4000 à 1000 cal. BP, des macrorestes sont observés à l'œil nu dans la tourbe des Grandes Nasses et du Peschio tels que des racines, radicelles et rhizomes. Sur toutes les carottes, de 1000 cal. BP jusqu'à l'actuel, la tourbe contient de nombreuses radicelles, ce qui témoigne de la grande quantité de *Detritus herbosus*. Enfin,

pour chaque tourbière, la partie correspondant à 500 cal. BP comporte une tourbe claire, fibreuse et aérée due à la présence de *Turfa bryophytica*, *Detritus herbosus* et de peu de *Substantia humosa*. Cette observation peut être expliquée par des profondeurs indiquant une période encore trop récente pour que la matière organique ce soit suffisamment tassée et dégradée (Fig. 4). En revanche, cette épaisseur fibreuse est nettement plus importante pour le Peschio et les Nassettes. Ainsi, les tourbières se sont développées dans des conditions relativement semblables

compte tenu des similitudes entre les différentes tourbières. La composition de la matrice des trois tourbières est équivalente. En revanche, leurs modèles d'âge sont différents donc leurs profondeurs ne correspondent pas aux mêmes âges. Cette différence semble signifier que les tourbières n'ont pas eu la même dynamique. Il est supposé qu'elles aient connu des climats similaires mais des perturbations anthropiques suffisamment différentes pour que leurs tourbes s'accumulent différemment.

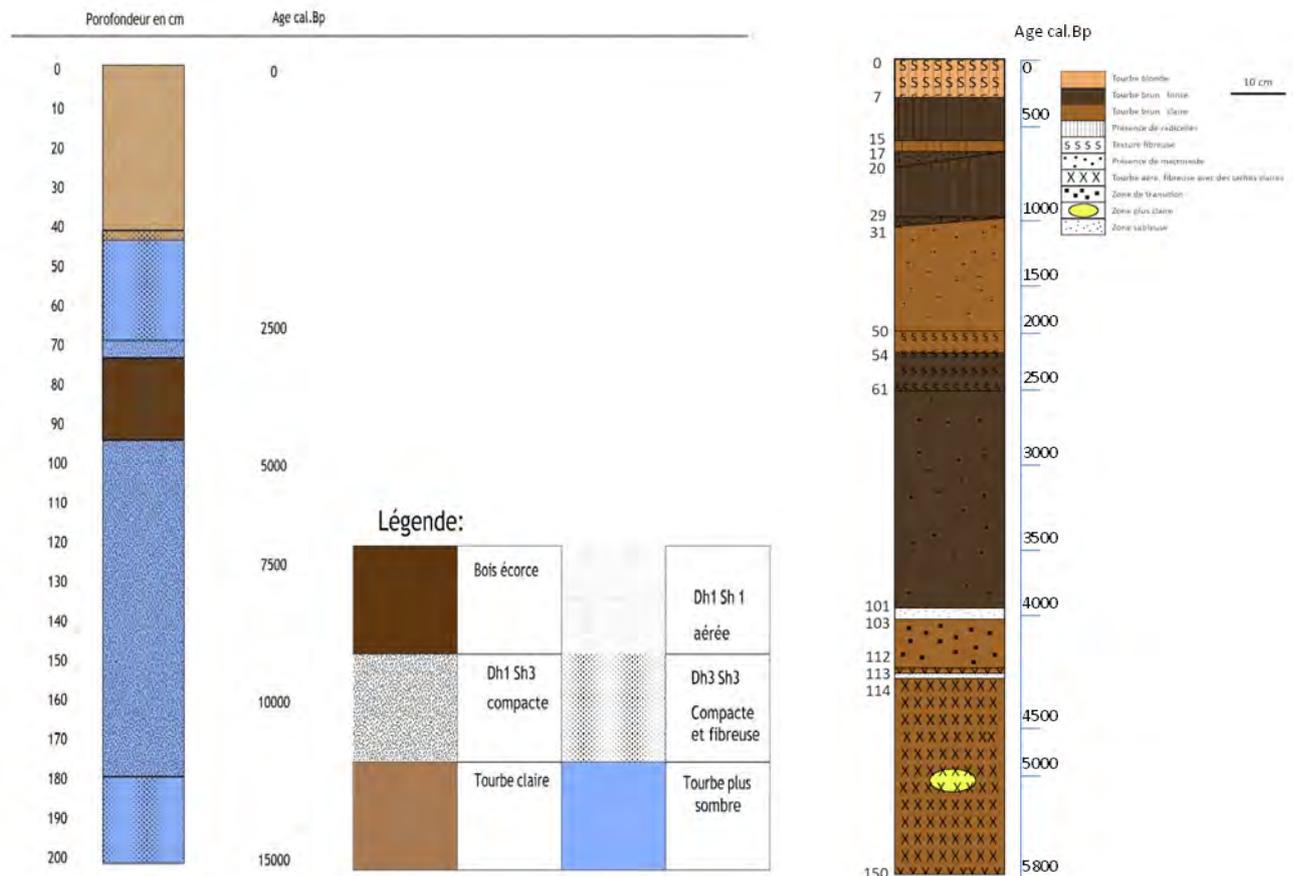


Figure 4. Logs stratigraphiques des Nassettes (à gauche ; d'après Bonnet et al., 2020) et des Grandes Nasses (à droite ; d'après Hemelsdael & Tourniaire, 2021)

CONCLUSION

La présente étude a permis d'apporter des précisions sur l'histoire de la végétation du Peschio, une tourbière restée de type minérotrophe depuis sa formation. L'analyse des éléments macroscopiques de la tourbe a permis une reconstitution préliminaire des

successions de végétations dominantes dans la tourbière du Pechio. Son évolution, indique que des perturbations ont affecté cette zone et ont influencé l'écologie du milieu. Trois phases sont enregistrées par la tourbière du Peschio à l'aide du log stratigraphique, de la matrice et des macrorestes. Elle est passée d'une phase boisée à bryophytique par

l'intermédiaire d'une phase herbacée. Le changement d'écologie marque le passage d'un environnement plus forestier à une prairie humide qui s'ouvre au cours du temps. Celui-ci est amplifié par l'impact de l'anthropisation qui défriche localement et instaure des activités pastorales influençant la disparition de certaines espèces depuis l'âge du Bronze (Vernet, 1972). Le maintien sur le long terme du stade de fen est probablement dû au climat et à l'anthropisation qui se perpétue. La présence de certaines espèces végétales lors de l'apparition de l'anthropisation suggère l'importance du rôle joué par l'Homme dans ce processus (Bottollier-Curtet & Muller, 2009).

L'étude menée présente des biais à ne pas négliger. Tout d'abord, ce n'est pas la même équipe qui a analysé les carottes du Peschio, induisant un biais potentiel d'observation déjà conséquent dans le principe de la manipulation. Ensuite, d'autres biais se posent dans la comparaison entre les logs stratigraphiques car chaque analyse ne disposait pas des mêmes légendes et d'indices. Finalement, l'analyse des macrorestes semble intéressante et pertinente. Cependant, elle n'est pas forcément aussi instructive par rapport à d'autres indicateurs paléoécologiques car les macrorestes sont plus affectés par les processus post-dépositionnels que le pollen par exemple. Lors du prélèvement des échantillons de la tourbe, du matériel n'a pas pu être analysé car seules certaines portions de la carotte ont été sélectionnées. Dans l'idéal, pour avoir une précision optimale, il aurait fallu étudier l'ensemble des macrorestes. Par ailleurs, plusieurs carottes auraient pu être prélevées à différents endroits de la tourbière du Peschio afin de l'étudier à plus grande échelle. Ainsi, il est pertinent de continuer de mener ces études pour la compréhension plus précise de la végétation régionale et pour préserver celle future. Une perspective envisageable serait de réaliser les mêmes études des macrorestes sur les autres tourbières proches dont celles mentionnées précédemment afin de déterminer si des proxys similaires sont retrouvés et si leurs logs stratigraphiques sont cohérents avec les macrorestes.

REFERENCES

- Aaby B. & Berglund B.E. (1986). Characterization of peat and lake deposits. In: B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 231-246.
- Aaby B. & Tauber H. (1975). Rates of peat formation in relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. *Boreas*, 4 (1) : 1-17.
- Bégeot C. & Richard H. (1996). L'origine récente des peuplements de Pin à crochets (*Pinus uncinata* Miller ex Mirbel) sur la tourbière de Frasne et exploitation de la tourbe dans le Jura. *Acta Botanica Gallica*, 143 (1) : 47-53.
- Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. (2020). Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire récent. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-42.
- Bottollier-Curtet M. & Muller S.D. (2009). Dynamique et contexte passé du développement d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France). *Comptes Rendus Biologies*, 332 (1), 69-82.
- Braun-Blanquet J. (1953). Essai sur la végétation du Mont Lozère comparée à celle de l'Aigoual. *Bulletin de la Société Botanique de France* : 46-59.
- 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.
- Chondroyannis P. & Vigneron C. (1990). Les grandes réalisations forestières du siècle dernier en France méditerranéenne continentale. *Forêt Méditerranéenne*, 12 (1) : 3-52.
- Martin C. & Didon-Lescot J.-F. (2007). Influence d'une tourbière de moyenne montagne sur les écoulements : le cas de la tourbière des Sagnes sur le Mont-Lozère.

- Etudes de Géographie Physique*, 34 : 27-41.
- Comtois P., (1982). Histoire holocène du climat et de la végétation à Lanoraie (Québec). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 19 (10) : 1938-1952.
- de Beaulieu J.-L. (1974). Evolution de la végétation sur la bordure montagneuse cévenole au postglaciaire d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 : 3-4 : 347-358.
- de Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 : 1641-1644.
- 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.
- Fare A., Dutartre A. & Rebillard J.-P. (2001). *Les principaux végétaux aquatiques de Sud-ouest de la France*. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 190 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 le Mirail, 311 p.
- Fernez T., Lafon P. & Hendoux F. (2015). *Guide de végétations remarquables de la région île-de-France*. Conservatoire botanique national du Bassin parisien, Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'Île-de-France, Paris, 2 : 120 p.
- Garneau M., (1987). Reconstitution paléocéologique d'une tourbière littorale de l'estuaire du Saint-Laurent : analyse macrofossile et sporopollinique. *Géographie Physique et Quaternaire*, 41 (1) : 109-125.
- Grove A.-T., (2001). The "Little Ice Age" and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe. *Climatic Change*, 48 (1) : 121-136.
- Hemelsdaël A. & Tourniaire C. (2022). La tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère) : âge de la tourbière et sédimentologie. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 21-37.
- Jacquemart A.-L. & Angenot A. (2004). Un écosystème original, la tourbière. Le cas des tourbières acides en Belgique. *Probio revue*, 4, 257-276.
- James M. (1962). *Cenococcum Graniforme - Its distribution, Ecology, Mycorrhiza formation, and inherent variation*. Dissertations publishing, University of Washington, 147 p.
- Laville L. & Juhel C. (2017). Identification des végétations de zones humides par bassin versant, *Guide des végétations de zones humides des bassins versants de l'Orne et de la Dives*, 2 : 7-24.
- Lavoie M., Larouche A.-C. & Richard P.J.-H. (1995). Conditions du développement de la tourbière de Farnham, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 49 (2) : 305-316.
- Lehmuskallio E. & Lehmuskallio J. (2019). *Luonnon villit käyttökasvit*. *Readme.fi*, Helsinki, 431 p.
- Moroy N., Mousnier A., Passelergue M. (2022). Dynamiques postglaciaires de végétation à l'échelle locale et régionale sur le Mont Lozère. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 51-70.
- Muller S.D. (2002). Influence de la végétation sur l'accumulation de la tourbe au Québec méridional. *Comptes Rendus Biologies*, 325 (5) : 629-640.
- Muller S. D., Richard P. J. H. & Larouchel A. C. (2003). Holocene development of a peatland (southern Québec): a spatio-temporal reconstruction based on pachymetry, sedimentology, microfossils and macrofossils. *The Holocene*, 13 (5) : 649-664.
- Oliveira L. & Zitouni A. (2021). Dynamique d'accumulation de tourbe dans le sud du Massif Central : focus sur la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 21-36.

- Pulido Avila M. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique post-glaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille, 308 p.
- Servera Vives G., Miras Y., Riera S., Julia R., Allée P., Orengo H., Paradis-Grenouillet S. & Palet J.-M., (2014). Tracing the land use history and vegetation dynamics in the Mont Lozère (Massif Central, France) during the last 2000 years: The interdisciplinary study case of Countrasts peat bog. Elsevier, Paris, pp.123–139.
- Reille M. (1989). L'origine du Pin à crochets dans le Massif Central français. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 136 (1) : 61-70.
- Reille M. (1990-1991). L'origine du pin à crochets dans le Massif Central français. *Revue de Sciences Naturelles d'Auvergne*, 56 : 71-78.
- Troels-Smith J. (1955). Karakteriseringaf lose jordater (Characterisation of Unconsolidated Sediments). *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, 3 : 39-73.
- Van Geel B. (1978). A palaeoecological study of holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 : 1-120.
- Vernet J.-L. (1972). Nouvelle contribution à l'histoire de la végétation holocène des Grands Causses d'après les charbons de bois. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 119 : 169-182.

DYNAMIQUES POSTGLACIAIRES DE VEGETATION A L'ECHELLE LOCALE ET REGIONALE SUR LE MONT LOZERE

Noé Moroy ¹, Auriane Mousnier ², Maddalena Passelergue ³

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

¹ noemoroy30@gmail.com, ² auriane.mousnier@gmail.com, ³ passemadda@gmail.com

Encadrement : Colline Bonnet

Citation : Moroy N., Mousnier A. & Passelergue M. (2022). Dynamiques postglaciaires de végétation à l'échelle locale et régionale sur le Mont Lozère. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 51-70.

Résumé : L'étude palynologique de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, Parc national des Cévennes) est complétée par une augmentation de la résolution d'échantillonnage, couplée avec une étude palyno-stratigraphique de la base de la tourbière des Grandes Nasses. Les résultats ont mis en évidence les dynamiques végétales régionales et locales au cours de l'Holocène et confirment les grands traits de l'histoire de la végétation, ainsi que les événements anthropiques et climatiques ayant marqué le Sud du Massif Central : déclin des pinèdes associé à un climat froid et humide, émergence des corylaies et chênaies caducifoliées puis des hêtraies-sapinières, et plus récemment une ouverture des milieux d'origine anthropique.

Mots clés : Cévennes, dynamiques végétales, Holocène, impact anthropique

Abstract: *Postglacial vegetation dynamics at local and regional scales on Mont Lozère.* The palynological study of the Peschio peatland (Mont Lozère, Cévennes National Park) is completed by an increase in sampling resolution, coupled with a palynostatigraphic study of the base of the Grandes Nasses peatland. The results highlighted the regional and local plant dynamics during the Holocene and confirm the main features of vegetation history, as well as the anthropogenic and climatic events that marked the South of the Massif Central : decline of pine forests associated with a cold and humid climate, emergence of *corylaies* and deciduous oaks then beech-fir-forests, and more recently an opening of environments of anthropic origin.

Keywords: Cevennes, plant dynamics, Holocene, anthropic impact

Les tourbières sont des formations précieuses pour les analyses paléoécologiques. En effet, ces zones humides permettent l'accumulation et la conservation de nombreux indices paléo-environnementaux tels que les charbons de bois, les macrorestes, les rhizopodes ou encore les grains de pollen (Nordlund, 2014). Ces derniers apportent des informations intéressantes sur les dynamiques végétales passées et les conditions paléocli-

matiques, notamment par l'analyse pollinique de nombreuses tourbières en Europe qui ont permis de décrire les grandes phases de végétation. Dans le Massif Central, l'analyse a permis d'identifier quatre grandes phases d'assemblage végétal en fonction de la chronostratigraphie de l'Holocène (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu, 1974, 1981 ; de Beaulieu & Pons, 1979 ; de Beaulieu et al., 1985, 1987 ; Muller, 2005). La phase du Préboréal/Boréal (11700 à 8900

cal. BP) se traduit sur le Mont Lozère par le remplacement rapide des pinèdes par *Corylus*, qui subsistent depuis le tardiglaciaire, avec l'installation des corylaies (*Corylus*, *Quercus* et *Ulmus*). A la phase de l'Atlantique (8900 à 5400 cal. BP), *Corylus* se maintient en co-dominance avec *Quercus*. Les chênaies sont diversifiées, avec l'émergence de *Tilia*, *Ulmus* et *Fraxinus*. La phase du Subboréal (5400 à 2800 cal. BP) montre la régression de *Quercus* et de *Corylus* vers les étages inférieurs, qui se fait au profit de l'installation d'une hêtraie-sapinière (*Fagus* et *Abies*). La phase du Subatlantique (2800 cal. BP à l'actuel) met en évidence l'anthropisation et l'agro-pastoralisme qui entraînent une ouverture des paysages.

Dans le Sud du Massif Central, une première analyse pollinique de la tourbière du Peschio a été réalisée par [Cartier et al. \(2021\)](#). Les résultats ont permis de caractériser l'évolution des assemblages végétaux régionaux et locaux, enregistrés par la tourbière au cours de l'Holocène. Cependant, certains niveaux n'ont pas pu être analysés, réduisant ainsi considérablement la précision des dynamiques identifiées au Préboréal, Boréal et Atlantique. Ainsi, quelles ont été les dynamiques végétales de la tourbière du Peschio et sont-elles en adéquation avec l'histoire de la végétation du Massif Central issue de la littérature ?

Dans ce contexte, le premier objectif de cette étude est donc de compléter les analyses polliniques réalisées sur la tourbière du Peschio pour les périodes du Boréal, de l'Atlantique et du Subboréal, et de combiner ces nouveaux résultats à ceux obtenus par [Cartier et al. \(2021\)](#). Une meilleure résolution sur l'ensemble de la séquence permettra d'améliorer la caractérisation des liens entre la végétation et les événements climatiques aux périodes pré-anthropiques de l'Holocène. L'analyse pollinique complémentaire de certains niveaux permettra dans un premier temps d'acquérir de nouvelles données, dans le but d'aborder plus en détails l'histoire des assemblages des communautés végétales de la tourbière lors du Boréal et de l'Atlantique.

Elle permettra également de détailler les dynamiques de végétation régionales enregistrées par le site, et d'appréhender plus précisément leurs liens avec les événements anthropiques ou climatiques du Sud du Massif Central.

En parallèle, lors de la campagne de terrain en 09/2021 une nouvelle tourbière, les Grandes Nasses, a été échantillonnée et fera l'objet d'une étude palynologique future. Le second objectif de cette étude est d'estimer l'âge maximal de la tourbière des Grandes Nasses. À cette fin, une comparaison des assemblages polliniques du niveau basal de la séquence tourbeuse des Grandes Nasses avec ceux du Peschio et d'autres tourbières de la région est réalisée afin d'établir une corrélation palynostratigraphique.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

La tourbière du Peschio (44°46' 38.62''N, 3°64'0.559''E ; alt. 1370 m, [Fig. 1](#)) se situe dans le Sud-Ouest du Massif Central, au Nord-Ouest du Mont Lozère (Parc National Des Cévennes). Ce massif granitique d'origine hercynienne et culminant à 1702 mètres d'altitude se caractérise par un climat tempéré humide, avec des précipitations annuelles élevées en automne (1500 mm/an) et une saison estivale courte et froide ([Pulido Avila, 2006](#) ; [Cartier et al, 2021](#)). Le Peschio est une tourbière minérotrophe, principalement alimentée par les épisodes pluvieux et des ruissellements riches en minéraux ([Pulido Avila, 2006](#)). L'inondation de la tourbière en hiver permet la présence d'une végétation très hygrophile dominée par *Sphagnum inundatum*, *Equisetum fluviatile* ou encore *Menyanthes trifoliata* ([Pulido Avila, 2006](#)). Les reliefs avoisinants abritent des landes et des zones boisées respectivement dominées par *Calluna vulgaris* et par *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior* et *Pinus sylvestris* ; ainsi que des pâturages dont les origines datent probablement du milieu du Néolithique-Chalcolithique ([de Beaulieu & Pons, 1979](#)).

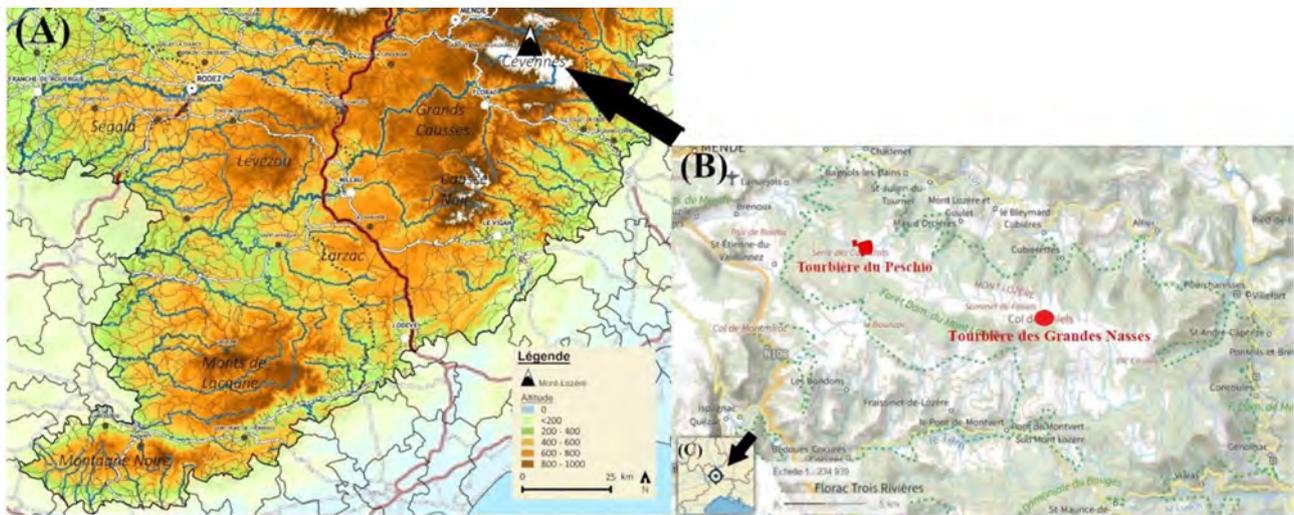


Figure 1. (A) Localisation du Mont-Lozère, au sud du Massif Central (source : Lecomte A., projet « Dynamiques territoriales », IGN). (B) Localisation des tourbières du Peschio et des Grandes Nasses, sur le Mont Lozère (source : Geoportail). (C) Localisation de la carte B à l'échelle régionale. D'après Cartier et al. (2021).

La tourbière des Grandes Nasses (44°41'91,4"N, 3°77'03,3"E, Fig. 1), proche de celle du Peschio (11,6 km en direction du sud-est), est une tourbière soligène de type minérotrophe. La végétation est similaire à celle du Peschio, avec une dominance locale de *Carex nigra*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum capillifolium*, *S. rubellum* et *Viola palustris*.

2- Méthodes de terrain

Prélèvements sédimentaires

Lors de la campagne de terrain en Septembre 2020 (Cartier et al., 2021), un relevé le long de transects réalisés sur l'ensemble de la tourbière du Peschio a permis d'identifier la zone la plus profonde, et donc potentiellement la plus âgée, dans le but d'y effectuer un carottage (D'Oliveira & Zitouni, 2021 ; Cartier & al., 2021). Une séquence tourbeuse constituée de 4 carottes a été prélevée le 03/09/2020 (Bombeau & Musco de Caires, 2021) par Cartier et al. (2021) dans deux trous situés à 20 cm l'un de l'autre (A1, A2 et B1, B2 ; 44°27'53,2"N, 03°38'02,6"E), à l'aide d'un carottier russe. Ce carottier est idéal pour le prélèvement de tourbe puisqu'il en préserve la structure et la stratification tout en limitant considérablement la contamination (Jowsey,

1966).

Une séquence a également été prélevée dans le site des Grandes Nasses le 02/09/2021 (carottes B1 et B2 ; coordonnées GPS approximatives : 44°41'91,0"N, 3°77'3,5"E), après avoir effectué le même protocole de transect que sur la tourbière du Peschio. Elle est décrite par Hemelsdaël & Tourniaire (2022).

Relevés phytosociologiques

Des relevés phytosociologiques ont été effectués selon la méthode de Braun-Blanquet (1932) sur 3 zones de la tourbière du Peschio et 5 zones de la tourbière des Grandes Nasses caractérisées par des profils de végétation distincts et homogènes. Ils ont ainsi permis de réaliser un inventaire floristique local sur respectivement 3 et 5 quadrats d'une surface de 16 m².

3- Laboratoire

Échantillonnage des séquences et traitements chimiques

Les prélèvements ont été réalisés sur les carottes A1, B1 et B2 du Peschio, à l'aide d'un emporte-pièce d'environ 1 cm³. Pour affiner la résolution temporelle de l'étude palynologique de Cartier et al. (2021), huit

profondeurs ont été sélectionnées dans les zones sous-échantillonnées de leur diagramme pollinique (Annexe 1). Les échantillons (Annexe 1) ont été traités chimiquement afin d'en extraire le pollen, à l'aide du protocole de [Berglund & Ralska-Jasiewiczowa \(1986\)](#). Il consiste en l'élimination des carbonates, fluosilicates, de la silice et enfin de la cellulose. Les culots contenant les grains de pollen ont ensuite été montés sur lame et scellés à l'aide d'histolaque. Trois lames par niveau ont été montées, soit 24 lames au total. Un échantillon prélevé à la base de la carotte B2 des Grandes Nasses a été traité et analysé de façon identique. Au total, 15 échantillons de la tourbière du Peschio dont 8 provenant de l'étude de [Cartier et al. \(2021\)](#), ainsi qu'un échantillon de la tourbière des Grandes Nasses (Annexe 1) ont été analysés.

Acquisition des données polliniques

Chaque lame a été comptée avec un minimum de 100 grains de pollen par comptage, à l'aide d'un microscope optique au grossissement x400. Sur l'ensemble des échantillons analysés, 28 taxons ont été identifiés (Annexe 2) à l'aide de l'Atlas pollinique de [Reille \(1998\)](#) et de la clé de détermination de [Faegri & Iversen \(1989\)](#). La concentration pollinique (CP) a été calculée à l'aide de la formule :

$$CP = \frac{SP \times VC \times N}{VG \times VS \times n}$$

Avec CP en grains/cm³ ; SP : somme pollinique ; VC = volume du culot en ml ; N = nombre de lignes total observé sur la lamelle (au grossissement x400) ; VG = volume de la goutte (toujours égal à 25 µl) ; VS = volume sédimentaire en ml ; n = nombre de lignes comptées.

La richesse pollinique a été calculée pour chaque profondeur et correspond à la somme du nombre de taxons identifiés (spores comprises, indéterminés exclus).

4- Traitement des données

Chronologie

Un total de 6 dates radiocarbone

conventionnelles (Annexe 3) ont été réalisées par mesure du ¹⁴C puis étalonnées à l'aide du logiciel Calib 8.1.0 ([Stuiver & Reimer, 1993](#)). Les dates calibrées obtenues, exprimées en cal. BP, constituent le cadre chronologique de cette étude, et ont permis à [Hemelsdaël & Tourniaire \(2022\)](#) de réaliser plusieurs modèles âge-profondeur de la tourbière du Peschio, dont un a été sélectionné pour cette étude (Annexe 4). Pour la séquence tourbeuse de la tourbière des Grandes Nasses une datation radiocarbone a été réalisée à la base de la carotte (Annexe 3).

Harmonisation des données

L'intégration des données polliniques récoltées par [Cartier et al. \(2021\)](#) dans l'analyse palynologique de cette étude nécessite dans un premier temps une harmonisation des différents taxons polliniques identifiés. Les taxons qui n'ont pas été reconnus par l'ensemble des analystes ont été placés parmi les indéterminés. Certains taxons qui n'ont pas été identifiés dans la première étude et ayant un intérêt majeur dans cette étude ont été recomptés sur les lames réalisées par [Cartier et al. \(2021\)](#) : *Abies*, *Bistorta*, *Filipendula*, *Ranunculus*-type, et *Ulmus*. Les richesses, sommes et concentrations polliniques ont été calculées à nouveau pour l'ensemble des niveaux représentés dans le diagramme pollinique.

La proportion de pollen arboréen sur pollen non arboréen (PA/PNA, en %) pour chaque niveau a été calculée (taxons régionaux et locaux non différenciés ; indéterminés exclus) de la manière suivante :

$$PA/PNA = \frac{\text{somme du pollen arboréen}}{\text{somme pollinique}} \times 100$$

Données graphiques et analyses statistiques

Le diagramme pollinique en pourcentage a été réalisé sur R ([R Core team, 2021](#)) à partir des pourcentages polliniques de chaque taxon, à l'aide du *package* "Rioja" ([Juggins, 2021](#)). Une classification hiérarchique ascendante (CHA) contrainte stratigraphiquement a été effectuée à l'aide du *package* "Vegan" ([Oksanen et al., 2021](#)). Elle est basée sur le calcul des distances de *Chord*, qui permet de

regrouper les différents niveaux analysés en fonction de la dissimilarité de leur combinaison pollinique, afin d'effectuer une zonation du diagramme.

RESULTATS

1- Relation pollen-végétation

Relevés phytosociologiques

L'inventaire phytosociologique du Peschio réalisé en septembre 2020 (Cartier et al., 2021 ; Annexe 5) indique une abondance d'*Equisetum fluviatile*, *Eriophorum angustifolium*, *Menyanthes trifoliata* et *Sphagnum inundatum*, espèces hygrophiles spécifiques des zones humides telles que les gouilles des tourbières ou les marais en transition (Fernez et al., 2015). Sur le site des Grandes Nasses, une grande proportion d'espèces hygrophiles a été relevée : *Carex nigra*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum capillifolium*, *S. rubellum* et *Viola palustris*. Ce cortège végétal indique que la tourbière des Grandes Nasses correspondrait à une lande tourbeuse (Fernez et al., 2015). Les deux sites partagent des caractéristiques communes telles que des formations herbacées basses et ouvertes, spécifiques aux tourbières, bien que le Peschio semble être à un stade plus avancé de la succession hydrosérale (Fernez et al., 2015).

Discrimination du pollen régional et local

Une comparaison entre les espèces identifiées dans les relevés phytosociologiques de la tourbière et les taxons identifiés dans le registre fossile a permis de distinguer les apports polliniques locaux des apports régionaux. Un taxon dit local est hygrophyte et se développe sur la tourbière ou en bordure du site (Bonnet, 2021), sa présence est visible à la fois dans l'inventaire phytosociologique et dans le diagramme pollinique (Table 1). Si un taxon pollinique hygrophile est présent dans le registre pollinique mais sans représentants actuels au Peschio, il est considéré comme taxon local disparu de la tourbière (Table 1). Enfin, les taxons régionaux, dont l'apport s'étend à quelques

dizaines de km du site (Bonnet, 2021) sont les taxons du registre pollinique non hygrophiles, et qui ne correspondent à aucune espèce identifiée dans les relevés phytosociologiques du Peschio (Table 1).

2- Diagramme pollinique

La somme pollinique varie entre 100 et 871 grains de pollen. La richesse pollinique est comprise entre 10 et 27, avec un total de 26 taxons polliniques et 2 spores (Annexe 2). La CHA a permis d'identifier 4 zones polliniques (ZP, Fig. 2) :

ZP1 : 9495 à 8700 cal. BP (298 à 285 cm), Boréal

La zone 1 montre une végétation à dominance herbacée herbacée (aux échelles locale et régionale), avec seulement 30 % de pollen arboréen majoritairement représenté par *Pinus* (10-20 %), une faible présence de *Corylus* (0-10 %). Les taxons herbacés sont très diversifiés et certains atteignent leur optimum : Apiaceae (10 %), Asteraceae (10 %), Cyperaceae (5 %), et *Filipendula* (45 %). Les pourcentages des spores sont faibles et n'excèdent pas 5 %, tandis que *Sphagnum* est absent de l'assemblage pollinique.

ZP2 : 8700 à 4000 cal. BP (285 à 236 cm), Atlantique-début Subboréal

La zone 2 se caractérise par une augmentation de certains taxons arborés, tels que *Pinus* qui atteint un pic (35 %) à 7300 cal. BP ; *Betula* (pic de 30 % en 6015 cal. BP) dont l'enregistrement est dominant localement sur l'ensemble de la zone ; ou encore *Corylus* (35 %), dont la progression est très semblable à celle de *Betula*. Certains taxons sont plus faiblement enregistrés (< 5 %) : *Quercus ilex*-type, *Quercus pubescens*-type, *Tilia*, *Ulmus*. L'émergence de *Fagus* vers 5500 cal. BP est suivie d'une augmentation brutale du taxon à partir de 4200 cal. BP (20 %).

Table 1. Taxons locaux, locaux disparus et régionaux de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France)

Taxons locaux	Taxons locaux disparus	Taxons régionaux
Apiaceae	<i>Bistorta</i>	<i>Abies alba</i>
<i>Betula</i>	<i>Filipendula ulmaria</i>	<i>Alnus</i>
Cyperaceae	<i>Frangula alnus</i>	Amaranthaceae
Ericaceae		<i>Artemisia</i>
Poaceae		Asteroideae
<i>Ranunculus acris</i> -type		<i>Castanea sativa</i>
<i>Salix</i>		<i>Cerealia</i> -type
<i>Sphagnum</i>		Cichorioideae
		<i>Corylus avellana</i>
		<i>Fagus sylvatica</i>
		<i>Quercus ilex</i> -type
		<i>Quercus pubescens</i> -type
		<i>Pinus sylvestris</i> -type
		Spore monolète
		<i>Tilia</i>
		<i>Ulmus</i>

Des taxons polliniques de mégaphorbiaie (Apiaceae, Cyperaceae, *Filipendula*, *Succisa pratensis*) sont enregistrés (< 5 %). Les spores monolètes (6000 cal. BP, 30 %) et *Sphagnum* (5030 cal. BP, 20 %) sont abondants.

ZP3 : 4000 à 165 cal. BP (236 à 20,5 cm), Subboréal-début Subatlantique

La zone 3 regroupe une diversité de taxons arborés importante, notamment avec l'apparition d'*Abies* (5 %) vers 3500 cal. BP, dont l'enregistrement se maintient faiblement sur l'ensemble de la zone. Cette apparition est associée à une augmentation de la proportion de *Fagus*, qui atteint son optimum vers 2700 cal. BP (20 %), et une apparition de *Castanea* dont l'expansion atteint jusqu'à 10 % à 2350 cal. BP. Une forte augmentation des pourcentages de *Quercus ilex*-type est visible à partir de 2700 cal. BP, elle est suivie d'un déclin du taxon en 1560 cal. BP. Les proportions de *Quercus pubescens*-type (10 %) sont en antiphase avec l'évolution de l'enregistrement de *Quercus ilex*-type (20 %). Autour de 2350 cal. BP, *Betula* diminue et stagne à environ 5 %. De même pour *Corylus*

dont la diminution commence vers 4200 cal. BP.

Bien que peu abondants, les taxons herbacés sont très diversifiés. À 2760 cal. BP, *Bistorta* et *Filipendula* sont enregistrés en faible proportion (< 2 %) avant de disparaître définitivement de la tourbière. L'enregistrement des Poaceae augmentent considérablement, et atteint 40 % vers 900 cal. BP avant de diminuer rapidement. L'enregistrement des Apiaceae reste faible. La proportion de spore reste stable (environ 10 %) dans toute la zone.

ZP4 : 165 à -59 cal. BP (20,5 à 0 cm), fin Subatlantique

Cette zone est caractérisée par une augmentation très importante de l'enregistrement de *Pinus* qui, il y a 300 cal. BP, passe de 5 % à 60 %. Le maintien d'une grande diversité de taxons arborés est observé malgré une dominance de *Pinus*. *Sphagnum* et les herbacées sont faiblement enregistrés (< 10 %).

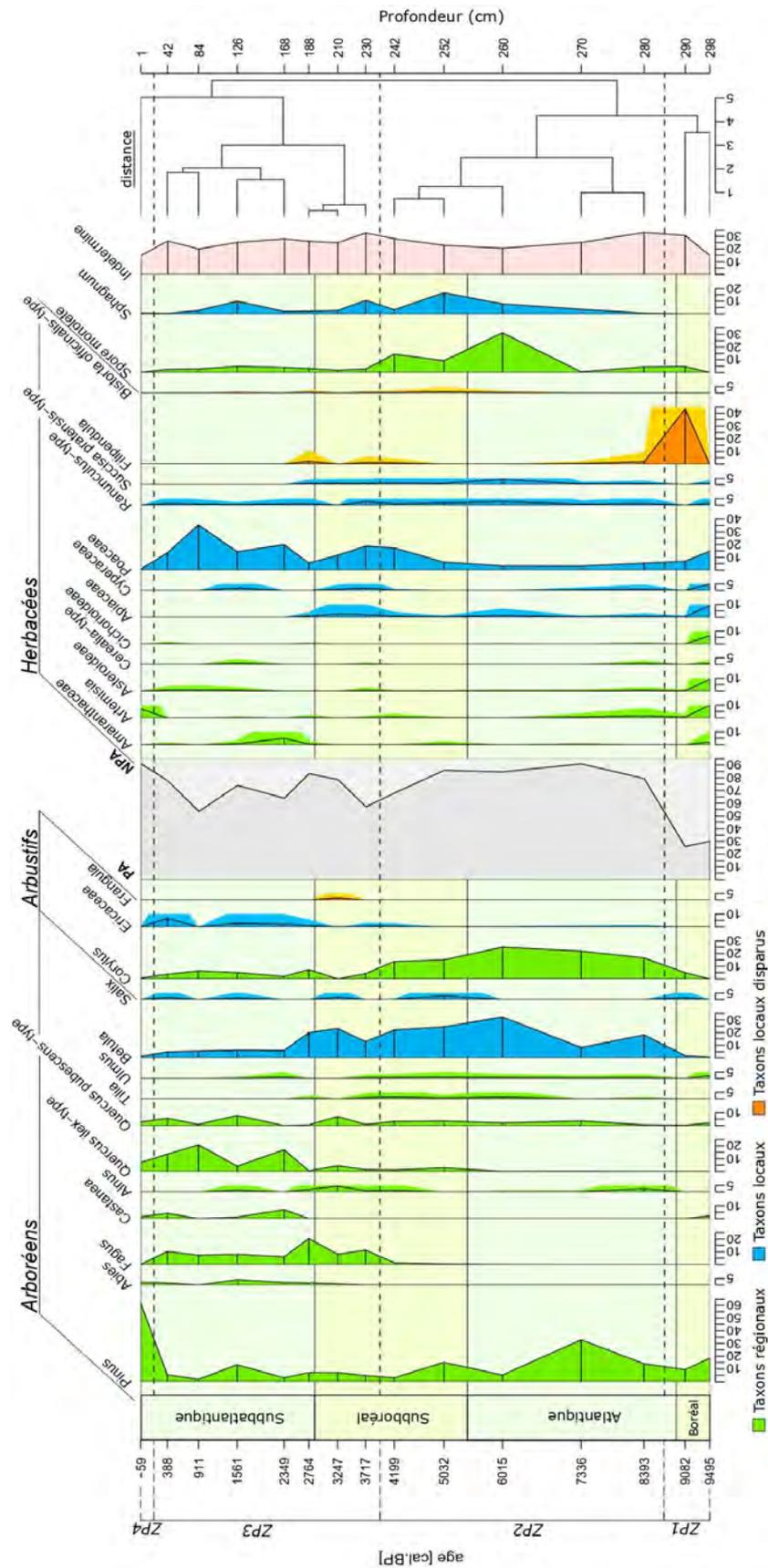


Figure 2. Diagramme pollinique en pourcentage de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France) en fonction de l'âge et de la profondeur. La proportion de PA/PNA est représentée entre les taxons arborés et non arborés. La classification hiérarchique ascendante (CHA) est représentée à droite diagramme et 4 zones polliniques (ZP) délimitées par des pointillés ont pu être identifiées.

DISCUSSION

1- Corrélation stratigraphique de la tourbière du Peschio et des Grandes Nasses et biais de l'étude

Plusieurs modèles d'âge ont été effectués par [Hemelsdaël & Tourniaire \(2022\)](#). La comparaison palyno-stratigraphique des optima de *Fagus* et *Abies* avec l'émergence des taxons dans la bibliographie ([Reille, 1988](#) ; [Pulido Avila, 2006](#) ; [Plancher, 2017](#)) ont permis de retenir le modèle d'âge 0.18. Cependant, bien que ce modèle d'âge soit le plus ajusté à notre optimum *Fagus/Abies*, nous observons également des différences dans les résultats obtenus.

Ces différences pourraient en partie s'expliquer à cause d'erreurs d'identification des taxons polliniques ainsi qu'une mauvaise manipulation des échantillons lors des traitements chimiques. De plus, les analystes de l'étude de [Cartier et al. \(2021\)](#) ayant travaillé pendant la crise sanitaire et n'ayant pas pu effectuer l'intégralité de l'étude, le couplage des données de 2020 avec celles de 2021 a pu entraîner des biais. La comparaison du diagramme pollinique avec d'autres diagrammes de la région met en évidence certains décalages temporels des grandes phases d'assemblage de végétation connus dans le Massif Central. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce décalage : l'utilisation d'un modèle d'âge différent, une erreur de datation, la variabilité de la topographie ou encore celle de l'enregistrement pollinique lié aux fluctuations des caractéristiques climatiques de la région d'une localité à l'autre.

Pour déterminer l'âge de la tourbière des Grandes Nasses, l'assemblage pollinique révélé par l'analyse de l'échantillon basal de la séquence tourbeuse a été comparé à ceux des grandes phases de végétation majeures connues dans la région. Une corrélation palyno-stratigraphique a ainsi été réalisée avec 5 diagrammes polliniques ([Reille, 1988](#) ;

[Pulido Avila, 2006](#) ; [Bonnet et al., 2020](#) ; [Fig. 2](#)). Les dates ont été approximativement recalibrées à l'aide du logiciel Calib 8.1.0 ([Stuiver & Reimer, 1993](#)), afin d'être comparables. L'échantillon serait vraisemblablement daté entre 7050 à 6485 cal. BP, ce qui correspondrait au milieu de l'Atlantique, lorsque les espèces ligneuses sont dominantes (*Betula*, *Corylus*, *Pinus*). Cependant, la datation révèle que l'échantillon date de 5680,5 cal. BP ([Hemelsdaël & Tourniaire 2022](#)), ce qui correspond à la fin de l'Atlantique. La végétation est relativement similaire tout au long de cette période très étendue (3700 ans), malgré une légère diminution et une diversification des espèces ligneuses, ainsi que son enregistrement pouvant varier d'une localité à l'autre.

2- Dynamiques et changements de végétation depuis 10 000 cal. BP

Le reflet pollinique de la végétation tourbigène a été mis en avant par la discrimination de la végétation locale et régionale de la tourbière du Peschio. [Cartier et al. \(2021\)](#) ont étudié la relation entre l'enregistrement pollinique de surface de la tourbière du Peschio et la végétation actuelle, et ont notamment souligné la sous-représentation des sphaignes et de *Carex* dans le registre fossile par rapport au relevé phytosociologique. Les résultats de cette étude confirment cette observation. Ces enregistrements sont problématiques car ces 2 taxons sont des indicateurs de milieu humide : *Carex* est un bon indicateur des tourbières minérotrophes ([Bourhis & Gokpon, 2022](#)) et la sphaigne, qui provoque une acidification du milieu, traduit un stade évolué de la tourbière ombrotrophe. Malgré la faible expression du taxon *Sphagnum* dans l'analyse pollinique, une quantité importante de macrorestes de sphaignes a été identifiée par [Bourhis & Gokpon \(2022\)](#) dans le premier niveau de la carotte, ce qui indique que la tourbière est bien riche en sphaignes et tend à être ombrotrophe. Les taxons sur-représentés

(*Pinus* ; [Brugiapaglia et al., 1998](#)) et disparus de la tourbière (*Filipendula*, *Frangula*, etc), ou n'ayant pas été identifiés (*Fraxinus*, *Parnassia*, etc), peuvent induire plusieurs biais d'interprétation quant à la discussion des dynamiques végétales.

Les dynamiques des végétations et conditions climatiques de l'Holocène ont été enregistrées par la tourbière du Peschio. La fin du Boréal, est la période où le PA/PNA est le plus bas et où la diversité et la quantité d'herbacées, locales ou régionales, est la plus importante. Ces taxons, couplés à l'enregistrement de taxons de mégaphorbiaie, en particulier *Filipendula*, rappellent les assemblages polliniques enregistrés au Préboréal dans le Massif Central ([de Beaulieu et al., 1985, 1987](#) ; [Cartier et al. 2021](#)). En effet, ces assemblages sont typiques du recul des formations steppiques du tardiglaciaire subsistant au Préboréal au profit des mégaphorbiaies et des formations plus arborées ([de Beaulieu et al., 1985, 1987](#)). De plus, *Corylus*, contrairement aux études menées sur des tourbières de la région, est assez peu présent avant 8700 cal. BP ([de Beaulieu & Gilot, 1972](#) ; [de Beaulieu, 1974](#) ; [de Beaulieu et al., 1985](#) ; [Pulido Avila, 2006](#)). Les assemblages polliniques, datés du Boréal et enregistrés par le diagramme, ne correspondant pas aux assemblages polliniques observés dans la région à cette période, il est possible que le modèle d'âge choisi ne soit pas cohérent pour la base de la carotte. En effet, un modèle d'âge datant plus anciennement aurait été plus adapté aux résultats. Enfin, l'émergence de *Castanea* étant observée durant le Subatlantique dans le Massif Central ([de Beaulieu & Pons, 1979](#) ; [de Beaulieu et al., 1985, 1987](#)), sa présence à la base de la carotte est donc anormale. Il est probable qu'il s'agisse d'une erreur d'identification associée à l'étude de [Cartier et al. \(2021\)](#).

À partir de l'Atlantique, après 9000 cal. BP, une proportion importante de *Pinus* ainsi qu'un maintien stable du taxon dominant *Corylus* sont observés. *Quercus* est aussi présent, mais en faible proportion. A *contrario* de nos résultats, les études

précédentes ont mis en évidence que le réchauffement du climat durant cette période induit une diminution de l'enregistrement de *Corylus* et une phase de codominance entre *Quercus* et *Corylus* ([de Beaulieu et Gilot, 1972](#) ; [de Beaulieu, 1974, 1981](#) ; [de Beaulieu et al., 1985](#) ; [Pulido Avila, 2006](#)). Quant à *Pinus*, à l'exception d'une étude portant sur une tourbière du Mont Lozère ([de Beaulieu & Gilot, 1972](#)), le taxon n'est pas rencontré en grande proportion dans la région à cette époque ([de Beaulieu et al., 1985](#)). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces différences : régionalement, le pic de *Corylus* apparaît à la fin du Boréal ([de Beaulieu & Gilot, 1972](#)). Il est donc possible que le pic de *Corylus* soit passé inaperçu du fait de la faible résolution du diagramme. La présence massive de *Pinus* et *Corylus* dans les environs proches de la tourbière est aussi une hypothèse à considérer. En effet, le couvert végétal de ces taxons extra-locaux, couplé au boisement local de la tourbière par *Betula*, pourrait être à l'origine d'une filtration plus importante du pollen favorisant une sous-représentation des taxons régionaux. Ceci pourrait expliquer la faible proportion de *Quercus* ([Tauber, 1965](#) ; [Muller et al., 2006](#)). De plus, la présence des taxons *Tilia* et *Ulmus* confirme bien l'implantation de la chênaie mixte dans la région ([de Beaulieu & Gilot, 1972](#) ; [de Beaulieu et al., 1972](#) ; [de Beaulieu 1981](#) ; [Pulido Avila, 2006](#)). La proportion importante de spores de fougères et du PA/PNA suggère une végétation composée majoritairement de ligneux. La proportion de *Betula* et la présence de taxons de mégaphorbiaies marqueraient une phase plutôt sèche de la tourbière à cette période. Cependant, l'augmentation de *Sphagnum* au cours de l'Atlantique est le signe de l'évolution de la tourbière vers une phase plus humide.

Après 5000 cal. BP, l'enregistrement pollinique est marqué par des fluctuations de la proportion de pollen arboréen, contrairement à la zone précédente. Cette diminution des zones forestières a été mise en évidence dans la région par l'action anthropique et associée à un léger refroidissement pendant le subatlantique ([de](#)

Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu et al., 1987 ; Baron et al., 2005 ; Muller, 2005). Elle est accompagnée par l'installation de formations végétales plus diversifiées, traduite par la diminution de *Corylus* et des chênaies mixtes à la fin du Subboréal au profit de *Fagus* qui apparaît à cette période (de Beaulieu, 1974, 1981 ; de Beaulieu et al., 1985, 1987). Cette transition de couverture végétale pourrait marquer la fin de l'optimum climatique de l'Atlantique et signifier un rafraîchissement régional continu jusqu'au Subatlantique (de Beaulieu, 1974 ; de Beaulieu et al., 1985, 1987 ; Pulido Avila, 2006). *Abies* reste quant à lui une espèce peu représentée (< 5 %) dans la pluie pollinique (Pulido Avila, 2006).

À partir de la seconde moitié du Boréal et pendant le Subatlantique, *Pinus* est faiblement enregistré, ce qui peut être le signe du recul des forêts depuis le Subboréal dans la région. La dynamique du taxon *Quercus* ne rejoint cependant pas celle observée dans les autres diagrammes polliniques de la région. Cette évolution pourrait être le signe d'un déboisement local du milieu entraînant une sur-représentation des taxons éloignés (Tauber, 1965 ; Muller et al., 2006) comme *Quercus* (Brugiapaglia et al., 1998). À l'échelle locale, la diminution observée de *Betula* (Pulido Avila, 2006) est le signe d'un éventuel déboisement au profit des Poaceae dont la proportion augmente considérablement dès le début du Subatlantique (Pulido Avila, 2006). Les Poaceae prédominent tout au long de la période parallèlement à l'augmentation des Cyperaceae (Pulido Avila, 2006) et des Apiaceae. Une apparition de *Filipendula* et *Bistorta officinalis*, taxons de mégaphorbiaie, est également relevée, consolidant l'hypothèse d'une humidification du milieu. Cette implantation de diverses herbacées entraîne une diminution du pollen arboréen à 55 % pendant la période médiévale (Pulido Avila, 2006).

La fin du Subatlantique est la plus courte zone et ne regroupe qu'un seul niveau daté à -59 cal. BP. Elle est caractérisée par une augmentation d'origine anthropique de *Pinus*.

Fagus disparaît tandis que *Castanea* et *Quercus* se maintiennent à l'échelle régionale. Localement, *Betula* disparaît également (Pulido Avila, 2006). La présence d'*Abies* et la faible proportion des Poaceae ne coïncident cependant pas avec l'étude de Pulido Avila (2006) qui enregistre une disparition des ligneux et une grande proportion d'espèces herbacées (jusqu'à 40 %).

La végétation régionale a été influencée par l'anthropisation du milieu. Après 5000 cal. BP, les fluctuations de la proportion de pollen arboréen a été mise en évidence dans la région par l'augmentation de l'impact anthropique sur les milieux, notamment par l'agropastoralisme et la métallurgie (Baron et al., 2005). La déforestation du Mont Lozère aurait été accentuée par le besoin de ressources croissant des civilisations médiévales de 950 cal. BP à 650 cal. BP (Baron et al., 2005 ; Vannièrre et al., 2015 ; Charieau & Larrieu, 2021). En effet, la période durant laquelle le taux de pollen arboréen est le plus bas est enregistrée à 900 cal. BP, avec une prédominance des Poaceae au niveau local, qui pourraient être associées à l'augmentation du taxon *Cerealia*-type, regroupé parmi les Poaceae, et bon indicateur des pratiques agricoles. La sous-représentation de *Abies* depuis le Subboréal peut être expliquée par le fait que le bois des conifères était plus convoité que celui des feuillus pour le chauffage ou encore la construction de maisons (de Beaulieu et al., 1988 ; Muller 2013). Charieau et Larrieu (2021) ont identifié cinq occurrences de feux, via une étude anthracologique de la tourbière du Peschio, de 980 cal. BP à 400 cal. BP selon la quantité de charbons identifiés. Le Mont Lozère n'aurait pas connu de reboisement à la suite de cette période avant le XIX siècle (Baron et al., 2005). L'apparition discrète de *Castanea* au cours du Subatlantique est expliqué par son introduction par l'Homme (de Beaulieu & Pons, 1979 ; de Beaulieu et al., 1985, 1987). À cette même période, l'augmentation de *Pinus* au niveau régional (Pulido Avila, 2006) qui débute au XIX siècle, est traduit par le reboisement de *Pinus sylvestris* sur le Mont Lozère (Baron et al., 2005).

CONCLUSION

Ces analyses ont mis en évidence les dynamiques végétales, régionales et locales, de la tourbière du Peschio depuis 9500 cal. BP. Elles confirment les différentes étapes des assemblages de la région : l'apparition des corylaies au Boréal puis celle des chênaies mixtes à l'Atlantique, avec une proportion grandissante de spores monolètes et de sphaignes, qui confirme la présence d'un milieu boisé et humide. Une régression de cette végétation au profit des hêtraies-sapinières se produit au Subboréal, ainsi que l'augmentation des Poaceae au détriment des zones forestières qui est traduit par l'activité humaine, notamment l'agropastoralisme. La faible concentration de sphaignes et spores monolètes renforce la théorie d'un milieu plus sec et déboisé. À partir de cette période, les informations régionales issues des tourbières varient du fait d'une activité humaine prépondérante. Le Subatlantique est marqué par la croissance de *Pinus sylvestris*, favorisé par son reboisement dans la région pendant le XIX siècle et traduit par une forte anthropisation. À l'époque actuelle une végétation herbacée de la tourbière, composée de sphaignes, de *Carex* et de Poaceae, ainsi que de quelques espèces arborées, évoquent un milieu ouvert et humide. Ces dynamiques ont aidé à comprendre les climats et les milieux qui se sont succédés au cours du temps dans le Massif Central. Cette étude pourrait être complétée en comparant les pourcentages de PA/PNA de la végétation locale et ceux de la végétation régionale, et ainsi préciser les dynamiques végétales régionales du Mont Lozère et locale de la tourbière. Il serait intéressant de réaliser une étude complémentaire sur plusieurs tourbières des Cévennes afin de mettre en évidence les mécanismes d'accumulation de la tourbe, tout en intégrant une étude complète des Grandes Nasses, afin d'en déterminer l'enregistrement des dynamiques de végétation régionales.

REFERENCES

- 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. *Environmental Science & Technology*, 39 (14) : 5131-5140.
- Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. In : B.E. Berglund (eds.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Chichester, UK, pp. 84-455.
- Bombeau A. & Musco de Caires C. (2021). Palynomorphes non-polliniques holocènes et modernes de la tourbière du Peschio (Lozère, France) : utilisation des spores coprophiles, saprophiles et des microalgues pour reconstruire les paléoenvironnements et le pastoralisme. *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 93-108.
- Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. (2020). Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière Des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire récent. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-42.
- Bonnet C. (2021). *Impact du pâturage sur les communautés végétales de la tourbière de Canroute (Monts de Lacaune, Massif Central) depuis 5 000 ans*. Master 2, Université de Montpellier, 45 p.
- Bourhis N. & Gokpon E. (2022). Caractérisation de la tourbe et identification des macrorestes de la séquence de la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 39-50.
- Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community*. McGraw Hill Book, New York, 432 p.
- Brugiapaglia E., de Beaulieu J.-L., Guiot J. & Reille M. (1998). Transect de pluie pollinique et étagement de la végétation dans le massif du Taillefer (Isère, France). *Géographie physique et Quaternaire*, 52 (2) : 209-218.
- 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.
- Charieau F. & Larrieu M. (2021). Dynamique

- des feux sur le Mont Lozère durant le dernier millénaire : étude des charbons de bois dans la tourbière du Peschio. *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 55-72.
- de Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages. *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 : 1641-1644.
- de Beaulieu J.-L. (1974). Évolution de la végétation sur la bordure montagneuse cévenole au postglaciaire, d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.
- 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. (1981). Analyse pollinique de tourbières sur la marge occidentale et septentrionale des Causses. *Paléobiologie continentale*, 12 : 117-130.
- 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. *Actes Xe Symposium APLF*, Institut Français de Pondichéry, 15 : 27-32.
- D'Oliveira L. & Zitouni A. (2020). Dynamique d'accumulation de tourbe dans le sud du Massif Central : focus sur la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 21-36.
- Fægri K & Iversen J. (1989). *Textbook of Pollen Analysis*. John Wiley & Sons, Chichester, 295 p.
- Fernez T., Lafon P. & Hendoux F. (coord.) (2015). *Guide de végétations remarquables de la région Île-de-France*. Conservatoire botanique national du Bassin parisien, Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'Île-de-France, Paris, 120 p.
- Hemelsdaël A. & Tourniaire C. (2022). La tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère) : âge de la tourbière et sédimentologie. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 21-37.
- Jowsey P.C. (1966). An Improved Peat Sampler. *New Phytologist*, 65(2) : 245-248.
- Juggins S. (2021). Rioja: Analysis of Quaternary Science Data. R package version (0.9-26).
- Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.
- Muller S.D., Nakagawa T., de Beaulieu J.-L., Court-Picon M., Fauquette S. & Genries A. (2006). Paléostructures de végétation à la limite supérieure des forêts dans les Alpes françaises internes. *Comptes Rendus Biologie*, 329 : 502-511.
- Nordlund C. (2014). Peat bogs as geological archives: Lennart Von Post et al., and the development of quantitative pollen analysis during World War I. *Earth Sciences History*, 33 (2) : 187-200.
- Oksanen J., Blanchet F.B., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H.H., Szoecs E. & Wagner H. (2021). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version (2.5-7).
- Plancher C. (2017). *Végétations holocènes reflétées par le registre pollinique de la tourbière de Lapsou (Massif Central, France) : histoires paléobotaniques du site et de la région d'étude*. Master 1, Université de Montpellier, 26 p.
- Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse, Université Paul Cézanne, Aix-Marseille, 308 p.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la Tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif-Central, France) ; réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gevaudan, des Causses et des Cévennes*, 2 : 3-7.

- Reille M. (1998). *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du nord, Supplément 2*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille, 530 p.
- R Core Team (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended 14C data base and revised Calib 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- Tauber H. (1965). Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, 2 : 69.
- Vannière B., Blarquez O., Rius D., Doyen E., Br ucher T., Colombaroli D., Connor S., Feurdean A., Hickler T., Kaltenrieder P., Lemmen C., Leys B., Massa C. & Olofsson J. (2015). 7000-year human legacy of elevation-dependent European fire regimes. *Quaternary Science Reviews*, 132 : 206-212.

ANNEXE 1. Echantillons utilisés dans cette étude. 15 échantillons proviennent de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France) et 1 échantillon provient de la tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère, France). Une partie des échantillons a été traitée par [Cartier et al \(2021\)](#).

Prof. (cm)	Site-Année	Volume (cm ³)	Nombre de lame (s)
1-2	PES-2020	0,7	1
42-43	PES-2020	0,6	2
84-85	PES-2020	0,7	4
126-127	PES-2020	1	3
168-169	PES-2020	0,9	1
188-189	PES-2021	1	3
210-211	PES-2020	0,9	1
230-231	PES-2021	1,5	3
242-243	PES-2021	0,9	3
252-253	PES-2020	0,9	2
260-261	PES-2021	0,9	3
270-271	PES-2021	1,5	3
280-281	PES-2021	1	3
290-291	PES-2021	0,9	3
298-299	PES-2020	1	1
149-150	GN-2022	2	3

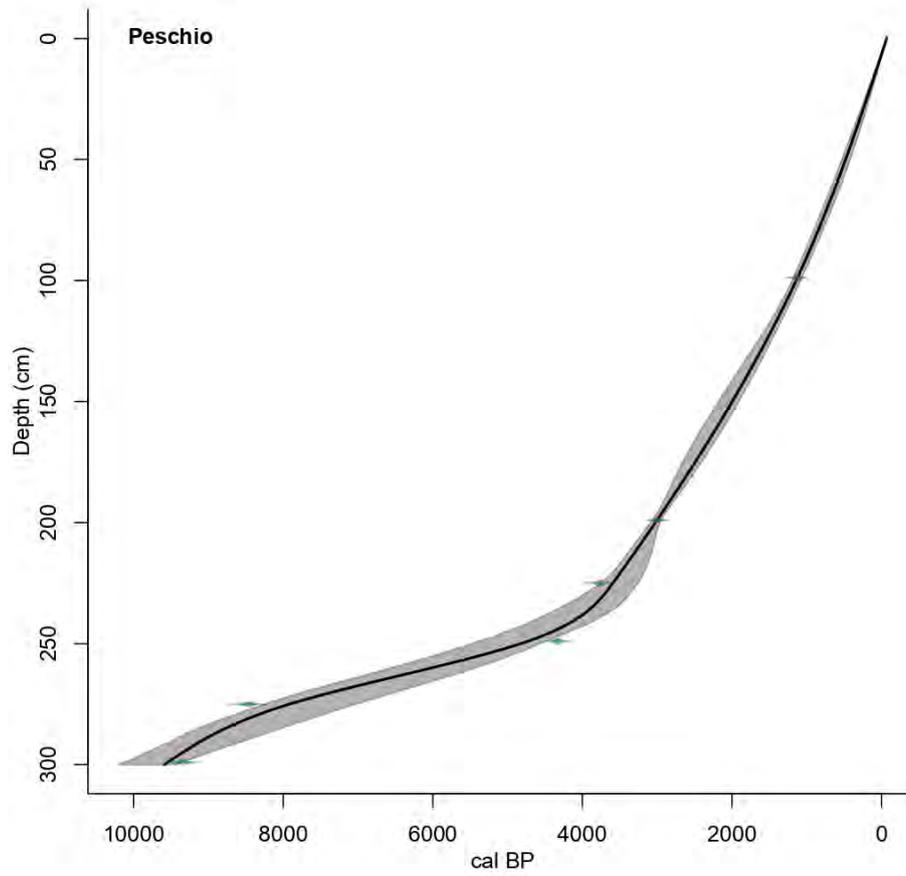
ANNEXE 2. Taxons polliniques identifiés

Taxons arborés	Taxons arbustifs	Taxons herbacés	Hors total
<i>Abies alba</i>		Amaranthaceae	<i>Sphagnum</i>
<i>Alnus</i>	Ericaceae	Apiaceae	Spore monolète
<i>Betula</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Artemisia</i>	
<i>Castanea sativa</i>	<i>Corylus avellana</i>	Asteroideae	
<i>Fagus sylvatica</i>		<i>Bistorta</i>	
<i>Quercus ilex</i> -type		<i>Cerealia</i> -type	
<i>Quercus pubescens</i> -type		Cichorioideae	
<i>Pinus sylvestris</i> -type		Cyperaceae	
<i>Salix</i>		<i>Filipendula ulmaria</i>	
<i>Tilia</i>		Poaceae	
<i>Ulmus</i>		<i>Ranunculus acris</i> -type	
		<i>Succisa pratensis</i>	

ANNEXE 3. Datations radiocarbone des sites étudiés

Site	Code Labo	Prof. (cm)	Age BP	Age cal.BP
Peschio	Poz-130010	99-100	1125 ± 30	1170-960
	Poz-130011	199-200	3000 ± 30	3330-3070
	Poz-142544	225-226	3770 ± 40	4240-3990
	Poz-142554	249-250	4335 ± 35	5020-4840
	Poz-142545	275-276	8470 ± 50	9540-9330
	Poz-130012	299-300	9340 ± 50	10660-10430
Grandes Nasses	Poz-142284	149-150	4990 ± 40	5761-5600

ANNEXE 4. Modèle d'âge de la carotte du Peschio sélectionné pour cette étude (d'après [Hemelsdaël & Tournaire, 2022](#)).



ANNEXE 5. Inventaire et relevés phytosociologiques de la tourbière du Peschio (d'après [Cartier et al., 2021](#))

Espèce	Famille	Taxon pollinique	PES_2020-1	PES_2022-2
Bryophytes				
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.	Aulacomniaceae	-		
<i>Polytrichastrum formosum</i> (Hedw.) G.L.Sm.	Polytrichaceae	-		
<i>Polytrichum strictum</i> Brid.	Polytrichaceae	-		
<i>Sphagnum angustifolium</i> (Warnst.) C.E.O.Jens.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum centrale</i> C.E.O.Jens.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum denticulatum</i> Brid.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum divinum</i> Flatberg & Hassel	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum fallax</i> (Klinggr.) Klinggr.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum inundatum</i> Russ.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>	5	3
<i>Sphagnum palustre</i> L.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>	2	1
<i>Sphagnum papillosum</i> L.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum rubellum</i> Wils.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum subnitens</i> Russ. & Warnst.	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
<i>Sphagnum subsecundum</i> Nees	Sphagnaceae	<i>Sphagnum</i>		
Pteridophytes				
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth.	Woodsiaceae	<i>Dryopteris</i> -type		
<i>Dryopteris filix-mas</i> L.	Dryopteridaceae	<i>Dryopteris</i> -type		
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i>		
Spermatophytes				
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Poaceae	Poaceae	2	
<i>Betula pendula</i> Roth.	Betulaceae	<i>Betula</i>	1	
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	Betulaceae	<i>Betula</i>		
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	Polygonaceae	<i>Bistorta</i>		
<i>Briza media</i> L.	Poaceae	Poaceae		
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Ericaceae	<i>Calluna vulgaris</i>		
<i>Caltha palustris</i> L.	Ranunculaceae	<i>Ranunculus acris</i> -type		1
<i>Cardamine pratensis</i> L.	Cyperaceae	Cyperaceae		+
<i>Carex canescens</i> L.	Cyperaceae	Cyperaceae		5
<i>Carex demissa</i> Hornem.	Cyperaceae	Cyperaceae		
<i>Carex diandra</i> Schrank	Cyperaceae	Cyperaceae		
<i>Carex echinata</i> Murray	Cyperaceae	Cyperaceae		
<i>Carex hostiana</i> DC.	Cyperaceae	Cyperaceae		

Espèce	Famille	Taxon pollinique	PES_2020-1	PES_2022-2
<i>Carex limosa</i> L.	Cyperaceae	Cyperaceae	1	1
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	Cyperaceae	Cyperaceae	3	
<i>Carex ovalis</i> Good.	Cyperaceae	Cyperaceae		
<i>Carex panicea</i> L.	Cyperaceae	Cyperaceae	1	
<i>Carex rostrata</i> Stokes	Cyperaceae	Cyperaceae		
<i>Carum verticillatum</i> (L.) W.D.J.Koch	Apiaceae	Apiaceae		
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	Asteraceae	<i>Carduus</i> -type	+	+
<i>Comarum palustre</i> L.	Rosaceae	Rosaceae	2-3	2-3
<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soo	Orchidaceae		+	+
<i>Danthonia decumbens</i> (L.) DC.	Poaceae	Poaceae		
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	Poaceae	Poaceae		
<i>Digitalis purpurea</i> L.	Plantaginaceae	<i>Linaria</i> -type		
<i>Drosera rotundifolia</i> L.	Droseraceae	<i>Drosera</i>		
<i>Epikeros pyrenaicus</i> (L.) Raf.	Apiaceae	Apiaceae	1-2	2-2
<i>Epilobium angustifolium</i> L.	Oenotheraceae	<i>Epilobium</i>		
<i>Epilobium palustre</i> L.	Oenotheraceae	<i>Epilobium</i>	1	1
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	2	4
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	Cyperaceae	Cyperaceae	1	1
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	Cyperaceae	Cyperaceae	1	
<i>Fagus sylvatica</i> L.	Fagaceae	<i>Fagus sylvatica</i>		
<i>Festuca rivularis</i>	Poaceae	Poaceae		
<i>Galium saxatile</i> L.	Rubiaceae	<i>Galium</i> -type		1,2
<i>Galium uliginosum</i> L.	Rubiaceae	<i>Galium</i> -type	1	
<i>Genista anglica</i> L.	Fabaceae	<i>Genista</i> -type		1
<i>Gentiana pneumonanthe</i> L.	Gentianaceae	<i>Gentiana pneumonanthe</i> -type		
<i>Holcus lanatus</i> L.	Poaceae	Poaceae		
<i>Holcus mollis</i> L.	Poaceae	Poaceae		
<i>Hypericum elodes</i> L.	Hypericaceae	<i>Hypericum</i>		
<i>Juncus acutiflorus</i> Ehrh. ex Hoffm.	Juncaceae	Juncaceae		
<i>Juncus bulbosus</i> L.	Juncaceae	Juncaceae		
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	Juncaceae	Juncaceae		
<i>Juncus effusus</i> L.	Juncaceae	Juncaceae		
<i>Juniperus communis</i> L.	Cupressaceae	Cupressaceae		
<i>Lotus pedunculatus</i> Cav.	Fabaceae	<i>Lotus</i> -type		+
<i>Luzula congesta</i> (Thuill.) Lej.	Juncaceae	Juncaceae	1-2	
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Menyanthaceae	<i>Menyanthes trifoliata</i>	2-3	4
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	Poaceae	Poaceae	3	
<i>Myosotis scorpioides</i> L.	Boraginaceae	<i>Myosotis</i> -type		
<i>Nardus stricta</i> L.	Poaceae	Poaceae		
<i>Narthecium ossifragum</i> (L.) Huds.	Melanthiaceae	<i>Narthecium ossifragum</i>		

Espèce	Famille	Taxon pollinique	PES_2020-1	PES_2022-2
<i>Parnassia palustris</i> L.	Celastraceae	<i>Parnassia palustris</i>	1	
<i>Pinus uncinata</i> Ramond ex DC.	Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i> -type		
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	Pinaceae	<i>Picea abies</i>		
<i>Populus tremula</i> L.	Salicaceae	<i>Populus</i>		
<i>Potamogeton polygonifolius</i> .	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton/Callitriche</i>		
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rauschel	Rosaceae	<i>Potentilla erecta</i> -type		
<i>Ranunculus flammula</i> L.	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> -type		
<i>Rubus idaeus</i> L.	Rosaceae	Rosaceae		
<i>Rubus macrophyllus</i> Weihe & Nees	Rosaceae	Rosaceae		
<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Salicaceae	<i>Salix</i>	1	
<i>Salix aurita</i> L.	Salicaceae	<i>Salix</i>	1	
<i>Salix cinerea</i> L.	Salicaceae	<i>Salix</i>		
<i>Salix repens</i> L.	Salicaceae	<i>Salix</i>	3-4	
<i>Sambucus racemosa</i> L.	Caprifoliaceae	<i>Sambucus nigra</i> -type		
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	Rosaceae	<i>Sanguisorba officinalis</i>		
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Rosaceae	<i>Prunus</i> -type		
<i>Succisa pratensis</i> Moench	Caprifoliaceae	<i>Succisa pratensis</i>		
<i>Utricularia</i> sp.	Lentibulariaceae	<i>Utricularia</i>		
<i>Valeriana dioica</i> L.	Caprifoliaceae	<i>Valeriana dioica</i>		
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. Ex Rupr.) Schmalh.	Ericaceae	<i>Erica</i> -type		
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Ericaceae	<i>Erica</i> -type		
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	Ericaceae	<i>Erica</i> -type		
<i>Veronica scutellata</i> L.	Plantaginaceae (ex Scrophulariaceae)	<i>Linaria</i> -type	1	1
<i>Veratrum album</i> L.	Melanthiaceae	<i>Narcissus</i> -type		
<i>Viola palustris</i> L.	Violaceae	<i>Viola palustris</i> -type	2	1

DYNAMIQUE DES FEUX SUR LE MONT LOZERE : ETUDE COMPARATIVE DES TOURBIERES DU PESCHIO ET DES NASSETTES

Samuel Biz ¹, Lucas Dimanche ², Marine Fix ³

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ samuel.biz@etu.umontpellier.fr, ² lucas.dimanche@etu.umontpellier.fr,

³ marine.fix@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Laurent Bremond

Citation : Biz S., Dimanche L. & Fix M. (2022). Dynamique des feux sur le Mont Lozère : étude comparative des tourbières du Peschio et des Nassettes. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 71-87.

Résumé : L'étude des particules de charbons sédimentaires dans les séquences tourbeuses du Peschio et des Nassettes a permis d'identifier des paléoincendies qui ont affecté les formations végétales et le paysage du Mont Lozère. Ces occurrences sont étonnamment différentes entre les deux tourbières malgré leur faible éloignement. Toutefois, les nombreuses occurrences de feux mises en évidence au cours du dernier millénaire révèlent l'impact majeur des perturbations anthropiques, notamment dues aux activités métallurgiques, sur les changements de végétation récents, avec la perte de ligneux au profit d'herbacées.

Mots clés : paléo-incendie, charbon fossile, régime de feux, archives environnementales, perturbations

Abstract: *Fire dynamics on Mont Lozère: comparative study of Peschio and Nassettes peatlands.* The study of sedimentary charcoal particles from the Peschio and Nassettes peat profiles makes it possible to identify paleofires that have affected the vegetation and the landscape of Mont Lozère. These occurrences are surprisingly different between both peatlands despite their short distance. However, the numerous fires occurring during the last millennium reveal the major impact of anthropogenic disturbances, particularly due to metallurgical activities, on recent vegetation changes, with the replacement of woody species by herbs.

Keywords: palaeofire, fossil charcoal, fire regime, environment archive, disturbances

En écologie, une perturbation est définie comme un événement ponctuel et imprévisible, qui perturbe la structure d'un système écologique et modifie la disponibilité des ressources de l'environnement physique (Pickett & White, 1985). Les perturbations sont considérées comme des moteurs de la biodiversité en permettant le *turn-over* de la structure des communautés.

On en distingue deux types : les perturbations naturelles, qui font partie des processus normaux d'évolution des paysages et des écosystèmes, et les perturbations anthropiques (Soulié, 1985).

L'anthropocène est une période définie par un changement du régime des perturbations (incendies, ouragans, sécheresses ; Loiret, 2016). De nombreux modèles prédisent une augmentation des perturbations sous l'effet du

réchauffement climatique et de l'accroissement des activités anthropiques, dont les incendies (Fabrizi, 2009). Dans un contexte climatique changeant, la fréquence d'occurrence des feux est de plus en plus forte. Les incendies représentent une des perturbations les plus importantes de ces dernières décennies (Gauthier et al., 2001). Quand elles deviennent cycliques, elles influencent la structure, la composition globale et la répartition des espèces et des communautés dans les écosystèmes.

1- Concept de régime de feu et méthodes d'investigation

Le concept de régime de feux est apparu dans les années 1960 en raison de la nécessité pour les écologues et les gestionnaires de réunir, dans un concept unifié, toutes les caractéristiques et dimensions écologiquement pertinentes d'un incendie dans une zone définie ou dans un écosystème spécifique sur une certaine période (Conedera et al., 2009). Ainsi, un régime de feux est défini comme une fréquence d'incendies sur une période donnée et dans un écosystème donné (espace-temps défini). Pour étudier et caractériser les régimes de perturbations sur le temps long, plusieurs méthodes d'investigation paléoécologique existent. D'une part, la dendrochronologie, avec l'étude des cernes de bois sur des arbres cicatriciels, permet de reconstruire la chronologie des incendies (Jensen et al., 2007). D'autre part, les microcharbons de bois, définis comme des résidus solides riches en carbone formés par pyrolyse en absence ou accès limité à l'oxygène (Jensen et al., 2007), piégés dans les dépôts sédimentaires permettent de conserver l'information et constituent des archives permettant de reconstruire l'historique des incendies sur des milliers d'années (Enache & Cumming, 2006). La morphologie des particules charbonneuses renseigne sur le type de végétation (herbacée ou ligneuse) qui a brûlé (Jensen et al., 2007).

2- Chronologie de l'impact anthropique sur le Mont Lozère

L'Europe est occupée par les Prénéandertaliens, puis par les Néandertaliens depuis plus de 350 000 ans. Les premiers humains modernes arrivent dans le Massif Central au début de la dernière ère glaciaire (115 000 cal. BP) pour des activités saisonnières (Daugas & Raynal, 1989). L'installation sédentaire des populations humaines est, quant à elle, beaucoup plus tardive et commence vers 6800 cal. BP (Daugas et al., 1983). Le début de l'exploitation des terres et des activités agropastorales (Miras et al., 2011) se traduit par une augmentation des occurrences de feux. Sur le Mont Lozère, au Néolithique, le pastoralisme prenait une place importante par rapport à l'agriculture (Pulido Avila, 2006). L'ancienneté du pastoralisme des Causses et des Cévennes a d'ailleurs permis à ces régions d'être récemment inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO sous le nom d'« héritage du paysage pastoral » (Servera Vives et al., 2014). Cette dynamique se poursuit à l'âge du Cuivre, avec même un déclin de l'agriculture. Ce n'est qu'à la fin de l'âge du Bronze et de l'âge du Fer, que le territoire du Mont Lozère voit une légère augmentation des cultures (Pulido Avila, 2006). L'époque gallo-romaine est marquée par un développement du pastoralisme, notamment révélé par les analyses polliniques (Vernet, 1972), et par d'importantes déforestations (Miras et al., 2011). Une nouvelle extension du pastoralisme, associée à un développement sensible de l'agriculture, s'observe au Moyen Âge (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006). Cette omniprésence des activités agropastorales prend fin avec la déprise agricole liée à la révolution industrielle. Le 20^e siècle est caractérisé par la reforestation des zones de montagne, avec notamment dans le Massif Central, l'expansion du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) (Vernet, 1968).

Outre le pastoralisme, le Mont Lozère a été marqué par deux périodes d'activité métallurgique importante (Pulido Avila, 2006). De nombreux sites d'exploitation minières et des fours ont été retrouvés (Baron

et al., 2005). Durant l'Antiquité, l'extraction de l'argent par les Gabales d'origine gauloise (2225-2000 cal. BP ; 275-50 BC) a entraîné une déforestation du hêtre (*Fagus*) (Pulido Avila, 2006). A l'époque médiévale, l'exploitation du plomb argentifère (Allée et al., 2010) se traduit également par le charbonnage de la hêtraie (Ploquin et al., 2010). Ces forêts portent ainsi le nom de "forêts métallurgiques", du fait des activités associées (Paradis-Grenouillet, 2012). Ainsi, le pastoralisme, l'agriculture, les incendies et la métallurgie forment un ensemble ayant façonné les paysages du Mont Lozère sur des milliers d'années.

3- Objectifs

Les objectifs de l'étude sont de caractériser et d'expliquer l'origine des régimes de feu sur la tourbière du Peschio au Mont Lozère, et de la comparer aux études précédentes (Pulido Avila, 2006 ; Cornet & Wales, 2020) réalisées sur la tourbière des Nassettes. L'hypothèse de départ serait de retrouver une fréquence d'occurrence de feux similaire entre les deux sites compte tenu de leurs caractéristiques écologiques, historiques et géographiques proches (Annexe 1). La méthode utilisée ici pour étudier les régimes de feux est l'analyse des microcharbons, qui, même après des milliers d'années, représentent de très bons indicateurs de ces perturbations (Jensen et al., 2007).

METHODE ET MATERIEL

1- Zone d'étude

Le bassin méditerranéen est une des régions du globe qui connaissent le plus d'incendies. Certaines années, on y comptabilise jusqu'à un million d'hectares brûlés (Leone et al., 2009). Les incendies sont influencés par deux facteurs principaux : les conditions environnementales (type de végétation, conditions météorologiques) et les activités anthropiques. Dans les Cévennes, les variations de régime de feux de l'Holocène ancien (11700-5000 cal. BP) sont principalement dues à la variabilité climatique (Rius et al., 2011 ; Vannière et al., 2011). À partir de

4000 cal. BP, les activités humaines prennent le pas sur les dynamiques naturelles, et entraînent une nette augmentation des régimes de feu (Rius et al., 2011 ; Vannière et al., 2011). Ceci révèle une forte corrélation entre les activités humaines et les occurrences de feux (Dietze et al., 2018).

2- Contexte géologique, écologique et climatique

Le Massif Central est une chaîne de montagne datant du Paléozoïque et couvrant environ 79 000 km². Il compte un ensemble de massifs montagneux cristallins, granitiques et basaltiques (Pulido Avila, 2006). Parmi eux, le Mont Lozère, pilier oriental des Cévennes méridionales, situé sur la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et l'Atlantique (Bal et al., 2015), est un large dôme granitique, culminant à 1 702 m au Pic de Finiels et s'étendant sur 30 km (Braun-Blanquet, 1923). Ce massif est soumis à un climat montagnard avec une température annuelle moyenne autour de 3,2°C et d'importantes précipitations annuelles (1600 mm). Il subit toutefois une forte influence méditerranéenne, en particulier une pluviosité irrégulière, qui entraîne l'alternance entre des hivers froids et humides et des étés chauds et secs. La Méditerranée intervient également au printemps et en automne dans la formation de dépressions (épisodes cévenols), générant d'importantes crues (Martin et al., 2003).

La tourbière du Peschio (44°27'N ; 03°36'E) est localisée sur le flanc nord-ouest du Mont Lozère, dans le Parc national des Cévennes. Elle se trouve à 1 370 m d'altitude et mesure 500-700 m sur 700-800 m (Pulido Avila, 2006). C'est une tourbière minérotrophe plane recevant des eaux enrichies par les substrats environnants. Actuellement, la tourbière est située entre des reliefs dominés par le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et le bouleau (*Betula pendula*). Sa bordure est constituée par des buttes de callune (*Calluna vulgaris*), tandis que sa partie centrale est dominée par le ményanthe (*Menyanthes trifoliata*), le comaret (*Comarum palustre*), la prêle fluviale (*Equisetum fluviale*), des

Cyperaceae (*Carex* spp., *Eriophorum* spp.) et des sphaignes (*Sphagnum* spp.). La tourbière du Peschio est soumise à des périodes d'inondation, qui expliquent en partie l'originalité de sa végétation (fen), très différente de celle des autres tourbières du massif. Aujourd'hui, les tourbières du Mont Lozère sont classées en tant que ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) et sont très étudiées par la communauté scientifique.

3- Méthodes

Cartographie de la zone d'étude

La topographie de la tourbière a été mesurée afin de déterminer la zone où la profondeur est maximale. Une tige de métal a été enfoncée dans le sol tous les 20 m. Par manque de temps, nous n'avons pas pu cartographier l'ensemble de la tourbière.

Prélèvements des sédiments par carottage

La profondeur maximale atteinte a été 300 cm : c'est à cet endroit (44,464774° ; 3,634056°) que nous avons prélevé la carotte. Quatre tronçons d'1 m de long ont été prélevés en quinconce à l'aide d'un carottier russe, avec des recouvrements de 10 cm, excepté pour la carotte #PES-2020-B2 (80 cm) (Fig. 1). Chaque tronçon a été enroulé dans du cellophane puis placé dans une gouttière en PVC. Les carottes ont été conservées dans un réfrigérateur au laboratoire afin d'éviter leur dessèchement et la prolifération de bactéries ou de champignons.

Modèle d'âge du Peschio

Des datations au radiocarbone (^{14}C) ont été réalisées sur des échantillons de 1 cm³. L'étalonnage des dates mesurées (BP) a été réalisé avec le logiciel Calib (Stuiver & Reimer, 1993), en utilisant la base de données IntCal20 (Reimer et al., 2020). Ces datations ont permis d'obtenir des âges étalonnés (cal. BP) et de réaliser un modèle d'âge avec le package Clam du logiciel Rstudio (Blaauw, 2010).

Prélèvements des échantillons et identification des charbons

Les prélèvements ont été réalisés sur les carottes #PES-2020-A1, B1 et B2, de manière continue tous les cm, à l'aide d'un emporte-pièce circulaire d'un volume de 0,5 ou 1 cm³. Les échantillons ont été déposés individuellement dans des piluliers. Dans chaque pilulier, 3 à 4 pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) ont été ajoutées, ainsi que 24 ml de javel et une demi-cuillère de métaphosphate (NaPO₃), afin de détruire la matière organique. Les échantillons ont été disposés sur un agitateur pendant une semaine afin de mélanger le contenu et de détacher le maximum de reste organique des macrocharbons.

Pour réaliser les comptages, les échantillons ont été passés au tamis de 160 µm dans le but de retirer la partie minérale et de ne laisser que les microcharbons. Le tamis a été placé sur un socle quadrillé sous une loupe binoculaire munie d'une caméra. L'identification des charbons est une étape cruciale et est basée sur différents critères : la brillance, l'aspect anguleux, la granulométrie et la couleur. Les opérateurs ont procédé à la prise de photos à l'aide d'une caméra reliée à la loupe binoculaire et les ont exportés sur le logiciel d'analyse d'image Winseedle PRO (versions 2016 et 2019), dans le but d'identifier le nombre de charbons présents et d'évaluer leur superficie.

Après avoir recueilli l'ensemble des données, un rapport largeur/longueur (l/L) a été calculé pour déterminer le type de particule carbonisée, ainsi que la source, l'intensité du feu et le transport (Lynch et al., 2004). L'influx de charbon a été calculé à l'aide du modèle âge/profondeur (influx de charbon = aire totale des charbons d'un pilulier divisée par le volume de l'échantillon), avec une amplitude de variation permettant d'identifier la fréquence d'occurrence des feux (Vannière & Martineau, 2005).

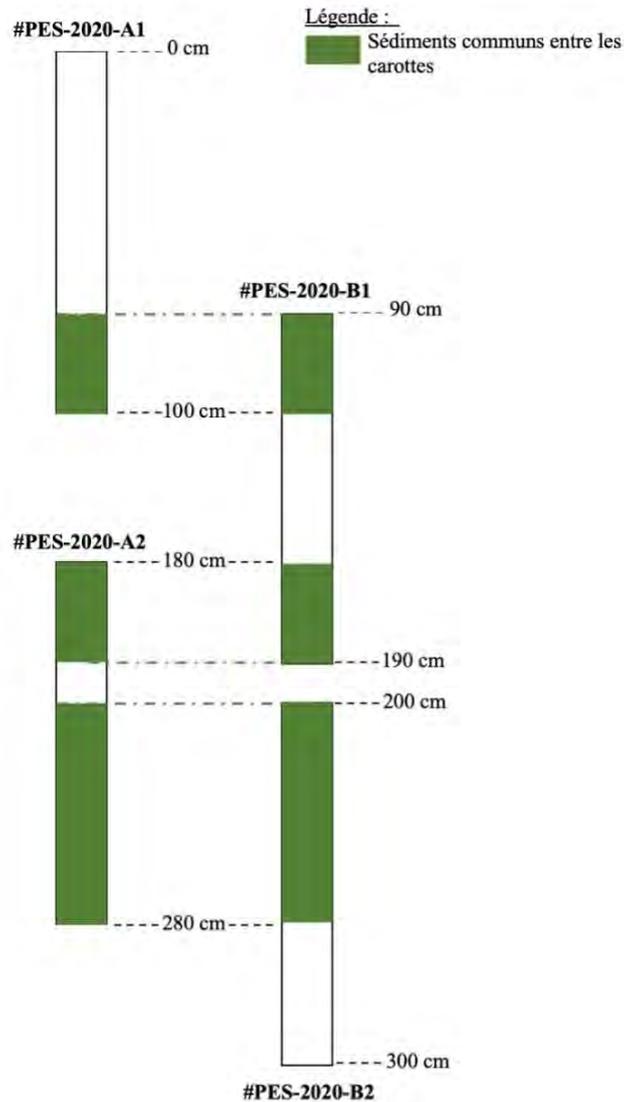


Figure 1. Carottes constituant la séquence PES-2020 prélevée dans la tourbière du Peschio

RESULTATS

1- Modèle d'âge de la tourbière du Peschio

Le modèle d'âge du Peschio est basé sur 6 datations ^{14}C (Table 1). Il révèle que l'accumulation de la tourbe a débuté vers 9590 cal. BP (300 cm) et se poursuit encore aujourd'hui (-70 cal. BP) (Fig. 2). Le modèle d'âge de la tourbière des Nassettes (Cornet & Wales, 2020) couvre les derniers 13 570 cal. BP sur 204 cm de profondeur (Annexe 2).

2- Influx de charbon

Les occurrences de feux sont nombreuses entre 2000 et 0 cal. BP pour la tourbière des Nassettes, et entre 4000 et 2500 cal. BP au Peschio. L'influx de charbon en dehors des pics traduit très certainement un "bruit de fond", correspondant à des charbons qui se sont déposés hors des périodes d'incendies locaux. Nous pouvons ainsi voir des périodes durant lesquelles l'influx de charbon tend vers 0 (entre 8000 et 6000 cal. BP, par exemple), ce qui signifie une diminution, voire une absence d'incendie.

Table 1. Dates radiocarbone de la séquence PES-1.

Code Labo	Date ¹⁴ C	Prof (cm)	Cal.BP
Poz-130010	1125 ± 30	99-100	1170-960
Poz-130011	3000 ± 30	199-200	3330-3070
Poz-142544	3770 ± 40	225-226	4240-3990
Poz-142554	4335 ± 35	249-250	5020-4840
Poz-142545	8470 ± 50	275-276	9540-9330
Poz-130012	9340 ± 50	299-300	10660-10430

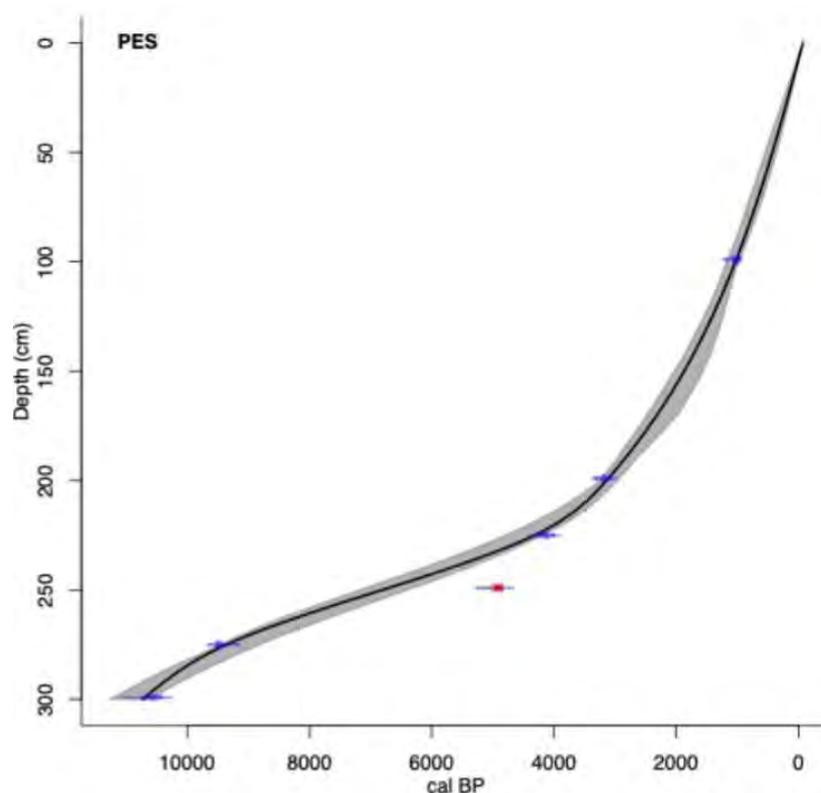


Figure 2. Modèle d'âge de la tourbière du Peschio (réalisation : L. Bremond)

3- Morphologie des charbons

L'étude du rapport I/L (Fig. 3) permet de renseigner le type de combustible. Un rapport I/L > 0,5 correspond à un combustible d'origine ligneux et un rapport < 0,5, à un combustible herbacé (Aleman et al., 2013). L'évolution temporelle de ce rapport a été comparée entre les tourbières du Peschio et des Nassettes.

La tourbière des Nassettes a enregistré plusieurs phases :

- vers 11500 cal. BP : dominance des herbacées, avec présence de ligneux (ratio I/L faible)
- 11500-10000 cal. BP : dominance des ligneux
- 10000-8000 cal. BP : présence d'herbacées avec des charbons allongés
- 8000-7000 cal. BP : présence des 2 morphologies de charbons caractérisant la présence de ligneux, mais aussi d'herbacées en proportion plus importante

- 7000-4000 cal. BP : dominance des charbons avec une morphologie en longueur traduisant la présence d'herbacées, confirmée par un ratio I/L faible
- 3800-0 cal. BP : dominance des ligneux, avec présence accrue de charbons carrés

La **Figure 3** montre une dynamique d'alternance des successions végétales dans le temps, sur la tourbière des Nassettes. La

même méthode est appliquée pour analyser le ratio I/L du Peschio (**Fig. 3b**), avec une phase de 11 500 à 9800 cal. BP dominée par les herbacées, suivi d'une phase, jusqu'à 8100 cal. BP dominée par des ligneux (ratio I/L fort). Entre 8100 et 5000 cal. BP, les ligneux laissent de plus en plus de place aux herbacées, puisque nous observons une phase de mixité herbacée/ligneux pour aboutir à une large phase marquée par une présence plus importante d'herbacées.

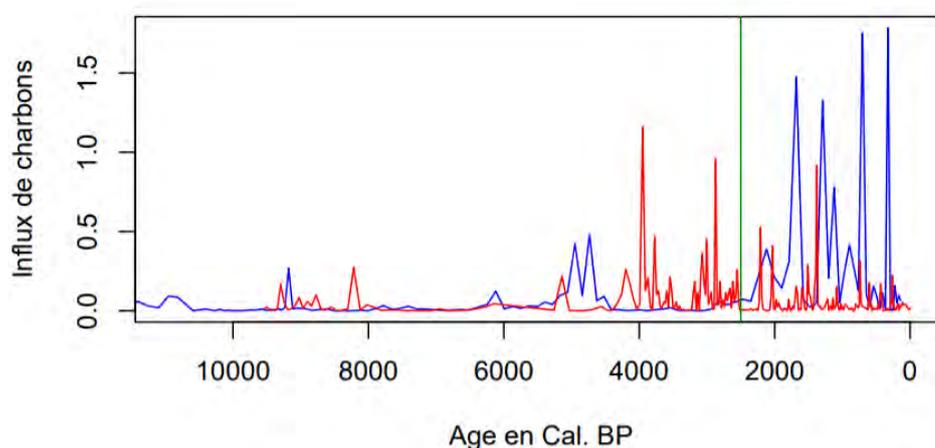


Figure 3. Influx de charbons ($\text{mm}^2.\text{cm}^2.\text{an}^{-1}$) du Peschio (en rouge) et des Nassettes (en bleu) en fonction de l'âge. La ligne verte située à 2500 cal. BP indique l'âge des premières traces de métallurgie (Pulido Avila, 2006).

DISCUSSION

1- Reconstitution des paléoincendies

Fonctionnement général

La première période d'incendie locale est enregistrée au cours du Préboréal (11000 cal. BP) (**Fig. 4**). Elle est associée à un changement de végétation, passant d'une majorité d'herbacées à une dominance de ligneux. Cette période d'incendie n'est enregistrée que dans la tourbière des Nassettes, puisque le modèle d'âge de la tourbière du Peschio ne remonte pas aussi loin. Une période d'incendie courte mais plus intense que la précédente (très fort influx de

particules) (**Fig. 3a**), s'est produite durant le Boréal (9000 cal. BP). Durant cette période, le ratio I/L suggère que les combustibles sont principalement herbacés : la strate herbacée a pu brûler sans toucher les ligneux. Ces deux premières périodes d'incendies sont probablement d'origine naturelle, puisque les précédentes études réalisées au Mont Lozère datent les premières phases d'anthropisation au Subboréal, vers 5000 cal. BP (de Beaulieu, 1972 ; Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006). C'est d'ailleurs à partir de cette période que des incendies sont enregistrés dans les deux tourbières.

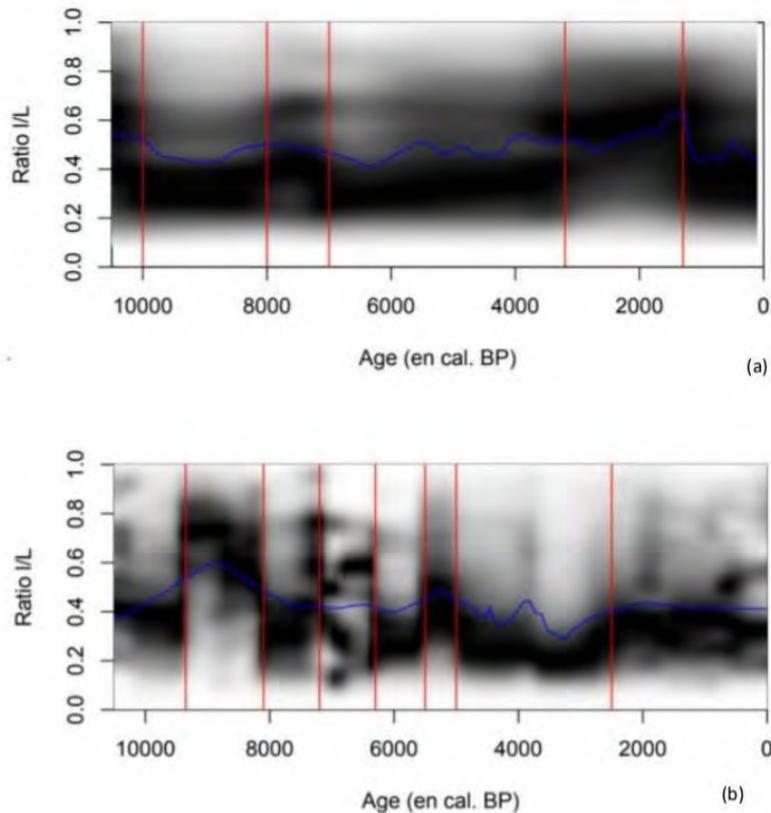


Figure 4. Rapport I/L (width/length soit largeur/longueur) des charbons des tourbières des Nassettes (a) et du Peschio (b) en fonction de l'âge. Les lignes verticales rouges indiquent des changements dans la morphologie des charbons (séparation entre les herbacés et les ligneux).

Vers 2500 cal. BP, les incendies autour de la tourbière du Peschio diminuent progressivement, tandis qu'ils reprennent de manière intense aux Nassettes. Cette reprise des feux peut s'expliquer par le fait qu'à cette période, les premières traces de métallurgie sont observées (Pulido Avila, 2006). Ce sont essentiellement des ligneux qui sont brûlés comme le suggère le ratio I/L (Fig. 3a). Ceci s'explique par le fait que d'importantes phases de déforestation ont eu lieu au Mont Lozère à l'âge du Fer (Servera Vives et al., 2014), affectant *Fagus*, *Quercus* et *Abies* (Pulido Avila, 2006). Les pratiques se diversifient également avec l'expansion de l'agropastoralisme, du charbonnage et de la métallurgie (Servera Vives et al., 2014). Les feux enregistrés au Peschio jusqu'à environ 1500 cal. BP (Fig. 4), peuvent s'expliquer par les mêmes raisons. L'influx de charbon diminue aux alentours de 1000 cal. BP (Fig. 4), correspondant à la régression sociétale initiée par la transition entre le Haut

Moyen-Âge et le Moyen-Âge féodal (Servera Vives et al., 2014). C'est une période où peu de cultures subsistent, permettant aux ligneux de recoloniser le milieu.

Fonctionnement local

A partir de 5000 cal. BP, les signaux enregistrés entre les deux tourbières ne sont pas synchrones. Un très faible influx est enregistré entre 4000 et 2000 cal. BP dans la tourbière des Nassettes (Fig. 4). Nos signaux de feux semblent révéler que l'enregistrement des feux est très local. Or, les macrocharbons sont censés enregistrer des feux à l'échelle régionale (Clark et al., 1998).

Une première supposition serait que le taille du bassin versant diffère selon la tourbière. Le bassin versant ne collectera pas de dépôts dans les mêmes sources, et si le fonctionnement des sources diffère, le signal sera différent entre les sites. L'influx de charbon serait d'autant plus fort, que la taille du bassin versant est importante. L'influx et la

taille des bassins versants des deux tourbières étant similaires (Fig. 4), cette supposition peut être écartée.

Une seconde proposition pourrait être un changement de source, donnant lieu à des enregistrements assez locaux induisant des activités anthropiques différentes entre les deux sites (Servera Vives et al., 2014). Les vents dominants apporteraient des charbons à un site et pas l'autre. Cependant, les deux sites sont séparés d'environ 950 m. Il est donc peu probable que cette distance explique une différence d'activités humaines et d'apport éolien entre les deux sites (Ploquin et al., 2010). On observerait donc des enregistrements assez locaux, mais cela n'explique pas pourquoi on constate une activité anthropique uniquement sur l'un des deux sites.

Une autre possibilité que l'on puisse envisager serait la présence d'une barrière physique dans la tourbière des Nassettes entre 4000 et 2000 cal. BP. Des arbres peuvent jouer ce rôle de filtre physique en bloquant les charbons de grande taille amenés par le vent, diminuant ainsi le nombre de charbons. La lithologie des Nassettes indique la présence d'éclats de bois et de composés compacts et fibreux, montrant la présence de ligneux (Bonnet et al., 2020 ; Annexe 3). Le diagramme pollinique associé (Annexe 4 ; Reille, 1988) indique également la présence de ligneux avec *Betula* (local), *Corylus*, *Pinus* et *Quercus*. Pour le site du Peschio, la lithologie montre la présence de fragments d'herbacées (> 2 mm) (D'Oliveira & Zitouni, 2021 ; Annexe 5). Cette observation se confirme aussi à travers le diagramme pollinique (Moroy et al., 2022) puisque vers 4000 cal. BP, on observe un changement de zone pollinique, qui correspond au début de l'impact anthropique, avec moins d'espèces arborées. *Betula*, qui s'est développé directement sur la tourbière des Nassettes, a pu créer un filtre physique. Les autres espèces, comme *Pinus* et *Corylus*, se trouvent autour des tourbières, en milieu mésophile. Toujours à la même période, le peu de charbons présents dans la tourbière des Nassettes (Fig. 4) sont polygonaux (Fig. 3a),

ce qui correspond à des combustibles d'origine ligneuse (Aleman et al., 2013). L'ensemble de ces observations laisse supposer qu'il a pu y avoir une barrière physique sur la tourbière des Nassettes entre 4000 et 2000 cal. BP, pouvant expliquer la différence des signaux de feu que nous obtenons.

2- Limite de la méthode

Sur les premiers cm de la carotte #PES-2020-A1, la présence accrue de racines a rendu le prélèvement des échantillons de 0,5 cm³ compliqué ; il est possible que le volume soit en fait plus faible, ce qui signifie que la quantité de charbons peut être sous-évaluée conduisant à une interprétation incomplète des régimes de feu. De plus, la dissolution de la matière organique dans les piluliers n'était pas toujours complète malgré l'utilisation d'hydroxyde de potassium (KOH), de métaphosphate (NaPO₃) et d'hypochlorite de sodium (NaClO), signifiant également une perte potentielle d'informations, car cela rend la lecture des particules de charbon plus complexe.

CONCLUSION

Notre étude vient s'ajouter à celles réalisées par Pulido Avila (2006), Cornet & Wales (2020) et Charieau & Larrieu (2021). Elle permet de mettre en avant de nombreuses occurrences de feux dans le Mont Lozère principalement dans la tourbière du Peschio. Suite à notre comparaison du Peschio et des Nassettes, l'origine de ces occurrences au cours du dernier millénaire semble humaine, même s'il l'on ne peut exclure la survenue de feux d'origine naturelle. Nos résultats montrent une alternance de phases ligneuses et herbacées au cours du temps. Ceci indique que la structure et la composition des écosystèmes ont été modifiées par la déforestation du Mont Lozère par le feu.

Pour essayer de caractériser plus finement les régimes de feu, le logiciel CharAnalysis (Higuera et al., 2009) pourrait être utilisé. Nous pourrions ainsi tester statistiquement les différences d'influx dans le but de dater les impacts anthropiques avec une plus grande

précision.

Enfin, l'étude des charbons sédimentaires est un outil précieux pour représenter la dynamique des feux sur le long terme. Il est important de l'associer avec d'autres indicateurs paléoécologiques, comme le pollen ou des fouilles archéologiques pour comprendre l'ensemble de l'histoire de ces feux et leur impact sur leur environnement.

REFERENCES

- Aleman J.C., Blarquez O., Bentaleb I., Bonté P., Brossier B., Carcaillet C., Gond V., Gourlet-Fleury S., Kpolita A., Lefèvre I., Oslisly R., Power M. J., Yongo O., Bremond L. & Favier C. (2013). Tracking land-cover changes with sedimentary charcoal in the Afrotropics. *The Holocene*, 23 (12) : 1853-1862.
- Allée P., Paradis S., Boumédiène F. & Rouaud R. (2010). L'exploitation médiévale du plomb argentifère sur le mont Lozère. Archéologie spatiale d'un territoire proto-industriel montagnard. *ArcheoSciences*, 34 : 177-186.
- 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.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for "classical" age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary geochronology*, 5 (5) : 512-518.
- Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. (2020). Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire récent. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-46.
- Braun-Blanquet J. (1923). *L'origine et le développement des Flores dans le Massif central de France avec aperçu sur les migrations des flores dans l'Europe sud-occidentale*. Léon l'Homme Éditeur, Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 69-1 : 1-16.
- Charieau F. & Larrieu M. (2021). Dynamique des feux sur le Mont Lozère durant le dernier millénaire : étude des charbons de bois dans la tourbière du Peschio. *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 55-72.
- Clark J.S., Lynch J., Stocks B.J. & Goldammer J.G. (1998). Relationships between charcoal particles in air and sediments in west-central Siberia. *The Holocene*, 8 (1) : 19-29.
- Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A.F. & Krebs P. (2009). Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews*, 28 (5-6) : 555-576.
- Cornet F. & Wales A. (2020). Reconstitution des paléo-incendies du Mont Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours. *Orpalm synthesis*, 13 (1) : 9-24.
- Daugas J.P., Gilbert A. & Raynal J.P. (1983). Premières sépultures du Néolithique ancien en Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société d'Anthropologie du Sud-Ouest*, 18 : 45-52.
- Daugas J.P. & Raynal J.P. (1989). Quelques étapes du peuplement du Massif central français dans leur contexte paléoclimatique et paléogéographique. *Cahiers du Quaternaire*, 13 : 67-95.
- De Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 (11) : 1641-1644.
- Dietze E., Theuerkauf M., Bloom K., Brauer A., Dörfler W., Feeser I., Feurdean A., Gedminiene L., Giesecke T., Jahns S., Karpinska-Kotaczek M., Kotaczek P., Lamentowicz M., Latatowa M., Marcisz K., Obremska M., Pedziszewska A., Poska A., Rehfeld K., Stancikaite M., Stivrins N., Swieta-Musznicka J., Szal M., Vassiljev J., Veski S., Wacnik A., Waisbrodt D., Wiethold J., Vannière B. & Stowinski M. (2018). Holocene fire activity during low-natural flammability periods reveals scale-dependent cultural human-fire relationships in Europe. *Quaternary Science Reviews*, 201 : 44-56.
- D'Olivera L. & Zitouni A. (2021). Dynamique d'accumulation de tourbe dans

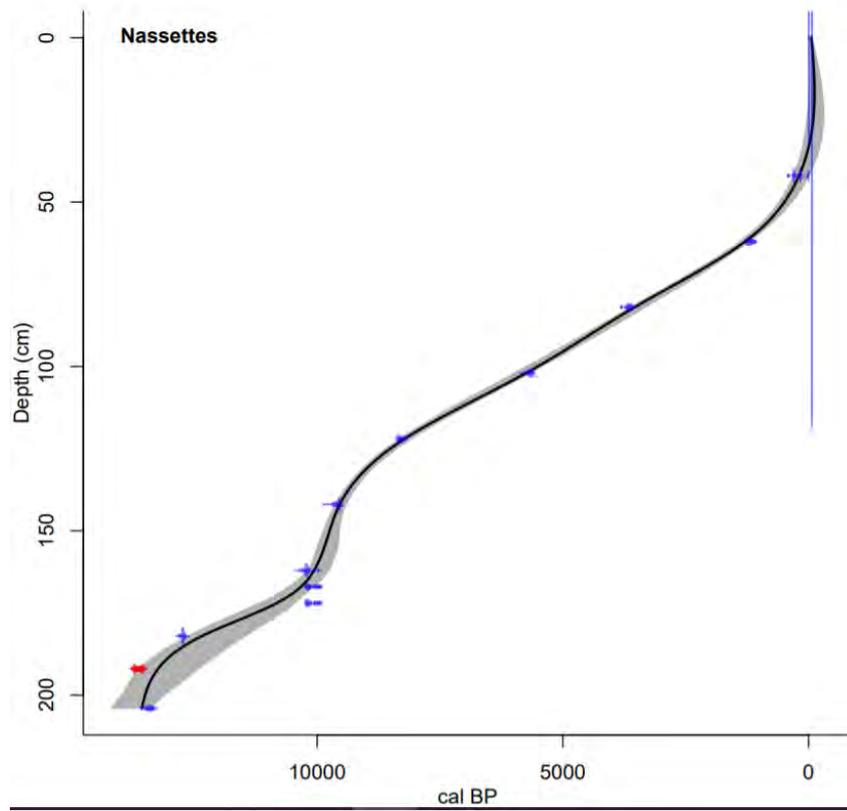
- le sud du Massif Central : focus sur la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 21-36.
- Enache M.D. & Cumming B.F. (2006). Tracking recorded fires using charcoal morphology from the sedimentary sequence of Prosser Lake, British Columbia (Canada). *Quaternary Research*, 65 : 282-292.
- Fabrizi A. (2009). *Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques et réponses aux perturbations anthropiques*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 163 p.
- Gauthier S., Leduc A., Harvey B., Bergeron Y. & Drapeau P. (2001). Les perturbations naturelles et la diversité écosystémique. *Le naturaliste canadien*, 125 (3) : 10-17.
- Higuera P. (2009). *CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis*. Bozeman, Montana, 27 p.
- Jensen K., Lynch E.A., Calcote R. & Hotchkiss S.C. (2007). Interpretation of charcoal morphotypes in sediments from Ferry Lake, Wisconsin, USA: do different plant fuel sources produce distinctive charcoal morphotypes? *The Holocene*, 17 (7) : 907-915.
- Leone V., Lovreglio R., Martín M.P., Martínez J. & Vilar L. (2009). *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Springer, Madrid, 257 p.
- Loiret R. (2016). *Le Bilan écologique. Mesurer la perturbation anthropogénique de l'Écosphère et de la Biosphère (un bilan de l'Anthropocène). Caractériser les voies du développement écologique des territoires*. Thèse de Doctorat, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 423 p.
- Lynch J.A., Clark J.S. & 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.
- Martin C., Didon-Lescot J.F., Cosandey C., Lavabre J., Marc V. & Cognard-Plancq A.L. (2003). Les crues de type cévenol : recherches sur le versant sud du Mont-Lozère (France). *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions*, 278 : 284-289.
- Miras Y., Guenet P. & Richard H. (2011). Holocene vegetation, landscape, and reconstruction of human activity from prehistory to the roman period based on new pollen data performed in "the plateau de Millevaches" (Limousin, Massif Central, France). *Quaternaire Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 22 (2) : 147-164.
- Moroy N., Mousnier A. & Passelergue M. (2022). Dynamiques postglaciaires de végétation à l'échelle locale et régionale sur le Mont Lozère. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 51-70.
- Paradis-Grenouillet S. (2012). *Étudier les forêts métallurgiques : analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques Exemple des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin*. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 452 p.
- Pickett S.T.A. & White P.S. (1985). *The ecology of natural disturbances and patch dynamics*. Academic Press Inc., Orlando, 472 p.
- Ploquin A., Allée P., Bailly-Maître M.C., Baron S., De Beaulieu J.-L., Carignan J., Laurent S., Lavoie M., Mahé Le Carlier C., Paradis S., Paytavin J. & Pulido M. (2010). PCR - Le plomb argentifère ancien du Mont Lozère (Lozère). A la recherche des mines, des minerais et des ateliers, des paysages et des hommes. *ArcheoSciences, Revue d'archéométrie*, 34 : 99-114.
- 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 Paul Cézanne, Aix-Marseille, 308 p.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif Central, France) ; réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss

- A., Blackwell P.G., Ramsey C.B., 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., Plicht J.V.D., 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 S. & Talamo S. (2020). The Intcal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62 (4) : 725-757.
- Rius D., Vannièrè B., Galop D. & Richard H. (2011). Holocene fire regime changes from multiple-site sedimentary charcoal analyses in the Lourdes basin (Pyrenees, France). *Quaternary Science Reviews*, 30 (13-14) : 1696-1709.
- Soulé M.E. (1985). What is conservation biology? A new synthetic discipline addresses the dynamics and problems of perturbed species, communities and ecosystems. *Biosciences*, 35 (11) : 727-734.
- Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended ¹⁴C Data Base and Revised CALIB 3.0 ¹⁴C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35 (1) : 215-230.
- Vannièrè 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 (1) : 67-186.
- Vannièrè B., Power M.J., Roberts M., Tinner W., Carrion J., Magny M., Bartlein P., Colombaroli D., Daniau A.L., Finsinger W., Gil-Romera G., Kaltenrieder P., Pini R., Sadori L., Turner R., Valsecchi V. & Vescovi E. (2011). Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP). *The Holocene*, 21 (1) : 53-73.
- Vernet J.L. (1968). La couverture forestière des Causses du Massif central de France au Post-glaciaire, d'après l'étude de charbons de bois préhistoriques. *Quaternaire*, 5 (3) : 181-196.
- Vernet J.L. (1972). Nouvelle contribution à l'histoire de la végétation holocène des Grands Causses d'après les charbons de bois. *Bulletin de la Société botanique de France*, 119 : 169-182.
- Vives G.S., Miras Y., Riera S., Julià R., Alléa P., Orengo H., Paradis-Grenouillet S. & Palet J.M. (2014). Tracing the land use history and vegetation dynamics in the Mont Lozère (Massif Central, France) during the last 2000 years : The interdisciplinary study case of Countrasts peat bog. *Quaternary International*, 353 : 123-139.

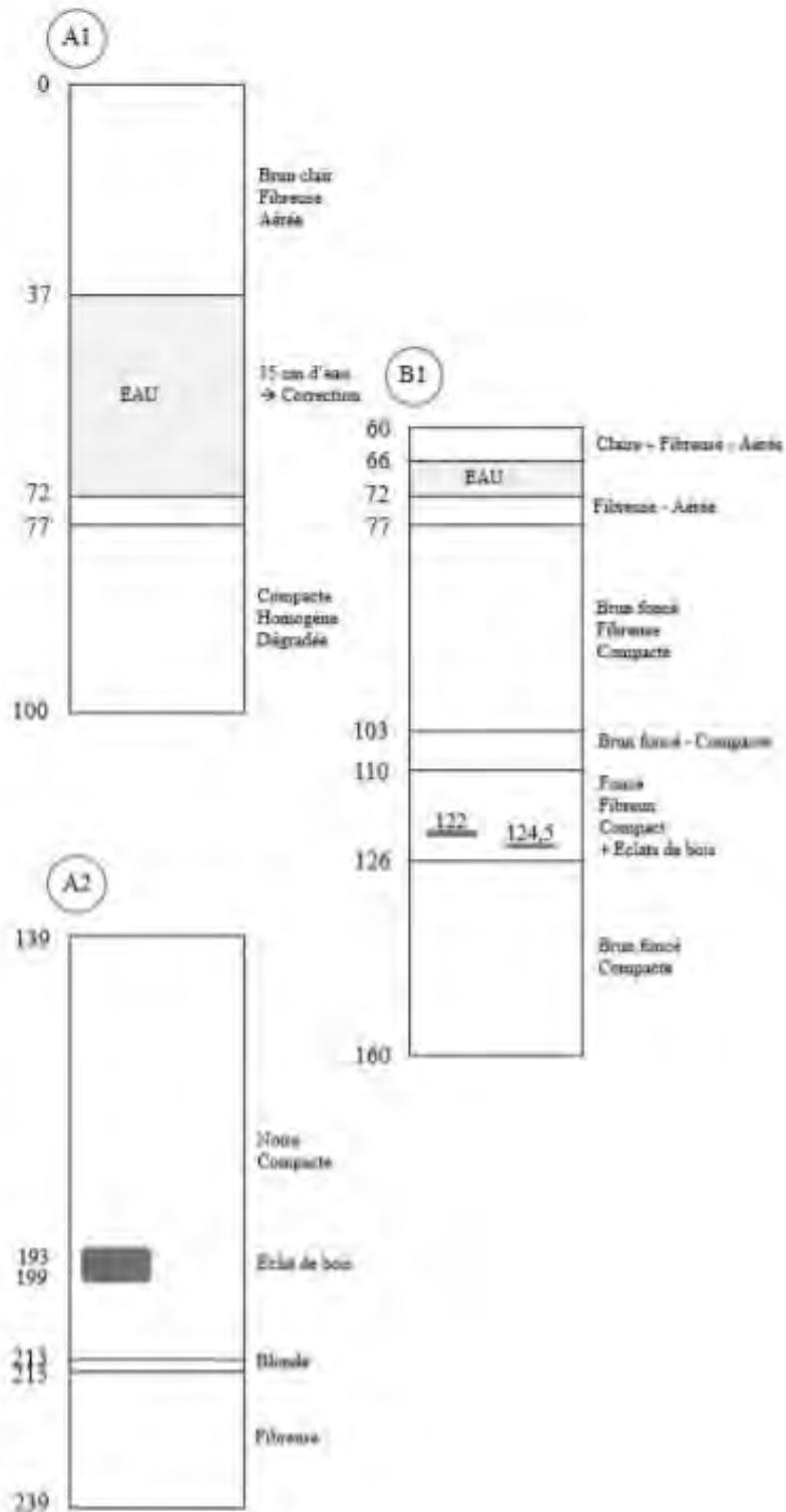
ANNEXE 1. Position de la tourbière du Peschio ainsi que celle des Nassettes



ANNEXE 2. Modèle âge-profondeur de la tourbière des Nassettes (d'après [Cornet & Wales, 2020](#)).



ANNEXE 3. Profil stratigraphique des carottes NAS#2019-09-A1, NAS#2019-09-A2 et NAS#2019-09-B1 (annoté immédiatement après prélèvement dans la tourbière) utilisés pour l'échantillonnage (d'après Bonnet et al., 2020)



ANNEXE 4. Diagramme pollinique de la tourbière des Nassettes (d'après Reille, 1988)

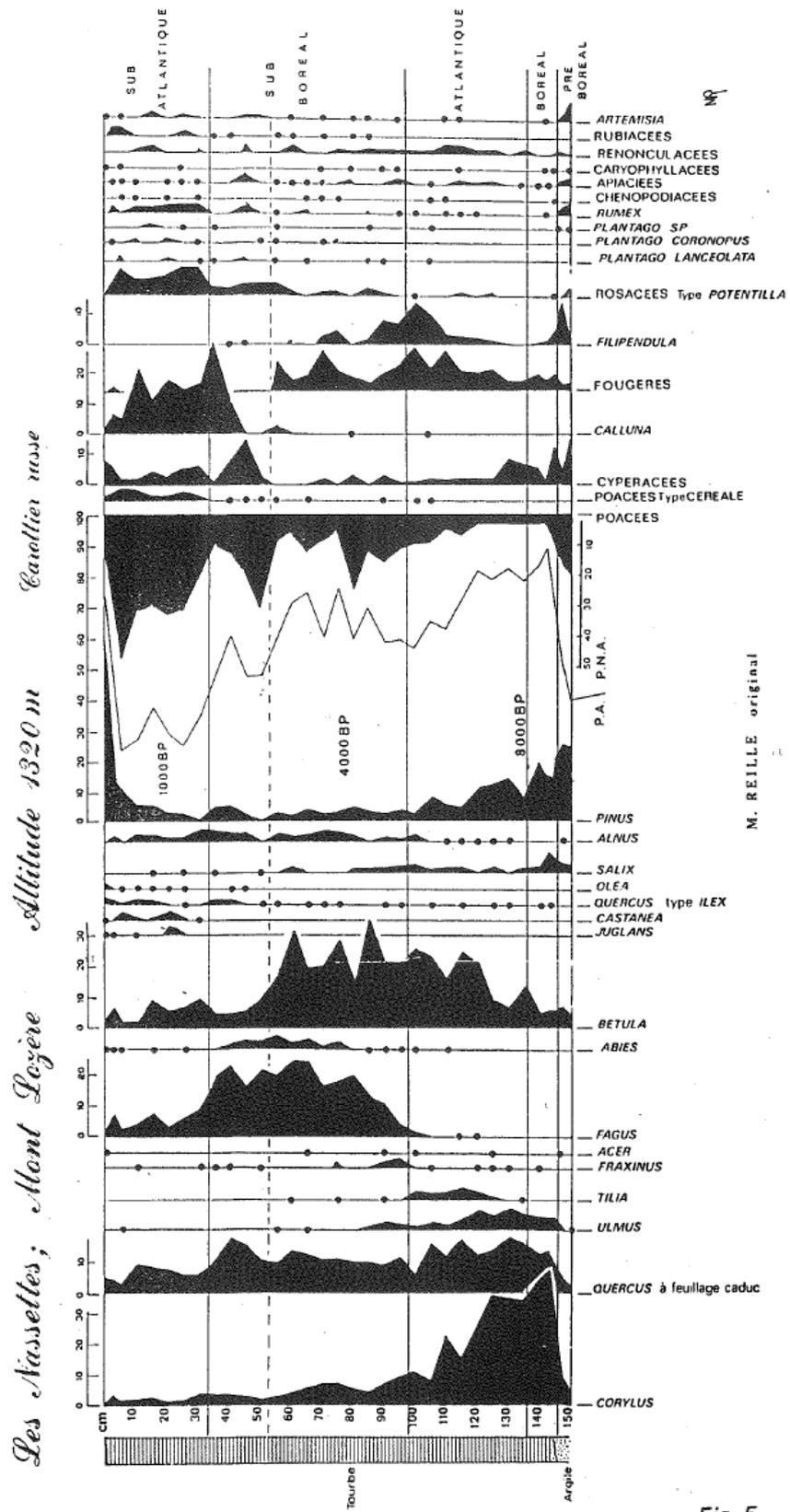
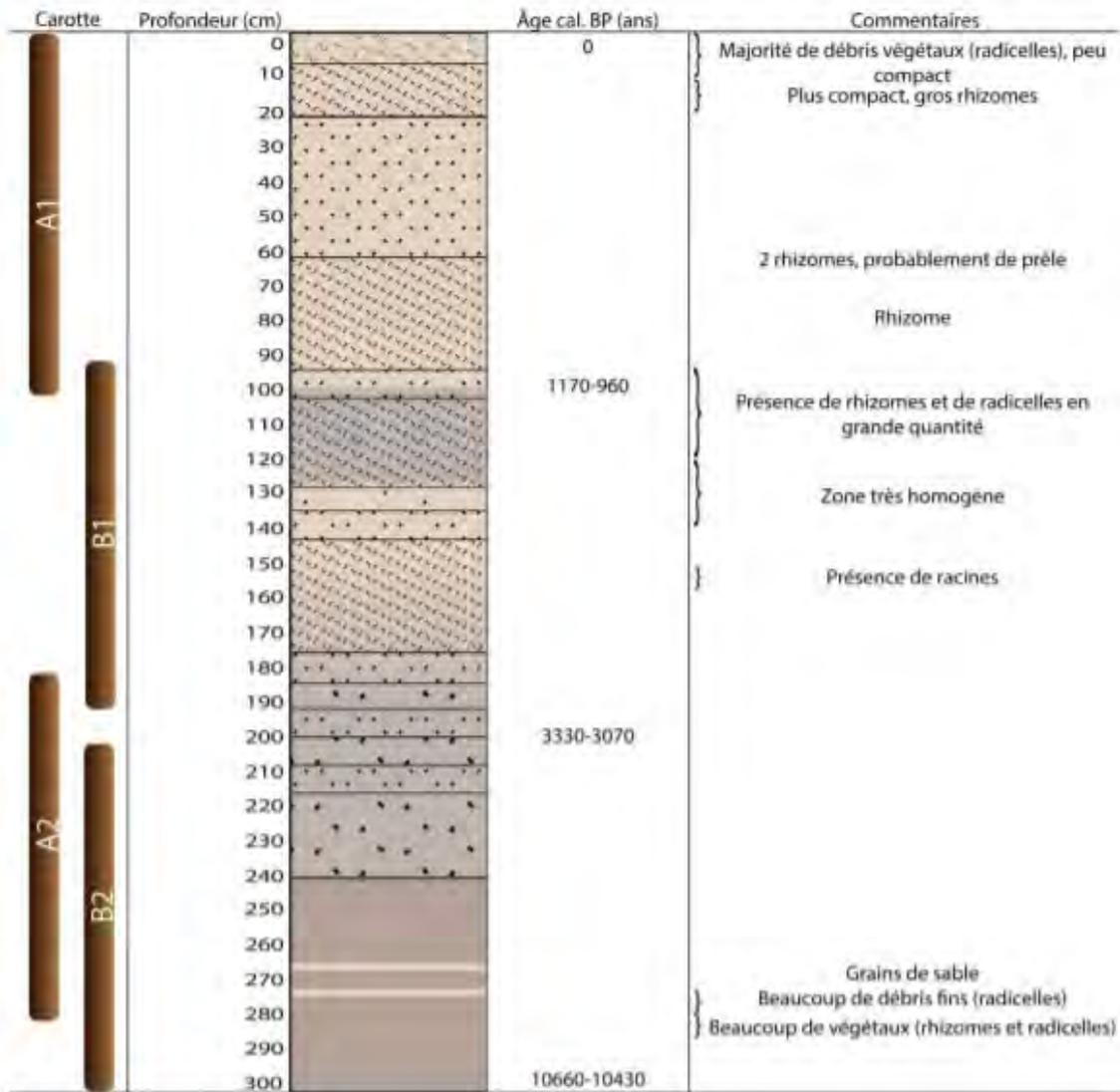


Fig. 5

ANNEXE 5. Log stratigraphique de la tourbière du Peschio (d'après [D'Oliveira & Zitouni, 2021](#)). En légende : Dh, Detritus herbosus (débris herbacés); Sh, Substantia humosa (substance humique); Tb, Turfa bryophytica (bryophytes). Les numéros associés représentent les abondances relatives (0 : absence ; 1 : de 0 à 10 ; 2 : de 10 à 100 ; 3 : de 100 à 1000 ; 4 : > 1000).



Légende:

	Tb2 Dh1 Sh1		Dh3 Sh1
	Dh2 Sh2		Dh1 Sh3
	Dh1 Sh2		Non analysé

RECONSTITUTION DE LA DYNAMIQUE HOLOCENE DE LA TOURBIERE DU PESCHIO (MONT LOZERE, FRANCE), A PARTIR DES PALYNOMORPHES NON POLLINIQUES

Baptiste Clerc ¹, Loïc David ², Cécile Latapy ³

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ baptiste.clerc@etu.umontpellier.fr, ² loic.david@etu.umontpellier.fr,

³ cecile.latapy@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Vincent Montade

Citation : Clerc B., David L. & Latapy C. (2022). Reconstitution de la dynamique holocène de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France), à partir des palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 89-104.

Résumé : Les palynomorphes non polliniques (NPP) ont été étudiés dans la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France), dans le but de préciser la dynamique du milieu et l'anthropisation passée. La tourbière, initialement ouverte, se serait boisée sous l'influence de mécanismes naturels à la fin du Mésolithique (8000 cal. BP), avant qu'une activité anthropique ne fasse régresser la sylve, à partir du Néolithique moyen (5500 cal. BP). Sous cet effet, l'ouverture de la végétation se serait accentuée du Moyen-âge (600 cal. BP) à la période contemporaine.

Mots clés : agropastoralisme, fen, paléoenvironnement, anthropisation

Abstract: *Reconstruction of Holocene dynamics of Peschio peatland (Mont Lozère, France), based on non-pollen palynomorphs.* Non-pollen palynomorphs (NPP) were studied in the Peschio fen (Mont Lozère, France), with the aim of clarifying the dynamics of the environment and past anthropization. The fen, initially open, would have been wooded under the influence of natural mechanisms at the end of the Mesolithic (8000 cal. BP), before an anthropic activity made the forest regress, from the Middle Neolithic (5500 cal. BP). Under this effect, the opening of the vegetation would have increased from the Middle Ages (600 cal. BP) to the modern period.

Keywords: agropastoralism, fen, palaeoenvironment, anthropisation

Les tourbières sont des écosystèmes caractérisés par l'accumulation de matière organique végétale peu décomposée (la tourbe) et par la présence d'eau stagnante. L'eau asphyxie le milieu et limite la décomposition, permettant la conservation de structures organiques, parmi lesquelles de nombreux restes microscopiques (Cugny et al., 2010). Ces restes, appelés palynomorphes non polliniques (NPP), peuvent provenir de

végétaux, d'animaux ou de champignons (Cugny, 2011b). Les premiers travaux portant sur les NPP ont été initiés dans les années 70 (van Geel, 1978). Ils ont suscité l'intérêt des palynologues, car ils renseignent localement sur les dynamiques de feu, l'enrichissement en nutriment et la présence des végétaux ou animaux auxquels ils sont inféodés (Cugny, 2011b ; Argant et al., 2006 ; Blackford & Innes, 2006). Le manque de connaissance relative à beaucoup de NPP complique leur

identification et l'interprétation de leurs enregistrements fossiles (Cugny, 2011b). Alors que beaucoup d'études paléoécologiques se sont intéressées au pollen fossile dans le Massif Central, très peu ont intégré l'analyse des NPP. Bombeau & Musco de Caires (2021) ont initié l'étude des NPP de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France). Ils ont mis en évidence une activité anthropique pastorale passée, mais n'ont pas étudié les sédiments antérieurs à 3000 cal. BP. Le présent travail vise à compléter les données de Bombeau & Musco de Caires (2021), dans le but de : (1) évaluer la reproductibilité de la méthodologie utilisée dans ces deux études ; (2) reconstituer l'évolution des paléoenvironnements de la tourbière du Peschio depuis 10 000 ans ; et (3) comparer les changements du milieu identifiés par les NPP et par le pollen (Moroy et al., 2022).

MATERIELS ET METHODES

1- Zone d'étude

La tourbière du Peschio est située dans le Parc national des Cévennes à 1370 m d'altitude, sur le flanc Nord-Ouest du Mont Lozère (Pulido Avila, 2006 ; d'Oliveira & Zitouni, 2021). Localisé dans l'étage montagnard, entre 1000 et 1700 m d'altitude (Mathez & Molina, 2011), le site du Peschio est une tourbière de dépression (Cognard et al., 2004) abritant des espèces hygrophiles comme *Equisetum fluviatile*, *Eriophorum angustifolium*, *Menyanthes trifoliata* et *Sphagnum inundatum* (Cartier et al., 2021). Cette tourbière est un fen (Muller, 2002), affecté au cours des dernières décennies par l'agropastoralisme, le fauchage et l'écobuage (Pulido Avila, 2006).

2- Carottage et chronologie

Le relevé topographique de la tourbière a été effectué le long de plusieurs transects (Bombeau & Musco de Caires, 2021). Après le repérage des zones les plus profondes, deux carottages ont été effectués le 3 septembre 2020, à l'aide d'un carottier russe manuel dont la chambre de prélèvement mesure 1 m

de long pour 5 cm de diamètre. Chacun des carottages A et B est constitué de deux carottes (A1-A2 et B1-B2, respectivement), prélevées dans des trous distants de 20 cm. La séquence A a atteint 299 cm de profondeur.

Six échantillons de tourbe ont fait l'objet de datations ¹⁴C. Hemelsdaël & Tourniaire (2022) ont établi plusieurs modèles d'âges. Le modèle final repris dans cette étude a été sélectionné par Moroy et al. (2022) sur la base de corrélations palyno-stratigraphiques avec différents diagrammes de la région. Les datations sont exprimées en âge calibré (cal. BP, *i.e. before present*).

3- Laboratoire

Échantillonnage des carottes et protocole d'extraction

Huits échantillons ont été prélevés en 2020 (Bombeau & Musco de Caires, 2021) et 7 échantillons supplémentaires ont été prélevés en 2021 (Table 1). Le volume des échantillons a été mesuré par déplacement d'eau. Les profondeurs d'échantillonnage ont été choisies en tenant compte du modèle d'âge pour que le pas d'échantillonnage temporel soit homogène.

L'extraction des microfossiles a respecté le protocole de Berglund & Ralska-Jasiewiczova (1986) (Annexe 1). Pour chaque profondeur, 3 lames ont été montées dans de la glycérine. Les lamelles ont été fixées sur les lames avec de l'histolaque.

Comptages et identifications

Le comptage a été réalisé sous microscope optique (x400). Pour chaque profondeur, 100 NPP minimum ont été comptés par chaque expérimentateur. Quand certains NPP représentaient plus de 50 %, les comptages ont été poursuivis afin d'atteindre une somme de 100 pour les autres NPP. De cette façon, les NPP dominants masquaient moins la diversité taxonomique des échantillons. Chaque NPP a été dessiné, décrit et s'est vu attribuer un code (Annexe 2). Les NPP ont été identifiés à l'aide d'Aptroot & van Geel (2006), Argant et al. (2006), Blackford et al. (2006), Carris et al. (2006) et Cugny (2011b). Chaque NPP décrit a été assigné à un

morphotype quand cela était possible. Nos nouvelles données ont été regroupées avec celles de [Bombeau & Musco de Caires \(2021\)](#), les taxons identiques entre les expérimentateurs étant sommés. Sur 99 taxons décrits, 45 ont pu être identifiés (Annexe 2). Ils sont classés en 7 écologies différentes : les coprophiles stricts, les coprophiles/saprophytes, les saprophytes stricts, les lignicoles, les parasites de plantes, les indicateurs de zone humide, les NPP ayant une écologie non confirmée.

Table 1. Profondeurs et âges des échantillons prélevés lors de cette étude et de celle de [Bombeau & Musco de Caires \(2021\)](#). Les profondeurs traitées en 2021 sont notées avec un astérisque ().*

Profondeur (cm)	Age (cal. BP)
1-2 *	-54
42-43 *	395
84-85 *	918
126-127 *	1570
168-169 *	2359
188-189	2774
210-211 *	3258
230-231	3730
242-243	4130
252-253 *	5089
260-261	6081
270-271	7397
280-281	8434
290-291	9119
298-299 *	9519

4- Traitement des données

Les concentrations des NPP sont calculées de la manière suivante :

$$C = (SNPP * N * VC) / (n * VG * VS)$$

Avec : SNPP = nombre de NPP du morphotype considéré ; N = nombre total de lignes (au grossissement x40, varie selon le microscope et la lamelle) ; VC = volume du culot (après ajout de glycérine) ; n = nombre de lignes comptées (chaque ligne entamée est

terminée) ; VG = volume de la goutte (montée sous lame, 25 µl) ; VS = volume sédimentaire de l'échantillon (avant traitement chimique).

N'ayant que les données brutes des comptages de [Bombeau & Musco de Caires \(2021\)](#), les concentrations ont été estimées à l'aide d'un produit en croix en prenant comme référence le taxon le plus abondant pour chaque profondeur. Les données pour calculer les taux d'accumulation proviennent de [Hemelsdaël & Tourniaire \(2022\)](#). Les taux d'accumulation correspondent à la différence d'âge entre deux profondeurs adjacentes. Ils permettent de calculer les influx (concentrations/taux d'accumulation).

Les figures ont été produites sur R ([R Core Team, 2021](#)) et Inkscape. Les diagrammes ont été réalisés avec le package Rioja ([Juggins, 2021](#)). Leur finalisation et la réalisation des schémas ont été réalisés avec le logiciel Inkscape.

Une analyse de clusters avec la méthode Coniss a été effectuée pour zoner les diagrammes.

RESULTATS

Les fortes variations des concentrations, des pourcentages et des influx de NPP n'ont pas permis d'obtenir des zones cohérentes. Une délimitation arbitraire a donc été faite afin de synthétiser les changements observés. Quatre périodes sont décrites en fonction des pourcentages ([Figs. 1 et 2](#)). Compte tenu des différents taux de sédimentation observés, nous nous sommes concentrés sur les influx ([Fig. 3](#)).

1- Diagramme NPP

Période 1, de 9500 à 8000 cal. BP

Les assemblages de NPP sont dominés par des organismes coprophiles stricts, qui représentent au minimum 5 % des NPP identifiés, et atteignent même 30 % à 9500 cal. BP ([Fig. 2](#)). Les coprophiles/saprophytes sont présents en forte proportion. Les perforations scalariformes ainsi que les indicateurs de zone humide ont chacun un ratio de 1 à 25%.

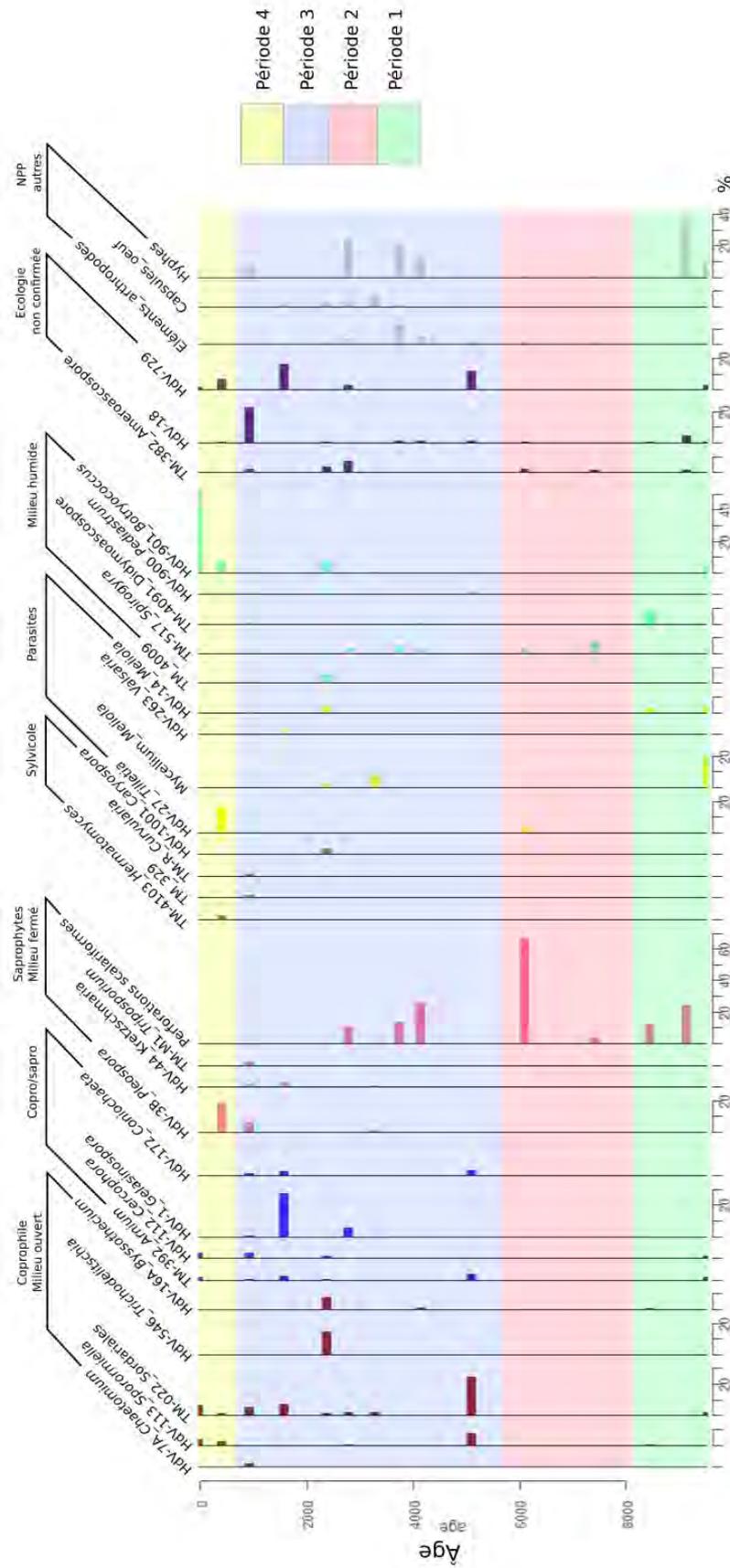


Figure 1. Diagramme en pourcentage des NPP de la tourbière du Peschio. Les zones de couleur correspondent aux phases définies. Les pourcentages sont calculés par rapport aux NPP totaux sur une profondeur donnée. Seuls les taxons les plus abondants et typiques d'une écologie sont représentés

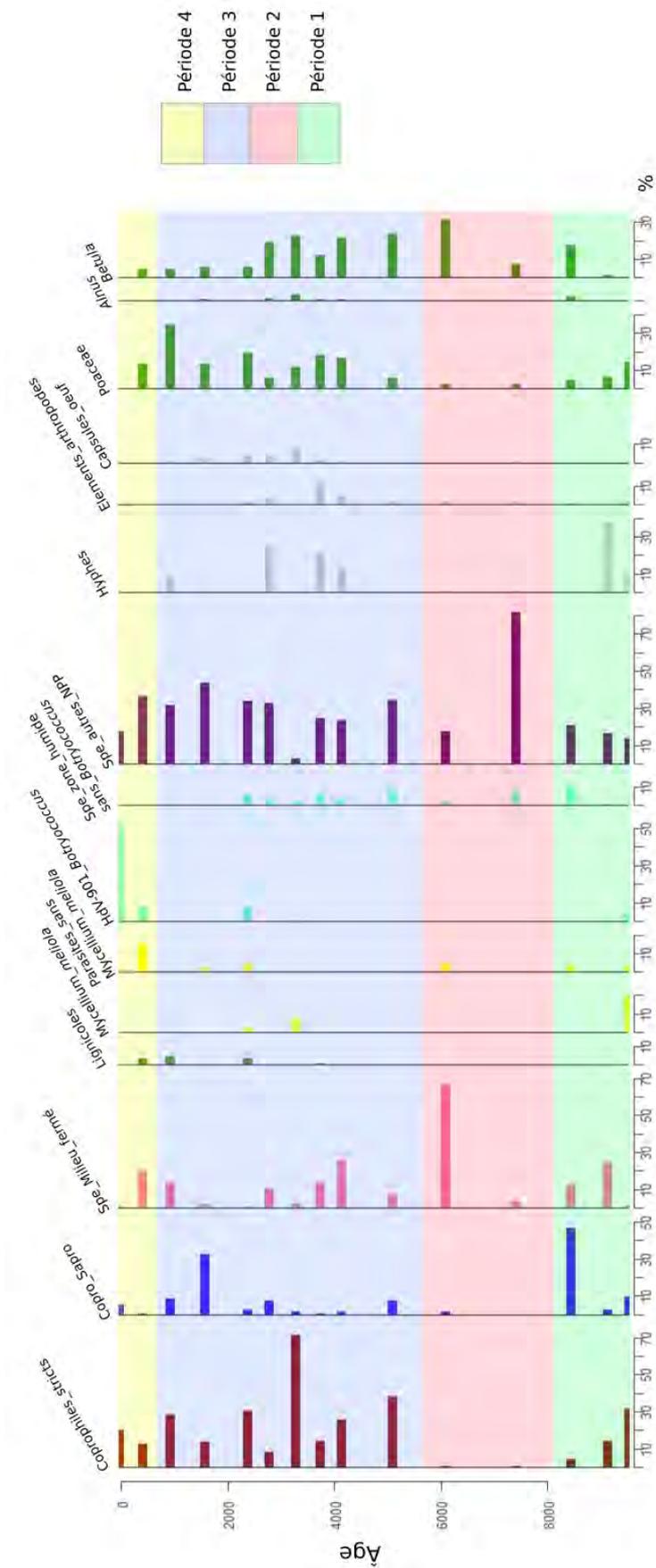


Figure 2. Diagramme en concentrations des NPP de la tourbière du Peschio. Les données de l'analyse pollinique (*Alnus*, *Betula* et *Poaceae*) sont issues de [Moroy et al. \(2022\)](#).

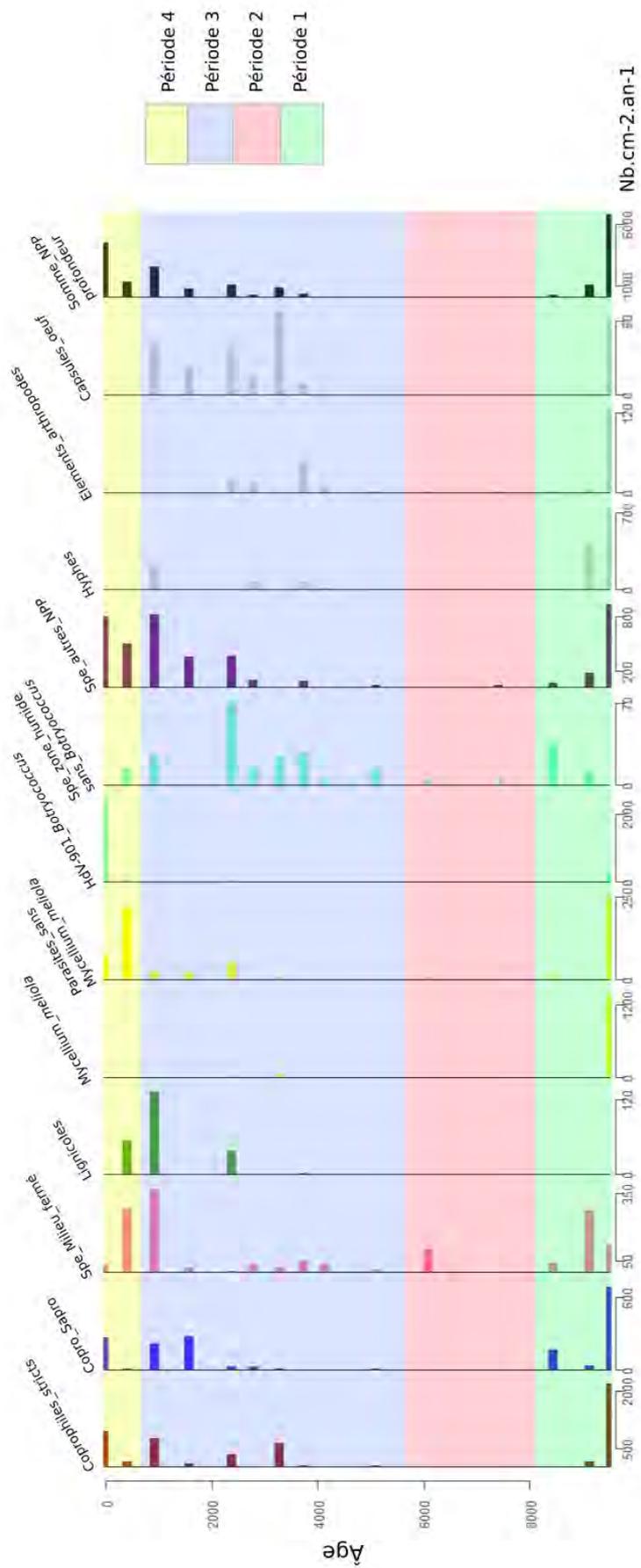


Figure 3. Diagramme en influx des NPP de la tourbière du Peschio

Période 2, de 8000 à 5500 cal. BP

Les perforations scalariformes, qui représentent 70 % des NPP à 6000 cal. BP, dominent les assemblages (Fig. 1 et 3). Les autres taxons comme les parasites de plantes (*Meliola* et *Tilletia*) et les NPP de milieux humides n'excèdent jamais 10 % (Fig. 1). Les parasites de plantes et les taxons de milieux humides sont peu représentés.

Période 3, de 5500 à 600 cal. BP

Entre 5500 et 600 cal. BP, les NPP se diversifient (Figs. 1 et 2). Les coprophiles stricts totaux représentent entre 10 et 70 % (Fig. 2). On observe une forte augmentation de *Gelasinospora* (30 %) localisée vers 1500 cal. BP et la présence de trois taxons lignicoles non observés dans les périodes précédentes. Pour finir, *Meliola* et *Valsaria*, deux parasites, sont plus représentés.

Période 4, de 600 cal. BP à nos jours

A partir de 600 cal. BP il y a une baisse de la diversité générale (Figs. 1 et 4). Les NPP des milieux humides (*Botryococcus* jusqu'à 50 %), des parasites (*Meliola* et *Tilletia*), des sylvicoles (*Hermatomyces*), des milieux fermés (*Pleospora*) et des saprophytes (*Arnium* et *Cercophora*) disparaissent à l'exception d'un ou deux taxons par groupe d'écologie (Fig. 1). Dans le groupe des taxons coprophiles, seules les Sordariales et *Sporomiella* subsistent. Les NPP dont l'écologie est non confirmée sont peu présents et les éléments d'arthropodes, capsules d'œufs et hyphes ont disparu (Fig. 1).

2- Influx

La dynamique des NPP (Fig. 1) pourrait se résumer en une dynamique reflétée par la dynamique de la colonne des sommes de NPP par profondeur (S_NPP_Prof.). Entre 9500 et 8000 cal. BP, ainsi que de 5000 cal. BP jusqu'à nos jours, les valeurs sont très fortes (entre 7000 et 400 NPP.cm⁻².an⁻¹). En revanche, les valeurs observées entre 8000 et 5000 cal. BP ne dépassent pas 200 NPP.cm⁻².an⁻¹.

DISCUSSION

1- Reproductibilité de la méthodologie utilisée

La combinaison de nos données avec celles de [Bombeau & Musco de Caires \(2021\)](#) permet une analyse du site du Peschio avec un pas d'échantillonnage temporel plus homogène. Toutefois, la méthode utilisée présente certaines limites. Bien que le protocole d'extraction soit le même, les deux études comprennent 5 expérimentateur.trice.s débutant.e.s. Cela pose le problème de la reproductibilité de la méthode. L'identification *a posteriori* avec des dessins ne permet pas de regarder à nouveau l'individu et ses caractéristiques. Cela est peu problématique pour les NPP communs, mais pose plus de problèmes pour les NPP observés de façon éparse.

2- Evolution des paléoenvironnement de la tourbière du Peschio depuis 10 000 ans

Une tourbière ouverte, de 9500 à 8000 cal. BP

Avant 8000 cal. BP, l'enregistrement des NPP est marqué par des taxons coprophiles (Fig. 2). Ils sont caractéristiques d'une forte abondance de matière fécale ([Aptroot & van Geel, 2006](#) ; [Cugny, 2011b](#)) qui, par le biais de l'azote et des nitrates, accélère l'eutrophisation de la tourbière ([van Geel et al., 1995](#)). La tourbière est également marquée par la présence d'algues comme *Botryococcus*, *Pediastrum* et *Spirogyra*, qui peuvent se développer en milieu eutrophe ([Haas, 1996](#)). Ces NPP indiquent la présence de mégafaune locale, car ils prolifèrent grâce à l'herbivorie et aux déjections animales ([Blackford & Innes, 2006](#)). En revanche, les NPP saprophytes et lignicoles, marqueurs de végétation herbacée ou ligneuse, sont peu représentés (Fig. 2). Leur absence s'expliquerait par la lente reconquête végétale suivant la période glaciaire ([Jalut & Turu i Michels, 2006](#)).

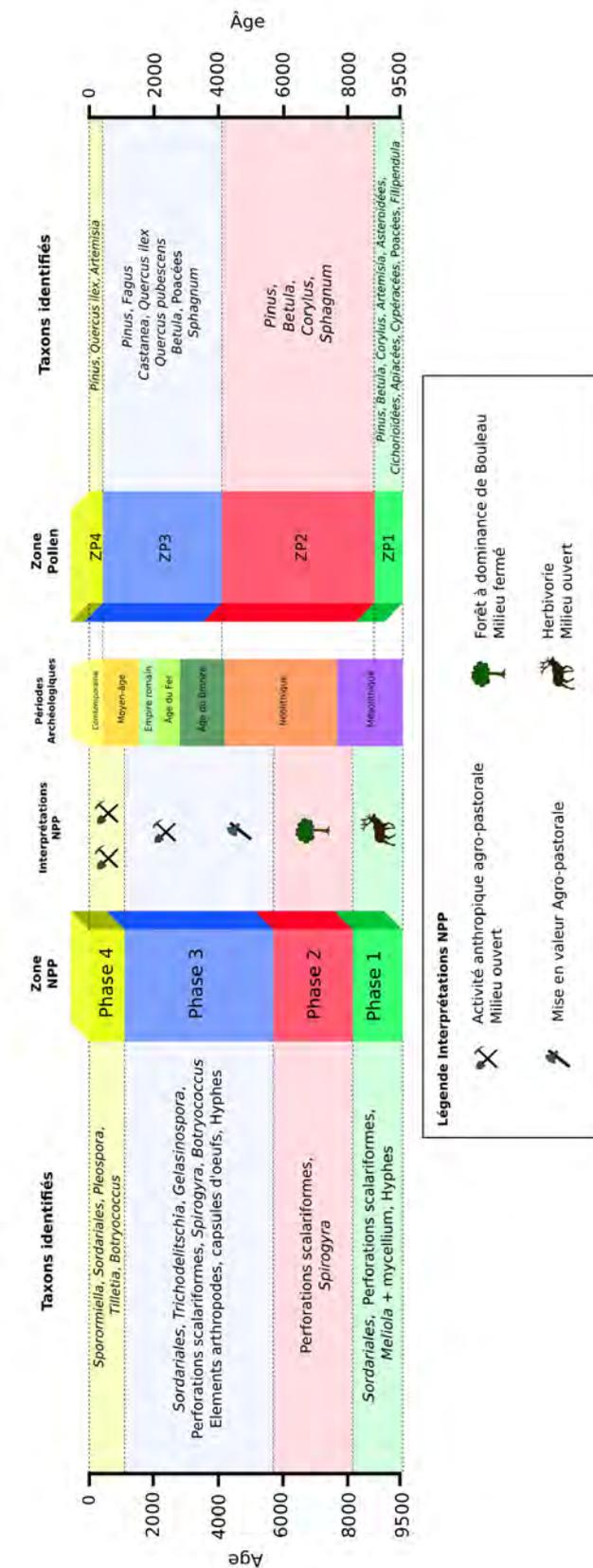


Figure 4. Dynamique végétale du Peschio reconstituée à partir des NPP et du pollen (Moroy et al., 2022), et interprétation basée sur l'analyse des NPP

Une tourbière boisée, de 8000 à 5500 cal. BP
A partir de 8000 cal. BP, le pourcentage des algues et des NPP coprophiles diminuent au profit des perforations scalariformes (Figs. 1 et 2), qui indiqueraient un milieu boisé avec la présence locale d'espèces ligneuses telles que *Alnus* et *Betula* (Barthelmes et al., 2012), mais pourraient également caractériser *Calluna vulgaris* ou *Erica tetralix*, des espèces de sous-arbrisseaux (Société royale de botanique de Belgique, 1866 ; Raynaud et al., 1990). La raréfaction des taxons coprophiles pourrait traduire une baisse de l'herbivorie (Blackford & Innes, 2006), en accord avec la réduction des herbacées et le développement d'un milieu boisé. Le boisement et la diminution de taxons eutrophes, tels que *Botryococcus* et TM-4009, seraient des marqueurs d'assèchement de la tourbe, ce qui est également observé sur l'Aubrac à la même période (Gandouin et al., 2016).

Le faible taux d'accumulation contemporain (Hemelsdaël & Tourniaire, 2022) entraîne une perte d'information et corrobore l'hypothèse d'un assèchement de la tourbière (Cugny et al., 2010).

Ouverture du milieu et indices d'anthropisation, de 5500 à 600 cal. BP

Entre 5500 et 600 cal. BP, le pourcentage des perforations scalariformes diminue. Les taxons coprophiles se diversifient (Fig. 1), ce qui pourrait traduire une augmentation de l'abondance de mégafaune (Cugny et al., 2010). *Meliola* est un parasite de plante, notamment connu sur *Calluna vulgaris* (van Geel, 1978). Ses occurrences indiqueraient la présence de ce chaméphyte, qui est un marqueur d'activité pastorale (Dendievel et al., 2019b), confirmant ainsi l'augmentation des activités pastorales déjà mise en évidence dans la région (Servera Vives, 2014).

Coniochaeta, *Chaetomium* et *Gelasinospora*, qui se développent sur la matière organique brûlée (Van Geel et al., 1989 ; López Sáez et al., 1998 ; van Geel & Aptroot, 2006), apparaissent vers 5000 cal. BP (Fig. 1). Leur enregistrement corrobore les résultats de Biz et al. (2022) et confirme l'accroissement du

régime de feu. Cette période serait ainsi marquée par une ouverture de la tourbière.

Une tourbière humide façonnée par le pastoralisme, de 600 cal. BP à nos jours
Botryococcus et de HdV-729 traduisent des conditions eutrophes et fortement humides (van Geel et al., 1983). HdV-18 serait de plus associé à des macrorestes d'*Eriophorum vaginatum* (van Geel, 1978). Ces taxons indiqueraient une tourbière ouverte fortement humide voire aquatique.

La diversité des taxons coprophiles diminue sur cette période (Figs. 1 et 2). Le pastoralisme, indiqué par les taxons coprophiles (Cugny, 2011b ; Bombeau & Musco de Caires, 2021), serait toujours présent malgré la baisse de diversité. L'observation de tous ces taxons traduirait le maintien d'une tourbière ouverte fortement humide depuis le début du Petit Âge Glaciaire (Lécuyer et al., 2021).

3- Comparaison entre les enregistrements polliniques et les NPP

Les données polliniques révèlent, de 9500 à 8700 cal. BP, la présence locale de *Filipendula* (mégaphorbiaie), *Pinus* (pinède) et de Poaceae (moliniaie, nardaie) (Moroy et al., 2022). Cette période serait marquée par le début du recul des lacs du Tardiglaciaire. L'analyse du pollen entre 8700 à 4000 cal. BP suggère que la tourbière est occupée par *Betula*, et entourée de formations arborées formées de pin (*Pinus*) et de noisetier (*Corylus*). La diminution des concentrations de *Filipendula* et des Poaceae (Fig. 4) marque la fermeture du milieu. De 4000 à 160 cal. BP, du pollen arboréen (*Betula*, *Fagus*, *Pinus*, *Quercus ilex*-type et *Quercus pubescens*-type) est identifié à différentes proportions en fonction de la profondeur (Fig. 4). *Sphagnum*, un marqueur d'humidité, est identifié mais reste peu abondant contrairement aux Poaceae qui sont fortement présentes, permettant de supposer la présence de zones déboisées autour de la tourbière. Ces enregistrements polliniques proviennent de zones plus ou moins lointaines de la tourbière,

ils ne sont donc pas des indicateurs exclusivement locaux. Les données polliniques des derniers 160 ans enregistrent la présence de *Pinus*, qui indique probablement le reboisement de la fin du 19^e siècle.

L'interprétation des données NPP de la période entre 8500 et 5500 cal. BP corrobore l'étude du pollen. Les perforations scalariformes traduisent la présence locale d'espèces ligneuses comme *Betula* et/ou *Alnus*, qui seraient dominants sur la tourbière entre 8500 et 5500 cal. BP. Entre 5500 et 600 cal. BP, la diminution du pourcentage des perforations scalariformes, accompagné de la présence de NPP indicateurs de brûlage, suggèrent une ouverture de la tourbière, associée avec une humidification. Les délimitations des périodes entre les deux études ne sont cependant pas exactement les mêmes. La période entre 8500 et 4000 cal. BP, dans l'étude palynologique, est plus longue que celle sur les NPP (8500 et 5500 cal. BP). Cela est peut-être dû au fait que l'étude des NPP est plus locale que l'étude palynologique.

CONCLUSION

L'étude des palynomorphes non polliniques de la tourbière du Peschio a permis de mettre en valeur l'intérêt de la reproductibilité des méthodes d'analyses des NPP mais également ses limites. Le travail réalisé a permis de reconstruire, en partie, les dynamiques locales. A la fin du Tardiglaciaire, le Peschio était un milieu ouvert, impacté par la mégafaune locale. Autour de 8000 cal. BP, l'herbivorie aurait diminué et le milieu se serait fermé et asséché, avec une abondance locale d'*Alnus/Betula*. Vers 5500 cal. BP, les indices d'activité anthropique tels qu'un déboisement, des incendies et des indices d'activité agro-pastorale, deviennent plus importants. Enfin, à partir de 600 cal. BP, la tourbière boisée plutôt sèche évolue vers une tourbière ouverte humide. Ces interprétations sont supportées par la comparaison avec l'étude palynologique de la tourbière du Peschio (Moroy et al., 2022). Ce travail s'inscrit dans la continuité des études

paléoenvironnementales réalisées sur le Mont Lozère, et confirme, grâce à l'étude des NPP, les hypothèses d'anthropisation déjà bien établies.

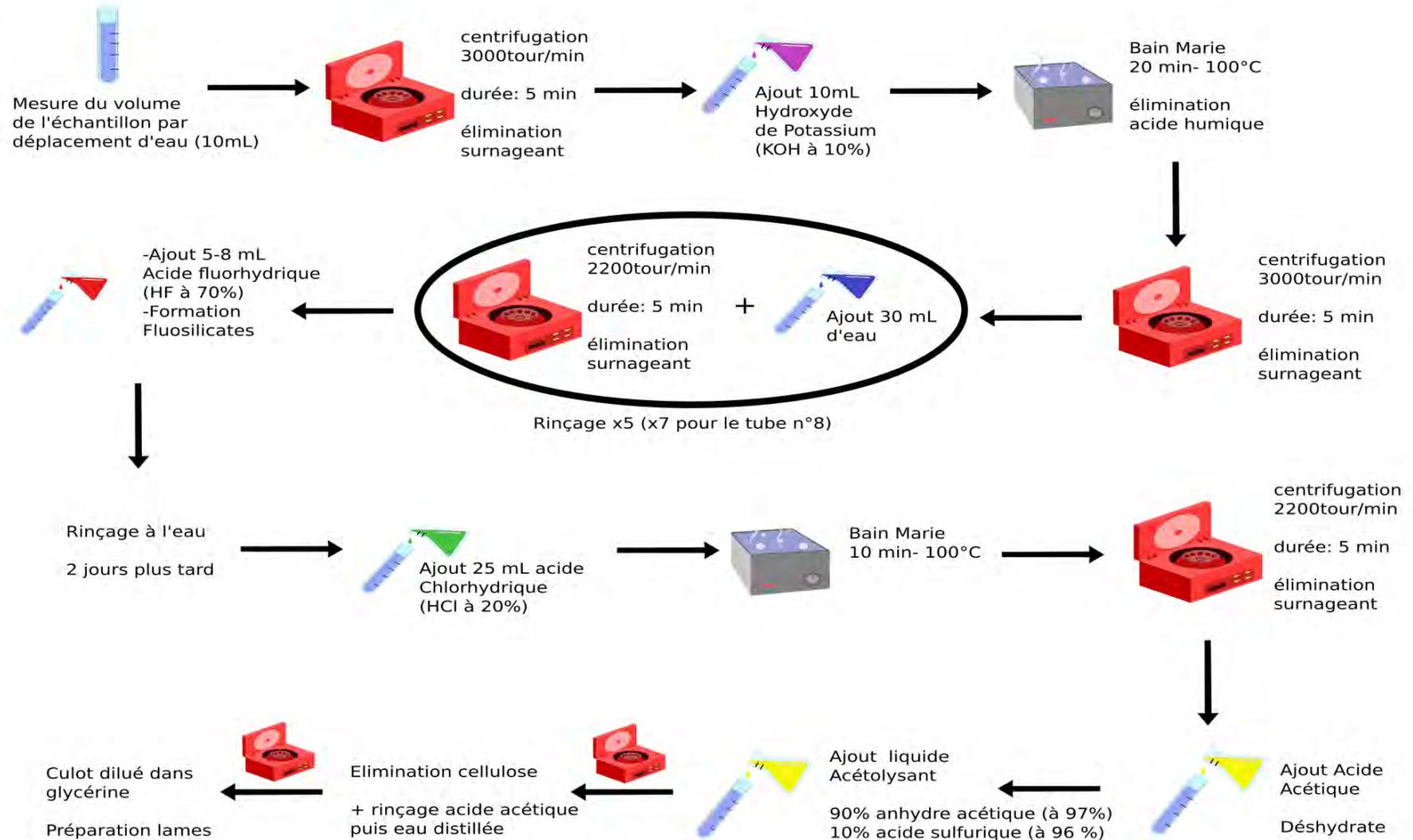
REFERENCES

- Aptroot A. & van Geel B. (2006). Fungi of the colon of the Yukagir Mammoth and from stratigraphically related permafrost samples. *Review Palaeobotany and Palynology*, 141 (1-2) : 225-230.
- Argant J., López Sáez J.-A. & Bintz P. (2006). Exploring the ancient occupation of a high altitude site (Lake Lauzon, France) : Comparison between pollen and non-pollen palynomorphs. *Review Palaeobotany and Palynology*, 141 : 151-163.
- Barthelmes A., Klerk P., Pragera A., Theuerkauf M., Unterseher M. & Joosten H. (2012). Expanding NPP analysis to eutrophic and forested sites : Significance of NPP in a Holocene wood peat section (NE Germany). *Review of Paleobotany and Palynology*, 186 : 22-37.
- Biz S., Dimanche L. & Fix M. (2022). Dynamique des feux sur le Mont Lozère : étude comparative des tourbières du Peschio et des Nassettes. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 71-87.
- Behre K.-E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23 (23) : 225-245.
- Berglund B.-E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen Analysis and Pollen Diagrams. In : B.-E. Berglund (éds.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley and Sons Press, Chichester, 455-484 p.
- Blackford J. & Innes J. (2006). Linking current environments and processes to fungal spore assemblages : Surface NPM data from woodland environments. *Review Palaeobotany and Palynology*, 141 (1-2) : 179-187.
- Blackford J.J., Innes J.B., Hatton J. & Caseldine C. (2006). Mid-Holocene environmental change at Black Ridge Brook, Dartmoor, SW England : A new appraisal based on fungal spore analysis.

- Review Palaeobotany and Palynology*, 141 (1-2) : 189-201.
- Bombeau A. & Musco de Caires C. (2021). Palynomorphes non-polliniques holocènes et modernes de la tourbière du Peschio (Lozère, France) : utilisation des spores coprophiles, saprophytes et des microalgues pour reconstruire les paléoenvironnements et le pastoralisme. *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 93-108.
- Cugny C., Mazier F. & Galop D. (2010). Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France) : the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19 : 391-408.
- Cugny C. (2011b). *Apports des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord Pyrénéen : entre référentiels actuels et reconstitution du passé*. Géographie. Thèse de Doctorat, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 285 p.
- Carris L.M., Castlebury L. & Goates B. (2006). Nonsystemic bunt fungi--*Tilletia indica* and *T. horrida* : A review of history, systematics, and biology. *Annual Review of Phytopathologie*, 44 : 113-33.
- 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) : 37-55.
- Cognard-Plancq A.L., Bogner C., Marc V., Lavabre J., Martin C. & Didon-Lescot J.F. (2004). Etude du rôle hydrologique d'une tourbière de montagne : modélisation comparée de couples "averse-crue" sur deux bassins versants du Mont-Lozère. *Etudes de Géographie Physique*, 31 : 3-15.
- Dendievel A.M., Dietre B., Cubizolle H., Hajdas I., Kofler W., Oberlin C. & Haas J. (2019). Holocene paleoecological changes and agro-pastoral impact on the La Narce du Béage mire (Massif Central, France). *The Holocene*, 29 (6) : 992-1010.
- D'Oliveira L. & Zitouni A. (2021). Dynamique d'accumulation de tourbe dans le sud du Massif Central : focus sur la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 21-36.
- Gandouin E., Rioual P., Pailles C., Brooks S.J., Ponel P., Guiter F., Djamali M., Andrieu-Ponel V., Birks H.J.B., Leydet M., Belkacem D., Haas J.N., Van der Putten N. & de Beaulieu J.-L. (2016). Environmental and climate reconstruction of the late-glacial-Holocene transition from a lake sediment sequence in Aubrac, French Massif Central : Chironomid and diatom evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 461 : 292-309.
- Haas J N. (1996). *Neorhabdocoela* oocytes - palaeoecological indicators found in pollen preparations from Holocene freshwater lake sediments. *Review Palaeobotany and Palynology*, 91 (461) : 292-309.
- Hemelsdaël A. & Tourniaire C. (2022). La tourbière des Grandes Nasses (Mont Lozère) : âge de la tourbière et sédimentologie. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 21-37.
- Jalut G. & Turu i Michels V. (2006). La végétation des Pyrénées françaises lors du dernier épisode glaciaire et durant la transition Glaciaire-Interglaciaire (Last Termination). In : J.M. Fullola, N. Valdeyron & M. Langlais (éds.), *Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglacial. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental*. Institut d'Estudis Ceretans, Puigcerdà, pp. 129-150.
- Juggins S. (2020). Rioja : Analysis of Quaternary Science Data. R package version 0.9-26.
- Lécuyer C., Goedert J., Klee J., Clauzel T., Richardin P., Fourel F., Delgado-Darias T., Alberto-Barroso V., Velasco-Vázquez J., Betancort J.-F., Amiot R., Maréchal C. & Flandrois J.-P. (2021). Climatic change and diet of the pre-Hispanic population of Gran Canaria (Canary Archipelago, Spain) during the Medieval Warm Period and Little Ice Age. *Journal of Archaeological Science*, 128 (3) : 105-336.
- López-Sáez J.-A., van Geel B., Farbos-Textier S. & Diot M.-F. (1998). Remarques

- paléoécologiques à propos de quelques palynomorphes non-polliniques provenant de sédiments quaternaires en France. *Review Palaeobotany and Palynology*, 17 (2) : 445-459.
- Mathez J. & Molina J. (2011). Les étages de végétation dans les ZNIEFF du Languedoc-Roussillon. *BIOM*, 1 (1) : 6.
- Moroy N., Mousnier A. & Passelergue M. (2022). Dynamiques postglaciaires de végétation à l'échelle locale et régionale sur le Mont Lozère. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 51-70.
- Muller S.D. (2002). Influence de la végétation sur l'accumulation de la tourbe au Québec méridional. *Comptes Rendus Biologies*, 325 (5) : 629-40.
- 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 Paul Cézanne, Aix Marseille, 308 p.
- R Core Team (2021). R : A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raynaud C., Brien-Poitevin F., Chabal L., Columeau P., Diot M.F., Manniez Y., Ruas M.P. & Durand A. (1990). *Le village gallo-romain et médiéval de Lunel-Viel (Hérault) : la fouille du quartier ouest (1981-1983)*. Les Belles Lettres, Paris, 353 p.
- 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, Université de Barcelone. 314 p.
- Société royale de botanique de Belgique (1866). *Bulletin de la société royale de botanique de Belgique vol.5-6*. La Société, Bruxelles, 175 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 Palaeobotany and Palynology*, 25 : 1-120.
- Van Geel B., Bos J.M. & Pals J.P. (1983). Archaeological and palaeoecological aspects of a medieval house terp in a reclaimed raised bog area in north Holland. *Ber Rijksd Oudheidk Bodemonderz*, 33 : 419-444.
- Van Geel B., Bregman R., Van Der Molen P.C., Dupont L.M. & Van Driel-Murray C. (1989). Holocene raised bog deposits in the Netherlands as geochemical archives of prehistoric aerosols. *Acta Botanica Neerlandica*, 38 (4) : 467-476.
- Van Geel B., Pals J., Reenen G. & Huissteden J. (1995). The indicator value of fossil fungal remains, illustrated by the palaeoecological record of a Late Eemian/Early Weichselian deposit in the Netherlands. In: G.F.W. Hemgreen and L. van der Valk (éds), *Neogene and Quaternary geology of NorthWest Europe*. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 52 : 297-315.
- Van Geel B. & Aptroot A. (2006). Fossil Ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia*, 82 (3-4) : 313-329.

ANNEXE 1. Protocole d'extraction des microfossiles (d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczova, 1986)



ANNEXE 2. Code et écologie des taxons identifiés (BMC : Bombeau & Musco de Caires, 2021)

Code	Nom	Ecologie
CNPP33-BNPP35-53		Coprophile, hêtraies
BMC	Sordariales	Coprophile
Hdv-7a	<i>Chaetomium</i>	Coprophile
TM-523	<i>Scleroderma</i>	Coprophile
TM-4108	Amérospore autre	Coprophile, rare à l'état fossile
Hdv-546	<i>Trichodelistchia</i>	Coprophile
TM_224	Sordariales	Coprophile
TM-4098B	Phragmospores	Coprophile
BNPP21-8-10-CNPP50-51-LNPP 36	Phragmospores	Coprophile, présent sur feuille, arbre, bouse, herbacées
TM-16A	Phragmoascospores	Coprophile
TM-4086	Phragmoascospores	Coprophile
HdV-77	<i>Geoglossum</i>	Coprophile
BNPP20, HdV-113	<i>Sporormiella</i>	Coprophile d'herbivores
HdV-16	<i>Bysothecium</i>	Coprophile
BMC	<i>Sordaria</i>	Coprophile
Hdv-1	<i>Gelasinospora</i>	Coprophile/Saprophyte
BNPP60-BNPP2	<i>Cercophora</i> -type	Coprophile/Saprophyte
Tm_392	<i>Arnium</i>	Coprophile/Saprophyte
HdV-55C	<i>Neurospora</i>	Coprophile/Saprophyte
TM-111	Amérospores	Coprophile/Saprophyte
TM330	Amérospores	Coprophile/Saprophyte
TM-023D	<i>Delitchia</i>	Coprophile/Saprophyte
TM-342	Lasiophaeriaceae	Saprophyte
BMC	<i>Amphisphaerella</i>	Saprophyte
BMC	<i>Kretzschmaria</i>	Saprophyte
TM-4121	<i>Arthrimum</i>	Saprophyte
TM-4070		Saprophyte
BMC	<i>Triposporium</i>	Saprophyte
BNPP61	Dictyoconidies	Saprophyte
TM_4014	Didymoconidies	Saprophyte
TM_037C1	Phragmospore	Saprophyte
HdV-201	<i>Xylomyces</i>	Saprophyte
BNPP3-CNPP19 et 38	Perforation scalariforme <i>Alnus/Betula</i>	Aulnaie-Bétulaie
BMC	<i>Caryospora</i>	Lignicole
BMC	<i>Pleospora_3B</i>	Lignicole
TM-4102		Lignicole
TM-4103	<i>Hermatomyces</i>	Lignicole
TM_329		Lignicole
BMC	<i>Curvularia</i>	Lignicole
Hdv-27	<i>Tilletia</i>	parasite de plante
HdV-263	<i>Valsaria</i>	parasite de plante
Hdv-14A	Phragmoascospores autre	parasite de plante
HdV-14	<i>Meliola</i>	parasite de plante
BMC	<i>Mycelium_meliola</i>	parasite de plante

BNPP27-CNPP94		milieu humide
BNPP44	<i>Enthoriza</i>	milieu humide
TM_4009		milieu humide
BNPP56		milieu humide
BMC	<i>Didymosphaeria</i>	milieu humide
TM-4091	Didymoascospore	milieu humide
HdV-729		milieu humide
HdV-181	Microreste hyalin	milieu humide
BNPP19-CNPP14-39	<i>Spirogyra</i>	milieu humide
TM-517	Spores alguales et supposées	milieu humide
BNPP4	<i>Pseudoshizaea</i>	milieu humide
Hdv-74	Spore d'algue	milieu humide
BMC	<i>Zygnema</i>	milieu humide
BMC	<i>Botryococcus</i>	milieu humide
BMC	<i>Pediastrum</i>	milieu humide
BMC	<i>Spirogyra</i>	milieu humide
BMC	<i>Zygnema</i>	milieu humide
BMC	<i>Chloromonas</i>	milieu humide
TM_518		écologie incertaine
CNPP32		écologie incertaine
CNPP98		écologie incertaine
CNPP36		écologie incertaine
HdV-501		écologie incertaine
CNPP96		écologie incertaine
BNPP54		écologie incertaine
TM-382		écologie incertaine
BMC	<i>Diporetheca</i>	écologie incertaine
BNPP17-CNPP48		écologie incertaine
TM-385		écologie incertaine
TM_249	MNP hyalin	écologie incertaine
TM_382		écologie incertaine
TM_370		écologie incertaine
HdV-207		écologie incertaine
TM-334		écologie incertaine
CNPP71-BNPP50		écologie incertaine
CNPP52		écologie incertaine
CNPP62		écologie incertaine
HdV-18 ?	Didymospores	écologie incertaine
TM_503	Dictyoconidie	écologie incertaine
CNPP37		écologie incertaine
BNPP47		écologie incertaine
BNPP40-51-CNPP18		écologie incertaine
HdV_3A		écologie incertaine
CNPP56		écologie incertaine
HdV-729		écologie incertaine
BNPP49		écologie incertaine
CNPP22		écologie incertaine
BNPP57		écologie incertaine
TM_4110		écologie incertaine
TM_4126		écologie incertaine

CNPP66		écologie incertaine
CNPP55		écologie incertaine
CNPP43		écologie incertaine
HdV-184		écologie incertaine
TM-318		écologie incertaine
BNPP34		écologie incertaine
TM-372		écologie incertaine
BNPP52	Reste hyalin	écologie incertaine
TM_520		écologie incertaine
BNPP29-CNPP24-LNPP21	Hyphes	écologie incertaine
TM-4063		écologie incertaine
BNPP15-16-CNPP58- LNPP25		écologie incertaine
Hdv-1		écologie incertaine
CNPP72		écologie incertaine
CNPP27		écologie incertaine
CNPP65		écologie incertaine
HdV-729		écologie incertaine
BNPP30		écologie incertaine
TM-337		écologie incertaine
HdV_496		écologie incertaine
BNPP13-14-43-CNPP61-35- 60-49-31 LNPP16	Poils	écologie incertaine
BNPP37-CNPP28	Copopoda	écologie incertaine
BMC	Antenne	écologie incertaine
BMC	Patte	écologie incertaine
BMC	Chironomides	écologie incertaine
BMC	Capsule d'oeuf	écologie incertaine
BMC	Œuf	écologie incertaine
BMC	Agglomeration	écologie incertaine
BMC	<i>Fruit_body</i>	écologie incertaine
