

Orpalm

Synthesis

2020
No 13 (1)



Mont Lozère (1)



ORPAM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléoécologie
n°13 (1) - Année 2020

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

Editeurs associés
Laurent BRÉMOND^{1,3}
Benoît BROSSIER^{1,4}

¹ISEM,
²UM2, ³EPHE, ⁴CNRS

Auteurs
Candice BERT, Colline BONNET,
Fiona CORNET, Elena FILAITI,
Flora GARCIA, Laurent PLUME,
Maxime TOURNIER, Adrien WALES

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
2^e trimestre 2020
Université de Montpellier

ORPAM 2019-2020 : Le Mont Lozère, sur les pas de Robert Louis Stevenson et de Maurice Reille

« Les monts de Lozère se développent quasiment à l'est et à l'ouest coupant le Gévaudan en deux parties inégales. Son point le plus culminant, ce pic de Finiels sur lequel j'étais debout, dépasse de cinq mille six cents pieds le niveau des eaux de la mer, et, par temps clair, commande une vue sur tout le bas Languedoc jusqu'à la Méditerranée. J'ai parlé à des gens qui, ou prétendaient ou croyaient avoir aperçu, du Pic de Finiels, de blanches voiles appareillant vers Montpellier et Cette. Derrière s'étendait la région septentrionale des hauts-plateaux que ma route m'avait fait traverser, peuplés par une race triste et sans bois, sans beaucoup de noblesse dans les contours des monts, simplement célèbres dans le passé par de petits loups féroces. Mais, devant moi, à demi voilé par une brume ensoleillée, s'étalait un nouveau Gévaudan, plantureux, pittoresque, illustré par des événements pathétiques. Pour m'exprimer d'une façon plus compréhensive, j'étais dans les Cévennes au Monastier et au cours de tout mon voyage, mais il y a un sens strict et local de cette appellation auquel seulement cette région hérissée et âpre à mes pieds a quelque droit et les paysans emploient le terme dans ce sens-là. Ce sont les Cévennes par excellence : les Cévennes des Cévennes ».

R. L. Stevenson, *Voyage avec un âne dans les Cévennes* (juin 1879)

En passant par le Finiels (1699 m d'altitude – point culminant du massif des Cévennes) pour rejoindre Le Pont-de-Montvert, Stevenson a dû traverser, ou plutôt contourner, des Nasses (ou Narces, dérivant de l'Occitan) plus ou moins grandes. Ce toponyme occitan extrêmement répandu depuis la Basse Auvergne jusque dans les Cévennes (non caussenardes), dérive du mot *Narso* qui signifie un lieu bas, une dépression humide et/ou marécageuse¹. Ces zones humides plus ou moins étendues (Grandes Nasses ou, au contraire Nassettes) inventoriées par le Parc National des Cévennes², hébergent une diversité biologique riche et rare à la fois.

Cent-quarante ans après Stevenson, les étudiants du Master 1 Chrono-environnements et paléoécologie de la promotion 2019-2020, ont eu la chance et l'honneur de se rendre sur le site des Nassettes du 4 au 6 septembre 2019. Cette petite nasse est une tourbière située à une altitude de 1320 m environ, à l'ouest des Sagnes et du Peschio (« *Sagne* » est encore un toponyme, cette fois-ci

¹ Dautzat, A. (1952). Un toponyme occitan peu connu : Narso. *Revue internationale d'onomastique*, 4 (4) : 241-244.

² <http://reseau-cen-doc.org/dyn/portal/index.seam?page=alo&aloId=15705>

beaucoup commun puisqu'on le retrouve dans presque toute la France, indiquant la présence d'une zone humide et souvent marécageuse). L'étude réalisée par les étudiants emboîte également les pas d'un éminent palynologue aujourd'hui à la retraite, Maurice Reille, qui a fait sa carrière au Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie de Marseille et qui a produit en 1988 une étude pollen-analytique de la tourbière des Nassettes³.

« *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'ORPAL 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) au Parc National des Cévennes de nous avoir permis de travailler sur la tourbière des Nassettes ; (4) à Laure Paradis et Sarah Ivorra (ingénieures d'étude CNRS) dont le soutien nous est, comme chaque année, fondamental ; (5) à Emeric Sulmont (mention très spéciale !) qui nous a fait l'amitié et l'honneur de rejoindre l'équipe sur le terrain. Ses connaissances naturalistes, écologiques et historiques nous ont été (encore une fois après la vallée du Galeizon⁴) extrêmement précieuses.

L'équipe pédagogique du stage était cette année constituée de : Mary Robles (doctorante, ancienne Orpamiennne), Laurent Bremond, Benoît Brossier, Vincent Girard et Jean-Frédéric Terral.

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



Le club ORPAMED à Barrandon-plage : les vacanciers de septembre 2019 sont enchantés. Vous reconnaitrez sans peine les G.O. à leur combi moulante rouge ou blanche, et le chef (de gare) à sa casquette.

³ 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.

⁴ Voir les nos 5 et 6 d'*Orpal-Synthesis* (2012-2013).

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 2019-2020

Monts Lozère (1)

Cornet F. & Wales A. : <i>Reconstitution des paléo-incendies du Mont Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours</i>	9
Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. : <i>Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire</i>	25
Bert C., Plume L. & Tournier M. : <i>Étude dendroclimatique de pins sylvestres (Pinus sylvestris) dans différents milieux du Mont Lozère (Cévennes, Gard)</i>	47



Après l'effort, le réconfort : ce cèpe de Bordeaux (Boletus edulis) a eu le malheur de rencontrer une horde d'orpamiens affamés et fungivores (photo : J.-F. Terral)

RECONSTITUTION DES PALEO-INCENDIES DU MONT LOZERE (CEVENNES, FRANCE) DU TARDIGLACIAIRE A NOS JOURS

Fiona Cornet ¹, Adrien Wales ²

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

¹ fiona.cornet@etu.umontpellier.fr, ² adrien.wales@etu.umontpellier.fr,

Encadrement : Laurent Bremond

Citation : 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.

Résumé : Les charbons sédimentaires sont des indicateurs écologiques et environnementaux très intéressants pour reconstruire l'histoire des paléo-incendies. Les mesures d'influx et le ratio largeur/longueur fournissent de précieuses informations quant à la récurrence des incendies, leur proximité ainsi que le type de combustible brûlé. L'analyse du dépôt de charbons d'une séquence sédimentaire tourbeuse prélevée dans la tourbière des Nassettes, confrontée aux reconstructions paléoenvironnementales publiées sur le Mont Lozère, contribue à reconstituer les incendies, pour la première fois depuis le Tardiglaciaire. Les résultats présentés révèlent l'impact des perturbations anthropiques, vecteur majeur des changements des végétations à l'Holocène.

Mots clés : charbon, tourbière, perturbations anthropiques, Mont Lozère, Tardiglaciaire

Abstract: *Paleo-fires reconstitutions of the Mont Lozère (Cévennes, France) from the Late Glacial Interstadial to the present day.* Sedimentary charcoals are really interesting as ecological and environmental indicators for reconstructing paleo-fire history. Influx measurements and the width/length ratio provide valuable information on the fire recurrences, their proximity and the type of fuel burned. Analysis of the charcoal deposit of a peat sedimentary sequence taken from the Nassettes peatland, confronted with paleoenvironmental reconstructions published on Mont Lozère area, contributes to reconstruct fires, for the first time from the Lateglacial. These results allow us to pinpoint anthropogenic disturbances as the main vector of vegetation changes during the Holocene.

Keywords: charcoal, peatland, anthropogenic disturbances, Mont Lozère, Lateglacial Interstadial

La “Révolution néolithique”, définie par Childe dans les années 1920 (Childe, 1936), a considérablement accéléré le processus de transformation des milieux, si bien que dans les régions de vieilles civilisations agraires telles que le Proche-Orient, la Chine centrale ou bien l'Europe Occidentale, les paysages

actuels n'ont plus rien de “naturel” (Cubizolle, 2009). Ils sont le produit d'une histoire plurimillénaire d'aménagement, de mise en valeur, et donc de modification de l'environnement principalement dû à l'Homme (Guilaine, 2000 ; Demoule, 2007). Les environnements montagnards n'échappent pas à ces pratiques anthropiques : depuis le

Néolithique, un grand nombre de ces paysages des Alpes, des Pyrénées et du Massif Central ont été façonnés par les conditions climatiques et la présence de l'Homme (Bal et al., 2015).

Au sud du Massif Central, une des pratiques bien étudiée sur le Mont Lozère, du fait de sa riche évidence archéologique est la métallurgie. En effet, environ 230 fours à charbons ont été relevés ainsi que 80 sites de fusion de minerai (Allée et al., 2010 ; Bailly-Maître, 2010 ; Ploquin et al., 2010). L'étude de la métallurgie a quelque peu fait de l'ombre à celle d'une autre pratique répandue de la région et ayant grandement contribué au modelage des paysages du Mont Lozère, l'agropastoralisme dont le rôle, localement et régionalement est historiquement bien attesté, ce qui vaut à cette région d'être inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO tel un « héritage du paysage pastoral » (Servera Vives et al., 2014).

Durant le Néolithique, les paysages du Mont Lozère semblent être dominés par des grandes étendues forestières (Reille, 1988). Pour s'implanter dans cette région, l'Homme a ainsi dû agencer le milieu en réduisant le territoire forestier. Pour ce faire, le feu, en agissant comme un puissant facteur abiotique (Moritz et al., 2012), a été utilisé par l'Homme et a façonné à la fois la distribution et la structure du biome. Ainsi, une manière de quantifier les répercussions des actions humaines, sur un site, au cours du temps, est d'étudier l'occurrence des incendies à travers le prisme des charbons résiduels des feux de végétation.

En effet, les travaux fondateurs de Clark (1988) stipulent que les particules de charbons sont de précieux outils pour « l'investigation » des paléo-incendies. L'étude de ces bioindicateurs apporte deux principales informations : (i) la quantité de biomasse brûlée (Marlon et al., 2006 ; Higuera et al., 2011) et (ii) l'occurrence des incendies (Gavin et al., 2006).

Le charbon est une matière ubiquiste qui résulte d'une combustion incomplète, principalement due à la pyrolyse (Goldberg, 1985 ; Orvis et al., 2005), lors de mécanismes

variés tels que les incendies (naturels et/ou anthropiques). D'autre part, leur résistance à la décomposition microbienne (Robin et al., 2018) concède au charbon, une grande capacité de conservation. Ses capacités à enregistrer fidèlement les fluctuations et la dynamique de la couverture végétale locale ainsi qu'à mesurer l'impact de l'Homme sur le paysage (agropastoralisme, métallurgie...) confère même au charbon d'être considéré comme la « boîte noire » de l'environnement passé (Durand & Terral, 2005). Dans ce dernier cas, encore faut-il qu'il soit d'une taille conséquente pour qu'il puisse être identifié par l'anthracologue et/ou que ses traits anatomiques (qualitatifs et quantitatifs) et sa composition en éléments minéraux puissent révéler des informations paléoécologiques (Bourquin-Mignot et al., 1999).

Depuis la fin de la dernière glaciation, les milieux tourbeux conservent les témoignages des différentes végétations. Les tourbières mettent ainsi en évidence les phases forestières successives et les modifications dues à l'Homme. En effet, à la suite d'un incendie puis apportés par le vent, le ruissellement ou encore les cours d'eau (Lynch et al., 2004 ; Peters & Higuera, 2007), les charbons se déposent sur la tourbière et restent enfouis dans la tourbe qui s'accumule. Ce sont donc des contextes à privilégier lors d'études paléoenvironnementales, qui permettent d'enrichir notre connaissance des civilisations passées (Manneville, 1999).

Les premières études palynologiques conduites sur les tourbières du Mont Lozère (Les Nassettes, Les Sagnes ou le Peschio) ont attesté de la présence d'activités agropastorales connu sous le nom de « landnam » (mot scandinave signifiant « prise de terre »), dans un premier temps sans conséquences sur le paysage forestier au cours du Néolithique (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu & Pons, 1979 ; Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006). Le développement de ces activités, du fait d'une agriculture sur brûlis et d'un fort déboisement, a eu par la suite des répercussions significatives sur le milieu (Reille, 1988).

La présente étude essaie ainsi de confronter l'occurrence des paléo-incendies et la présence de l'Homme pour comprendre les modifications des paysages du Mont Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours.

MATERIEL ET METHODES

1- Contexte géographique et écologique de la zone d'étude

Le Mont Lozère se situe dans les Cévennes (Sud de la France) au sud-est du Massif Central et à la limite nord des plaines du Languedoc (Fig. 1, haut). Il constitue un relief granitique qui s'étire sur 30 km, orienté Nord-Ouest - Sud-Est, de 900 m à 1700 m d'altitude (Bal et al., 2015).

Culminant à 1320 m d'altitude (Reille, 1990 ; Pulido Avila, 2006), la tourbière des Nassettes (Fig. 1) est soumise à un climat montagnard, caractérisé par une saisonnalité marquée comprenant des hivers longs et froids et des été chauds mais humides. Une des particularités de ce climat est d'avoir des précipitations régulières tout au long de l'année d'une moyenne de 1500 mm avec des pics de précipitations au printemps ainsi qu'à la fin de l'été. La température moyenne annuelle est d'environ 6,5°C (Santa Regina et al., 1999). La tourbière est située sur le flanc nord-ouest du Mont Lozère dans le parc National des Cévennes (Pulido Avila, 2006). Cette dépression est drainée dans sa pente méridionale (Pulido Avila, 2006) et fait temporairement office de prés pâturés. Elle est dominée par une végétation spécifique, riche en Bryophytes, en sphaignes (e.g. *Sphagnum capillifolium*, *Sphagnum fallax*), de butte à callune (*Calluna vulgaris*), de Cyperaceae (*Carex limosa*, *Eriophorum vaginatum*), de Poaceae (*Agrostis capillaris*) (Pulido Avila, 2006) ainsi que d'espèces protégées telles que la drosera (*Drosera rotundifolia*), ce qui leur confère un intérêt patrimonial de niveau international (Julve, 1994).

La tourbière est entourée d'une hêtraie-sapinière (*Fagus sylvatica* et *Abies alba*)

caractéristique du climat montagnard ainsi que d'une lande arbustive constituée, entre autres, du genévrier commun (*Juniperus communis*), de callune (*Calluna vulgaris*), du genêt purgatif ou cytise oroméditerranéen (*Cytisus oromediterraneus*) et d'un petit genêt épineux (*Genista anglica*). Outre la hêtraie-sapinière, la végétation actuelle est principalement dominée, dans sa strate arborée par le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) très présent aux abords de la tourbière, le pin à crochets (*Pinus uncinata*), et le pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) avec quelques occurrences de bouleau (*Betula verrucosa*) (Annexe 1).

Enfin, les prairies sur lesquelles paissent les troupeaux en période d'estive sont probablement issues des pratiques agraires dont les origines remonteraient au milieu du Néolithique-Chalcolithique (de Beaulieu & Gilot, 1972).

2- Méthodes

Relevés topographiques de la tourbière

Une succession de relevés de profondeur sur des transects Nord-Sud ont, dans un premier temps, été réalisés tous les 20 m, avec une tige en métal. Ces opérations ont permis de sonder l'ensemble de la tourbière et mettre en évidence la zone la plus profonde (i.e., probablement les dépôts les plus anciens) (Fig. 1, bas).

Prélèvements de séquences sédimentaires

Les sédiments ont été prélevés en septembre 2019, avec un carottier russe d'un mètre de long (Jowsey, 1966), dans la partie la plus profonde de la tourbière (Fig. 1, bas). Trois carottages en quinconce d'un mètre chacun ont donc été réalisés dans cette zone (Table 1) afin d'obtenir un échantillon complet de 239 cm de sédiment. Chaque carotte a ensuite été emballée dans du cellophane pour conserver l'humidité, transportée soigneusement dans des gouttières en PVC puis placée dans un réfrigérateur dès notre retour au laboratoire afin d'éviter toute dégradations des restes organiques fossiles.

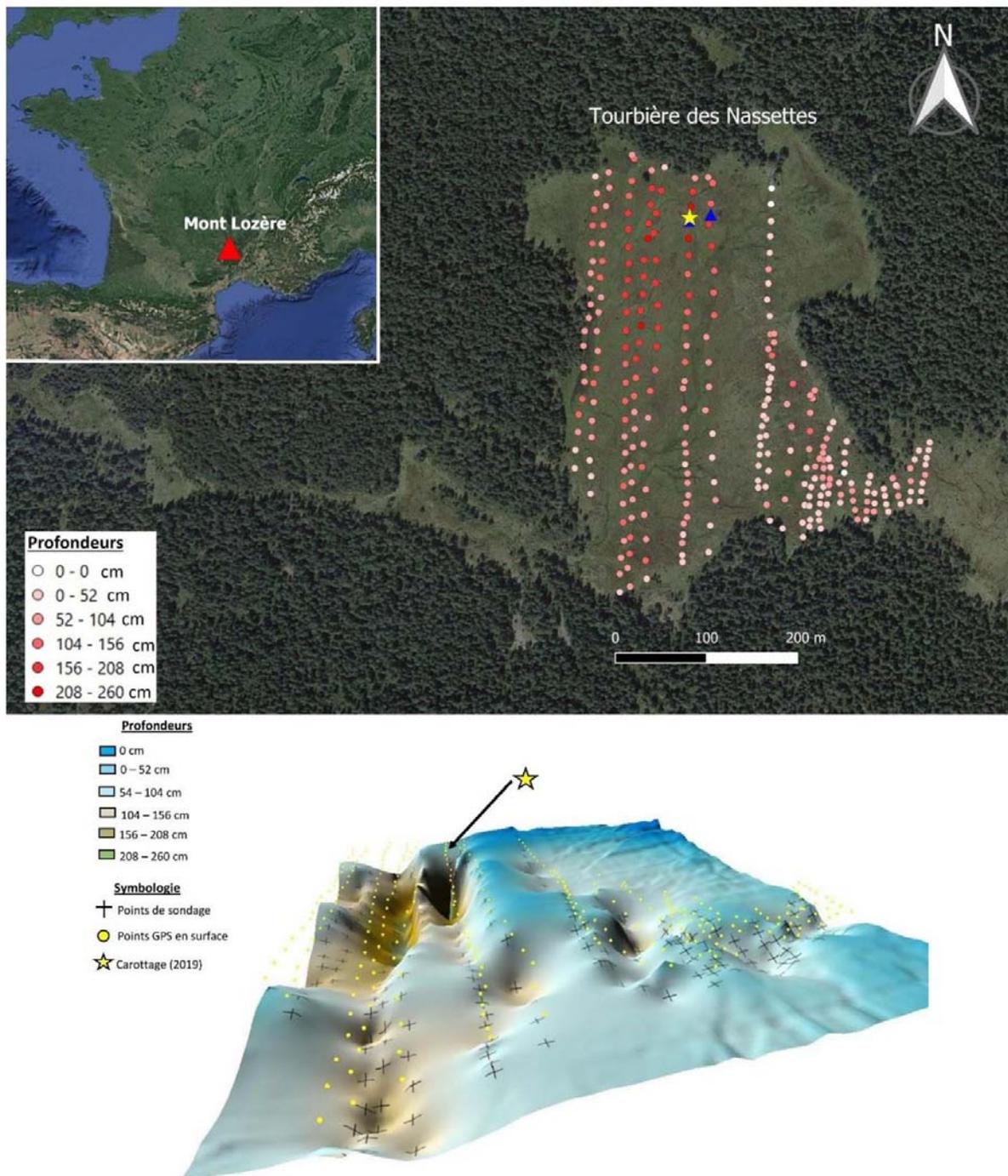


Figure 1. Haut : localisation du Mont Lozère (triangle rouge), du site d'échantillonnage (tourbière des Nassettes). Bas : topographie basale de la tourbière des Nassettes, amplifiée d'un facteur 10. Les points de profondeur sont représentés avec un gradient de couleur. Les points de carottages sont représentés par un triangle (2018 ; *Serrano Anazco & Chaigneau, 2018*) et une étoile (2019).

Table 1. Datation de la base de la carotte prélevée aux Nassettes

N° échantillon	Prof. (cm)	Age BP	Age cal. BP	Latitude	Longitude
Poz-117080	204	11550 ± 60	13265-13489	44,46985904	3,624358987

Réalisation du modèle d'âge de la carotte

L'unique datation radiocarbone (^{14}C) a été réalisée sur 1 cm^3 de matière organique à la base des sédiments de la tourbière (échantillon prélevé 2 mois avant cette étude). Par ailleurs, trois dates calibrées, sur la base de l'expansion pollinique de *Fagus* et *Corylus*, nous ont été fournies par [Bonnet et al. \(2020\)](#). L'étalonnage des dates radiocarbone est réalisé à l'aide de *Rstudio* avec le package Clam© ([Blaauw, 2010](#)) en utilisant la méthode « smooth » (lissage de 0,29 degrés). Les dates générées sont en années étalonnées (cal. BP). Enfin, nous avons recensé les datations précédemment réalisées sur les tourbières du Mont Lozère. Ces données nous ont ensuite servi à bâtir des modèles d'âge propres à chaque tourbière. Ces derniers ont été confrontés à celui établi pour Les Nassettes afin de détecter une potentielle tendance régionale de sédimentation (Annexe 2). Ce modèle a également été discuté sur la base du taux d'accumulation sédimentaire (TAS) de la tourbière, confronté aux concentrations polliniques (CP) générées par [Bonnet et al. \(2020\)](#).

Extraction et analyse des charbons sédimentaires

Les carottes NAS#2019-09-A1, NAS#2019-09-A2 et NAS#2019-09-B1 ont fait l'objet de prélèvement continu, tous les 1 cm, d'un volume constant de 1 cm^3 avec un emporte-pièce circulaire. Les 204 échantillons ont ensuite été plongés individuellement dans une solution composée d'hydroxyde de potassium (KOH), de métaphosphate (NaPO_3) et de javel permettant de dissoudre la matière organique. Ces solutions ont ensuite été filtrées à travers un maillage de $160\ \mu\text{m}$ pour ne recueillir que les macro-charbons ([Carcaillet et al., 2001a](#)) afin d'enregistrer essentiellement le signal produit par les incendies locaux (i.e. rayon de 10 km autour de la zone d'étude) ([Lynch et al., 2004](#) ; [Higuera et al., 2007](#)).

La quantification et les mesures des charbons ont été réalisées par les deux opérateurs sous microscope équipé d'une caméra connectée au logiciel d'analyse d'images : *Winseedle PRO 2016*. Ce logiciel permet de compter

visuellement les charbons qui se distinguent des autres matières du tamis, par leur géométrie et leur contraste de couleur. Il mesure également les dimensions (longueur, largeur) et la surface de chaque particule sélectionnée.

Par la suite, le rapport largeur/longueur (l/L) nous a permis de déterminer le type de particules carbonisées. Un rapport $l/L > 0,5$ révèle des charbons de type ligneux, tandis que $l/L < 0,5$ est plutôt associé aux charbons de type herbacé ([Aleman et al. 2013](#)). L'ensemble de ces résultats ont été traités à l'aide de *Rstudio*.

RESULTATS

1- Datations et modèle d'âge de la carotte

La partie basale de notre carotte située à 204 cm de profondeur minimum mais qui pouvait varier jusqu'à atteindre 239-240 cm au gré des fluctuations de la nappe d'eau au niveau de l'acrotelme, est datée à 11550 ± 60 BP (Poz-117080) soit 13265-13489 cal. BP.

Le modèle d'âge tenant compte de la date présentée précédemment et des inférences d'âges calibrés obtenues sur la base de données palynologiques ([Bonnet et al., 2020](#)) couvre une période de 13265-13489 cal. BP à l'actuel (-65 cal. BP) ([Fig. 2](#)).

Lorsque l'on compare ce modèle d'âge à ceux des tourbières régionales, il semble suivre la tendance de sédimentation régionale caractérisée par une faible pente pour les plus anciennes dates, qui tend à augmenter très fortement pour les premiers centimètres de tourbes (i.e. les dates les plus récentes). À l'image des tourbières de la région, la courbe du modèle d'âge ainsi que le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) ($0,15\text{ cm.an}^{-1}$) sont constants entre 2000 et 13489 cal. BP. Ainsi, 50 cm de tourbe entre 100 et 150 cm de profondeur, conservent plus de 4000 ans d'histoire. Les 50 premiers centimètres de tourbe conservent, quant à eux, relativement peu d'histoire (ici plus de 1500 ans). Ces résultats concordent avec l'important taux d'accumulation sédimentaire

(TAS), autour de $0,3 \text{ cm.an}^{-1}$, mesuré à cette profondeur (Fig. 3).

La Figure 3 expose les tendances antagonistes du TAS et de la CP au cours du temps. Le TAS diminue de façon constante en fonction

de la profondeur de la carotte (donc du temps) contrairement à la CP qui présente une forte variation en oscillant entre 20000 et 130000 grains de pollen. cm^{-3} .

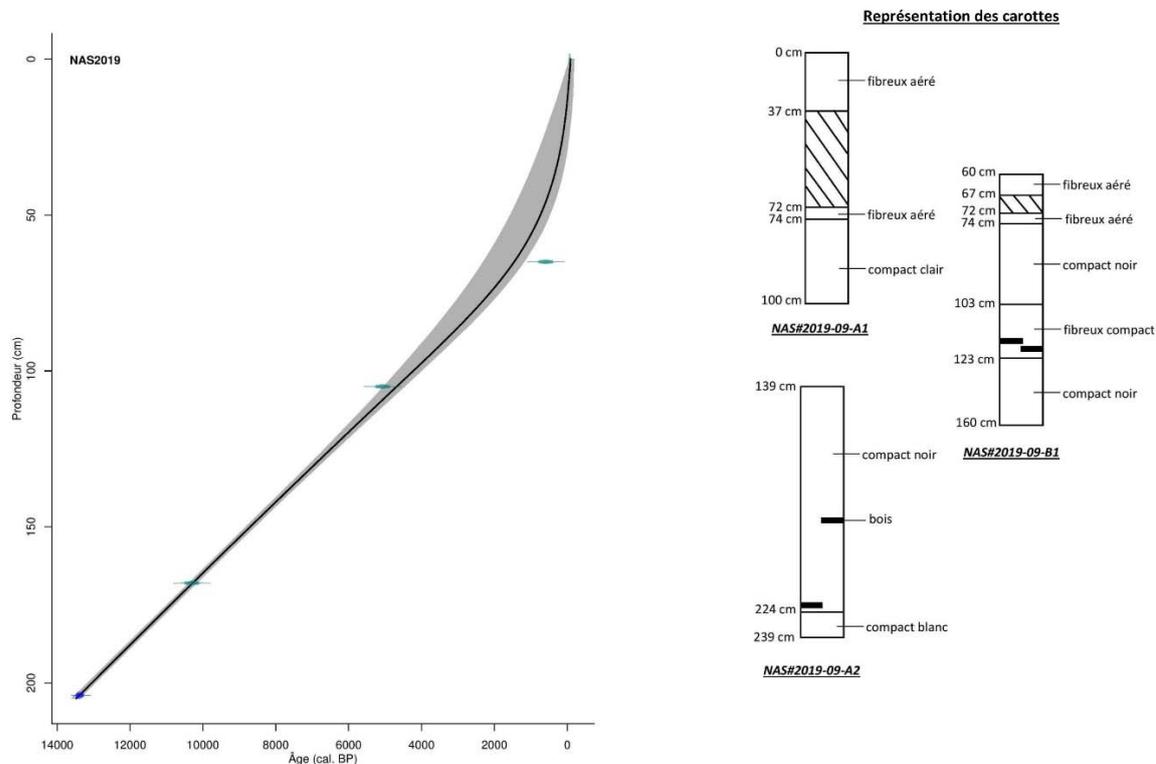


Figure 2. Modèle d'âge proposé pour la tourbière des Nassettes dont le profil synthétique de la séquence sédimentaire est présenté.

2- Influx de charbons

Un pic de charbons caractérise un événement local (ou une occurrence locale) d'incendie (Lynch et al., 2004 ; Higuera et al., 2007). Nos résultats (Fig. 4.a) (les données brutes sont accessibles sur demande auprès des auteurs et de l'encadrant) présentent ainsi cinq pics de charbons (influx $> 0,1 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$) entre 13265 et -65 cal. BP (actuel) sur le site des Nassettes. L'intervalle de l'influx de charbon estimé dans la tourbière, durant cette période, s'étend de $0,1$ à $1,8 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$. Ces résultats montrent ainsi une faible occurrence d'incendies locaux mais une augmentation constante de leur impact et de leur fréquence, au cours du temps.

Le plus ancien incendie des Nassettes semble s'être produit vers 11000 cal. BP, soit au Préboréal, selon la zonation pollinique de Firbas (Firbas, 1950). L'influx enregistré est faible ($0,1 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$) mais les incendies semblent avoir été répétés (plusieurs influx enregistrés). S'ensuit d'un seul événement de feu durant l'Atlantique (vers 7300 cal. BP) d'influx moyen ($0,4 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$).

Le Subboréal, quant à lui, présente deux occurrences de feux. La première serait vers 5000 cal. BP avec un seul événement de feu de faible influx ($0,2 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$). Le second enregistrement de charbons à cette période, vers 4000 cal. BP, commence à présenter un influx élevé ($> 0,5 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$) associé à quelques occurrences d'incendies.

Enfin, le dernier enregistrement d'incendie, se situe à partir de 2000 cal. BP soit au cours du Subatlantique. Cette perturbation se distingue des précédentes de par sa forte variation

d'influx qui s'étend entre 0,2 et 1,8 mm².cm⁻².an⁻¹ en un peu plus de 1500 ans.

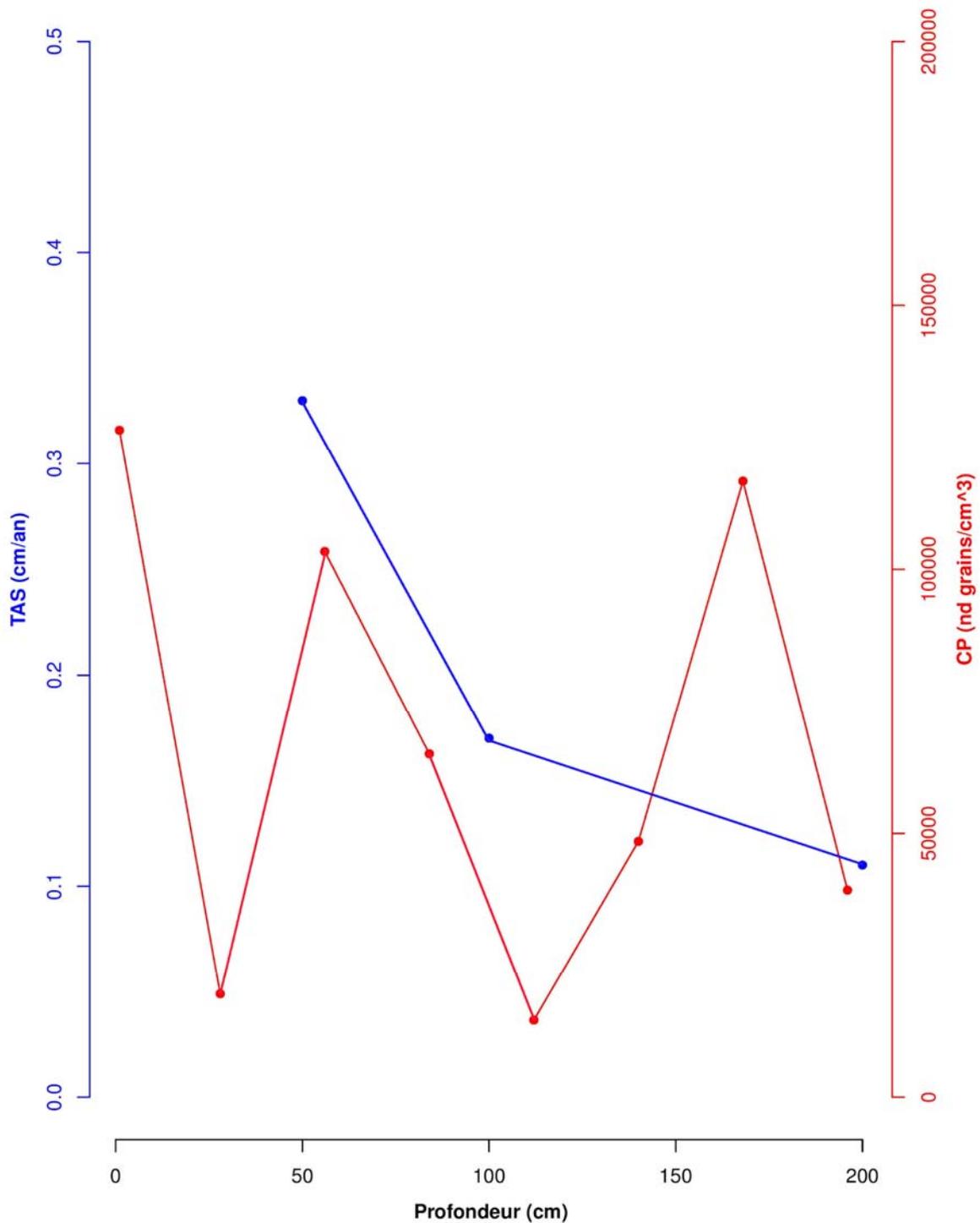


Figure 3. Représentation du Taux d'Accumulation Sédimentaire (TAS) et de la Concentration Pollinique (CP) (d'après Bonnet et al., 2020) en fonction de la profondeur de prélèvement dans la carotte sédimentaire.

3- Morphologie des particules de charbon sédimentaire

L'étude du rapport largeur/longueur (l/L) des charbons est un puissant outil pour les analyses de paléo-incendies car il renseigne sur le type de combustible (Umbanhowar & Mcgrath, 1998 ; Aleman et al., 2013). La Figure 4.c témoigne d'une forte variation de la forme des charbons (i.e. longs ou larges) au cours du temps. Étudié conjointement, le rapport ligneux/herbacés (PA/PNA) (Fig. 4.b), issus des résultats de Bonnet et al. (2020), nous a permis de distinguer trois grandes phases dans la dynamique de la végétation.

Lors du premier incendie, au Préboréal (11000 cal. BP) (Fig. 4.a), une faible variation du ratio l/L est enregistrée avec relativement peu de charbons relevés. La densité l/L (Fig. 4.d), environ égale à 0,5 signifie que les combustibles étaient aussi bien herbacés que ligneux (Aleman et al., 2013). C'est à ce moment qu'un remplacement de végétation s'opère, passant d'une végétation herbacée (ratio PA/PNA inférieur à 50), caractéristique du Tardiglaciaire, à une végétation majoritairement ligneuse (ratio PA/PNA supérieur à 50).

Au cours de l'Atlantique (7300 cal. BP), soit le deuxième incendie local enregistré, le ratio l/L relève de faibles variations mais un grand nombre de charbons ont été récoltés. La densité l/L, autour de 0,45, indique qu'une majorité d'herbacées ont été brûlées, quant au rapport PA/PNA d'environ 60, il soulève la prépondérance de ligneux à cette période.

Le Subboréal présente un PA/PNA supérieur à 50 lors des deux occurrences d'incendies, ce qui signifie que la végétation locale était plutôt ligneuse. De nombreux charbons ont été retrouvés et la densité l/L montre une évolution des combustibles avec, à 5000 cal.

BP, une prédominance d'herbacées brûlées (0,4) jusqu'à ce que ce ratio s'équilibre (0,5) vers 4000 cal. BP ainsi, les herbacées comme les ligneux brûlaient.

Enfin, l'événement de feu au Subatlantique, souligne une nouvelle transition végétale avec le passage d'une végétation autrefois dominée par les ligneux à un remplacement par les herbacées. C'est à partir de ce moment que la variation de ce ratio s'accroît en oscillant entre 0,4 et 0,5 en moins de 100 ans.

DISCUSSION

1- Méthodologie de la topographie

Les résultats de cette étude montrent que les sédiments les plus anciens de la tourbière des Nassettes datent du Tardiglaciaire, ce qui contribue à une meilleure estimation de la période de formation de cette dépression. En effet, seules deux études ont précédemment été réalisées sur cette tourbière (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006). Les plus anciennes datations ne correspondaient qu'à la période Préboréale, voire même à la seconde moitié du Préboréal du fait d'une expansion du noisetier (*Corylus*) et du chêne (*Quercus*) enregistrée par les analyses polliniques (Servera Vives, 2014).

En ce sens, sonder l'ensemble de la tourbière (à la différence de Pulido Avila (2006) qui n'a réalisé qu'un seul transect orienté sud-sud-ouest) en amont des prélèvements sédimentaires, nous permet d'échantillonner une plus grande profondeur de tourbe, donc remonter à des périodes plus anciennes. Cette méthode, certes chronophage, apporte de réels bénéfices aux études sur les tourbières. Elle prend alors de l'intérêt si l'on souhaite apporter une dimension historique au site étudié.

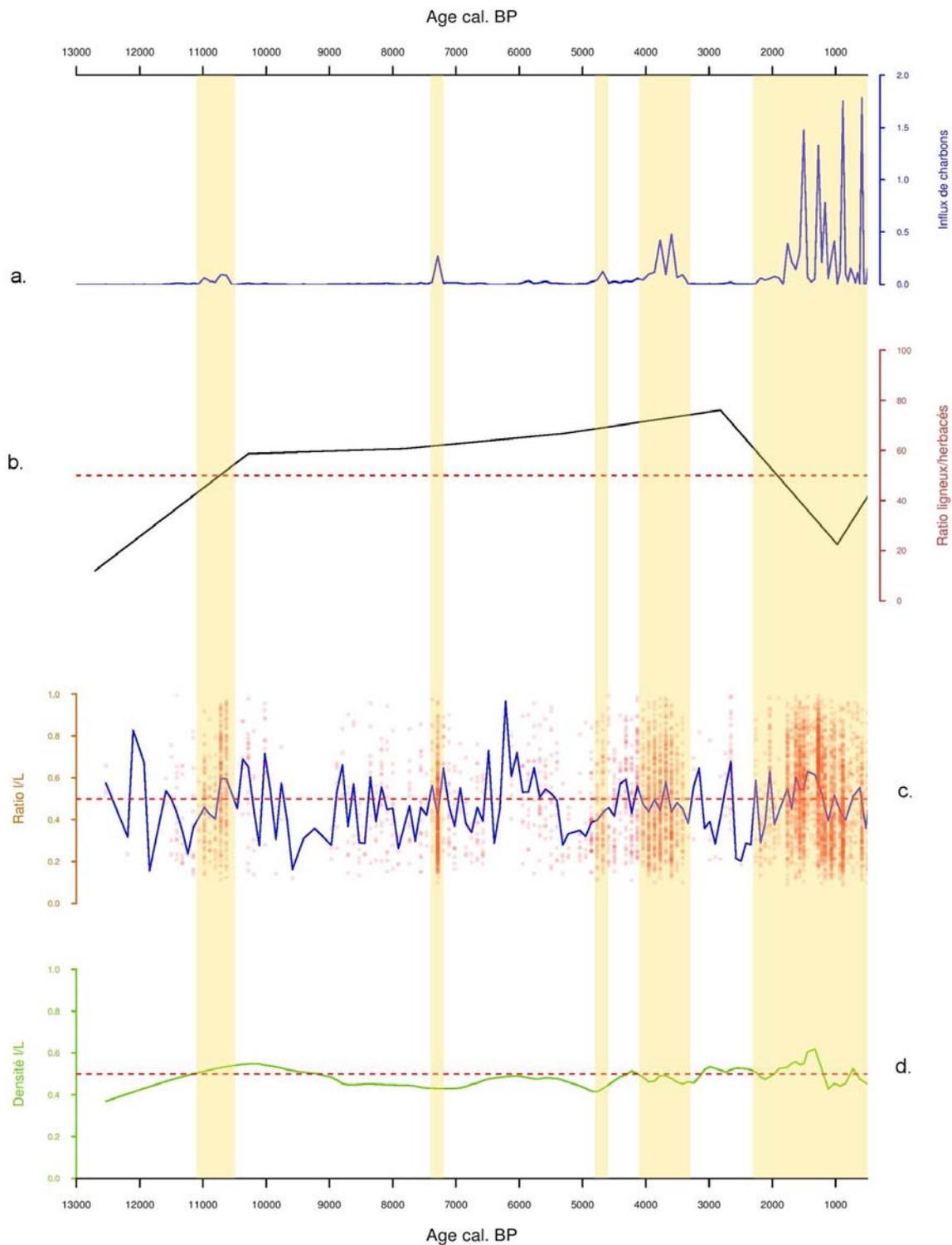


Figure 4. (a) Influx de charbons présents dans la tourbière des Nassettes, en fonction de l'âge en cal. BP. (b) Rapport du pollen de ligneux (PA) sur le pollen d'herbacées (PNA) réalisé par Bonnet et al. (2020). (c) Ratio l/L (largeur/longueur) des charbons des Nassettes au cours du temps (en cal. BP). Les points rouges sont les valeurs de chaque ratio l/L (sans unité) et la courbe bleue représente le ratio moyen de l/L (sans unité) des charbons. (d) Densité du ratio l/L des charbons. Les droites horizontales, en pointillés rouges, séparent les valeurs plutôt associées aux ligneux de celles des herbacées.

2- Datations des tourbières du Mont Lozère et de celle des Nassettes

La confrontation entre les taux d'accumulation sédimentaires (TAS) et les concentrations polliniques (CP) (Fig. 3), calculés grâce aux échantillons prélevés sur la carotte est censée, à condition que chacun des comptages soient bien réalisés, affirmer ou dans le cas contraire, infirmer la cohérence du modèle d'âge proposé. Dans notre cas, ces données n'ont pas apporté l'aide espérée car une telle variation de CP semble peu probable. En effet, après avoir comparé succinctement les CP obtenues par S.D. Muller (*com. pers.*), lors de ses calculs sur la même carotte, nous avons pu relever un sous-échantillonnage constant de Bonnet et al. (2020), probablement dû à un légitime manque d'expérience dans ce domaine. Une infime erreur de comptage lors d'une analyse d'échantillons, se trouve alors très amplifiée et engendre de grandes conséquences, comme il a été le cas dans cette étude. Seule la littérature nous a aidés à sélectionner le modèle le plus vraisemblable.

Le modèle d'âge avec un lissage le plus proche des dates, révélées au regard de la CP, a donc été privilégié dans notre cas, car il tient compte de la CP mesurée par Bonnet et al. (2020) et, de fait, influence nos résultats concernant l'influx pollinique. Le modèle d'âge fortement lissé ne révélait plus aucune occurrence d'incendies à partir 2000 cal. BP jusqu'à l'âge actuel, ce qui semble surprenant aux vues de la littérature qui atteste justement la présence de l'Homme durant le Subatlantique (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006).

Notre modèle a néanmoins été réalisé à partir d'une seule datation radiocarbone donc il est à prendre avec précaution.

3- Reconstitution des paléo-incendies et changements de combustibles fossiles

D'après nos résultats, aucun incendie local, ne se serait produit pendant le Tardiglaciaire cependant les rares charbons relevés autour de

cette période sont plutôt de type herbacé. Le ratio PA/PNA, conforme à la dynamique générale commune aux cycles climatiques (Muller, 2005), atteste d'un milieu steppique aride et froid (i.e. dominé par les herbacées) (Reille, 1988). Le premier incendie local semble être enregistré au cours du Préboréal (11000 cal. BP). Il est associé à un changement de végétation aussi bien présente sur le site (pollen) que brûlée (charbons), passant d'une majorité d'herbacés à une dominance de ligneux.

Un incendie court mais plus intense que le précédent, semble s'être produit durant l'Atlantique (7300 cal. BP). La végétation est alors dominée par des ligneux mais les combustibles sont dans l'ensemble herbacés. Un incendie d'herbacées a donc pu se produire de façon brève, sans impacter les ligneux, ce qui expliquerait pourquoi nous n'observons pas de trace de combustibles ligneux. Ces deux premiers incendies sont probablement naturels car les précédentes études autour du Mont Lozère énoncent les premières phases d'anthropisation à la période du Subboréal (5000 cal. BP) (de Beaulieu, 1974 ; Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006).

Nos résultats décèlent une augmentation progressive de l'influx de charbons à partir de 4700 cal. BP et ce, jusqu'à 3030 cal. BP, soit la fin du Néolithique et l'Âge du Bronze (ou « âge des Métaux »). Ces derniers témoignent ainsi d'évènements de feux sur le site des Nassettes. Le relatif faible influx de charbons ainsi que la présence de combustibles aussi bien ligneux qu'herbacés coïncide avec le faible impact que l'Homme a pu avoir sur la biomasse forestière des sites montagnards aux altitudes considérées proposé par de Beaulieu (1974). Reille (1988) et Pulido Avila (2006) nomment alors respectivement cet évènement de « landnam » ou « d'essartage ». Sur la base de l'observation d'une concentration élevée de « sites à scories », Bailly-Maitre (2010), suggère que l'Homme occupait des zones à des altitudes légèrement plus élevées (1360 – 1430 m) que celle de la tourbière des Nassettes. Ces observations seraient le résultat d'activités métallurgiques faisant suite aux importantes avancées à la fois

technologiques et sociales de l'époque (INRAP, <https://multimedia.inrap.fr/archeologie-preventive/chronologie-generale#.XhVo8UdKhPY>).

Le ratio PA/PNA, à 4000 cal. BP, renseigne sur la présence de végétation ligneuse (i.e. > 50). Il atteint son maximum à 3000 cal. BP puis diminue fortement jusqu'à passer sous la barre des 50 (i.e. majorité d'herbacées) à environ 2000 cal. BP (soit durant l'âge du Fer). Ces résultats peuvent être expliqués par l'établissement à la fin du Subboréal, de pratiques agricoles comme l'atteste la présence de pollen de céréales (Pulido Avila, 2006). Des pratiques agraires, de type culture sur brûlis, sont associées au recul de *Fagus* et *Abies*, ce qui est concomitant avec l'extension des formations herbacées de cette période (Pulido Avila, 2006 ; Servera Vives, 2014).

L'âge du Bronze moyen et final (~3700 cal. BP) présentent des dynamiques d'occupation du site et de gestion des milieux hétérogènes caractérisé par une fluctuation d'influx de charbons (Servera Vives, 2014). Les pratiques d'anthropisation (du Néolithique jusqu'à l'âge du Bronze) se caractérisent par un impact modéré sur les Nassettes (Servera Vives, 2014) comme le suggère le relatif faible influx de charbons qui leur est associé.

C'est autour de 2000 cal. BP que les incendies réapparaissent, au point d'atteindre leur point culminant. Le paysage est alors dominé par les herbacés et la densité I/L suggère qu'un grand nombre de ligneux sont brûlés. En effet, ces résultats sont contemporains avec la mise en place d'importantes phases de déforestation du Mont Lozère à partir de l'âge du Fer (Servera Vives, 2014) affectant *Fagus*, *Quercus* ainsi qu'*Abies* (Pulido Avila, 2006). Les pratiques se diversifient également avec l'expansion de l'agropastoralisme ainsi que le charbonnage et la métallurgie (Servera Vives, 2014). Cette phase de déforestation et d'expansion des pratiques agropastorales est bien connue dans d'autres secteurs de Massif Central tels que l'Aubrac (de Beaulieu et al., 1982) ou les Monts de Lacaune et de l'Espinouse (Pulido Avila, 2006). L'influx de charbons reste très élevé jusqu'à environ 950 cal. BP, qui correspond à la régression

sociétale initiée par la transition entre le Haut Moyen-Âge et le Moyen-Âge féodal (S.D. Muller, *com. pers.*). Il y a alors peu de cultures et le ratio PA/PNA augmente, ce qui permet aux ligneux de recoloniser le milieu. Servera Vives (2014) propose que cette régression de pression agropastorale soit associée au développement de la métallurgie. Cette période n'est que de courte durée car un nouvel influx apparaît autour de 500 cal. BP signifiant la reprise de l'agropastoralisme (Servera Vives, 2014) avec une période d'anthropisation maximale (Pulido Avila, 2006). La disparité entre ces forts influx à la période moderne et les influx quasiment nuls à la période contemporaine (300 cal. BP) peut être expliquée par déprise agropastorale datant de la seconde moitié du 19^{ème} siècle, associée au reboisement du Mont Lozère (de Beaulieu & Pons, 1979 ; Bal et al., 2015).

CONCLUSION

Les résultats de cette étude, au regard de l'histoire du site, révèlent une remarquable cohérence entre la présence de l'Homme et l'augmentation des charbons dans la séquence sédimentaire. Les pratiques anthropiques, attestées historiquement sur le Mont Lozère à partir de 4000 cal. BP, ont semble-t-il fortement modelé la végétation environnante des Nassettes. Ces pratiques ont cependant été instaurées de manière graduelle dans la région. Les modalités d'occupation des Nassettes et de la construction paysagère présentent une forte variabilité temporelle, principalement du Tardiglaciaire jusqu'à l'âge du Fer, période depuis laquelle une plus grande homogénéité semble se mettre en place. L'approche microrégionale, un des thèmes d'étude de Servera Vives (2014), serait également très intéressante à étudier. Elle permettrait de se rendre compte, avec une plus grande précision, de l'histoire de l'anthropisation du Mont Lozère.

Le modèle d'âge, établi sur la base d'une seule datation radiocarbone, a montré tout son intérêt dans notre étude. Il nous a permis, dans un premier temps, de mettre en lumière la période du Tardiglaciaire, qui jusqu'ici était encore inconnue des tourbières régionales.

Mais également amender la résolution temporelle (améliorable en augmentant le nombre de datations radiocarbone) des différents événements d'incendies locaux enregistrés dans notre séquence sédimentaire. Il serait ensuite propice d'utiliser le logiciel *CharAnalysis*

(<https://sites.google.com/site/charanalysis/>)

afin de dissocier les réels influx de charbons du bruit qui leur est associé. Nous pourrions ainsi tester statistiquement les différences d'influx dans le but de dater les impacts anthropiques avec une plus grande précision.

Enfin, les charbons sédimentaires, semblent être des indicateurs fiables dans la reconstruction des paléo-incendies, qui plus est lorsque les résultats sont replacés dans un contexte historique. Les paléoenvironnements et leurs perturbations peuvent ensuite être révélés lorsque les charbons sont corrélés à d'autres restes, aussi bien macro- que micro-restes (artefacts soulignant la présence de l'homme, pollen...). Ainsi, ces charbons relictuels permettent, en partie, de décrire les vicissitudes historiques de la transformation des paysages.

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. Revue d'archéométrie*, 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.
- Bailly-Maître M.-C. (2010). Le plomb et l'argent dans le Gévaudan médiéval. *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*, 34 : 137-148.
- de Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : Analyses polliniques et datages. *Comptes Rendues Académie des Sciences*, 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).
- de Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc National des Cévennes. *Annales du Parc National des Cévennes*, 1 : 101-128.
- de Beaulieu J.-L., Pons A. & Reille M. (1982). Recherches pollen analytiques sur l'histoire de la végétation de la bordure nord du Massif du Cantal (Massif Central, France). *Pollen et Spores*, 24 : 251-300.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for "classical" age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 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. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-46.
- Bourquin-Mignot C., Brochier J. E., Chabal L., Crozat S., Fabre L., Guibal F., Marinval P., Richard H., Terral J.-F. & Théry-Parisot I. (1999). *La Botanique*. Collection « Archéologiques » dirigée par A. Ferdière. Editions Errance.
- Carcaillet C., Bouvier M., Fréchette B., Larouche A.C. & Richard P.J.H. (2001a). Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *The Holocene*, 11 (4) : 467-476.
- Childe G. (1936). *Man Makes Himself*. Oxford university press.
- Clark J.S. (1988). Particle motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition and sampling. *Quaternary research*, 30 : 67-80.
- Cubizolle H. (2009). *Paléoenvironnements*.

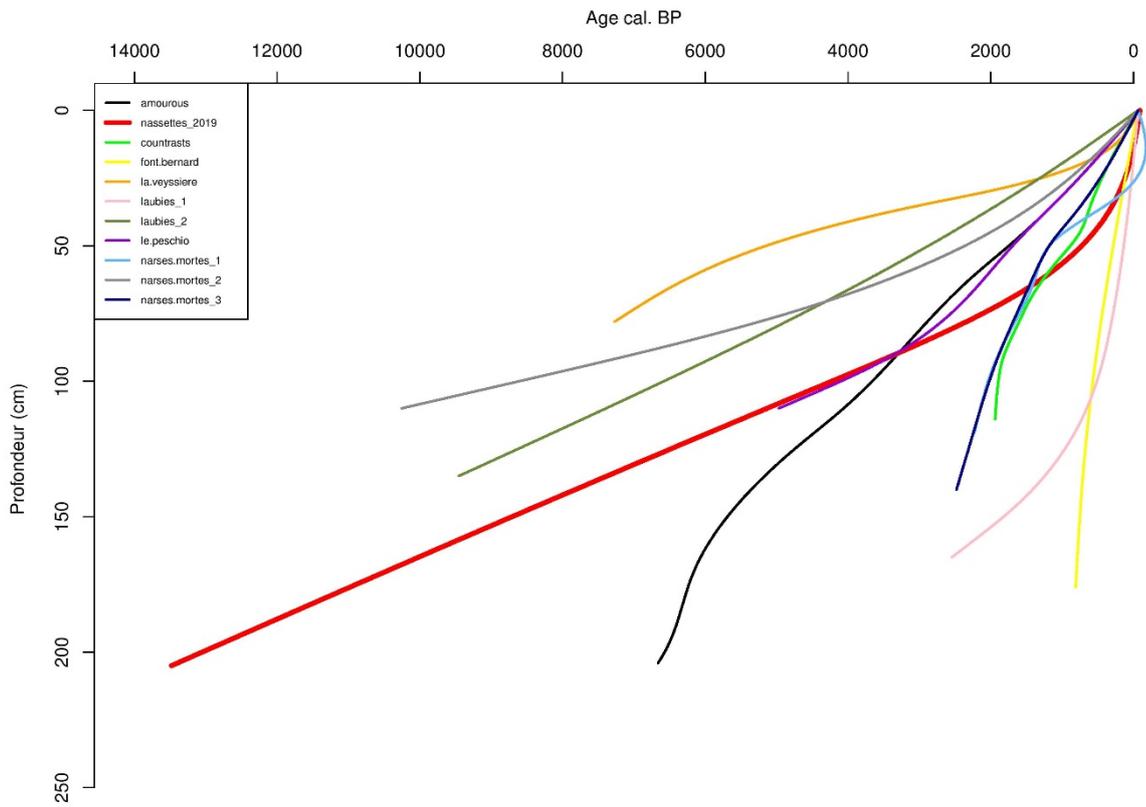
- Collection U, Géographie. Armand Colin, Paris, 271 p.
- Demoule J.-P. (2007). *La révolution néolithique en France*. Édition La découverte, coll. "Essais", Paris, 648 p.
- Durand A. & Terral J.-F. (2005). Regarder autrement le charbon de bois archéologique : l'exemple de l'irrigation des plantations d'oliviers en France méridionale et en Catalogne (IXe-XVe siècle). *Archéologie du Midi médiéval*, 23-24 : 75-92.
- Firbas F. (1950). The Late-glacial vegetation of Central Europe. *New Phytologist*, 49 (2) : 163-173.
- Gavin D.G., Hu F.S. & Lertzman K. (2006). Weak climatic control of stand-scale fire history during the late holocene. *Ecology*, 87 (7) : 1722-1732.
- Goldberg E.D. (1985). *Black carbon in the environment*. Wiley, New York, 198 p.
- Guilaine J. (2000). *Premiers paysans du monde. Naissance des agricultures*. Séminaire du Collège de France, Paris, Errance, 320 p.
- Higuera P.E., Peters M.E., Brubaker L.B. & Gavin D.G. (2007). Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model. *Quaternary Science Reviews*, 26 : 1790-1809.
- Higuera P.E., Whitlock C. & Gage J. (2011). Linking tree-ring and sediment-charcoal records to reconstruct fire occurrence and area burned in subalpine forests of Yellowstone National Park, USA. *Holocene*, 21 (2) : 327-341.
- Jowsey P.C. (1966). An Improved Peat Sampler. *New Phytologist*, 65 (2) : 245-248.
- Julve P. (1994). Les tourbières de France : répartition, caractères biogéographiques, fonctionnement écologique et dynamique, valeur patrimoniale. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 71 (3) : 287-293.
- Lynch J.A., Clark J.S. & Stocks B. (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 : 1642-1656.
- Manneville O. (1999). *Le monde des tourbières et des marais : France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. Delachaux & Niestlé, Paris, 319 p.
- Marlon J., Bartlein P.J. & Whitlock C. (2006). Fire-fuel-climate linkages in the northwestern USA during the Holocene. *The Holocene*, 16 (8) : 1059-1071.
- Moritz M.A., Parisien M.A., Batllori E., Krawchuk M.A., Van Dorn J., Ganz D.J. & Hayhoe K.K. (2012). Climate Change and Disruptions to Global Fire Activity. *Ecosphere*, 3 (6) : 49.
- Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.
- Orvis K.H., Lane C.S. & Horn S.P. (2005). Laboratory production of vouchered reference charcoal from small wood samples and nonwoody plant tissues. *Palynology*, 29 : 1-11.
- Peters M.E. & Higuera P.E. (2007). Large palynomorphs and debris. *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*. Geological Society, Jones, T.P., Rowe, N.P. (Eds.). London, pp. 20-25.
- Ploquin A., Allée P., Bailly-Maître M.-C., Baron S., de Beaulieu J.-L., Carignan J., Laurent S., Lavoie M., Carlier C., Paradis-Grenouillet S., Peytavin J. & Pulido Avila M.G. (2010). *ArchéoSciences*, 34 : 99-114.
- Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique post-glaciaire de la végétation dans le sud du massif central, France*. Thèse de doctorat. Université d'Aix Marseille, 308 p.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la tourbière des Nassettes, Mont Lozère (France). Réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan* (2).
- Reille M. (1990). *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. CNRS, Paris, 206 p.
- Robin V., Nelle O., Talon B., Poschold 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. *Holocene*, 28 (8) : 1313-1324.
- Santa Regina I., Leonardi S., Hanchi A., Tarazona T. & Rapp M. (1999). Production and turnover of organic matter in three

- southern European *Fagus sylvatica* L. stands. *Pirineos*, 153-154 : 3-19.
- Serrano Anazco Y. & Chaigneau B. (2018). Étude paléogéographique des feux de la tourbière des Nassettes, Mont Lozère. *Pachamama*, 1 (1).
- Servera Vives G., Miras Y., Riera S., Julian R., Allee P., Orengo H., Paradis-Grenouillet S. & Maria Palet J. (2014). Tracing the land use history and vegetation dynamics in the Mont Lozere (Massif Central, France) during the last 2000 years: The interdisciplinary study case of Countrasts peat bog. *Quaternary International*, 353 : 123-139.
- Umbanhowar C. & Mcgrath M. (1998). Experimental production and analysis of microscopic charcoal from wood, leaves and grasses. *Holocene*, 8 : 341-346.

ANNEXE 1. Inventaire floristique de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère) réalisé le 5 sept. 2019.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Famille
<i>Agrostis capillaris</i> L.	Agrostide capillaire	Poaceae
<i>Ajuga reptans</i> L.	Bugle rampante	Lamiaceae
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	Flouve odorante	Poaceae
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwägr.	-	Aulacomniaceae
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drejer	Foin tortueux	Poaceae
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	Langue de Bœuf	Polygonaceae
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Callune	Ericaceae
<i>Campanula rotundifolia</i> L.	Campanule à feuilles rondes	Campanulaceae
<i>Cardamine pratensis</i> L.	Cardamine des prés	Brassicaceae
<i>Carex echinata</i> Murray	Laîche étoilée	Cyperaceae
<i>Carex limosa</i> L.	Laîche des tourbières	Cyperaceae
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	Laîche vulgaire	Cyperaceae
<i>Cerastium fontanum</i> Baumg.	Céraiste commune	Caryophyllaceae
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	Cirse des marais	Asteraceae
<i>Comarum palustre</i> L.	Potentille des marais	Rosaceae
<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó	Orchis tacheté	Orchidaceae
<i>Drosera rotundifolia</i> L.	Rossolis à feuilles rondes	Droseraceae
<i>Epikeros pyrenaicus</i> (L.) Raf.	Sélin des Pyrénées	Apiaceae
<i>Epilobium palustre</i> L.	Épilobe des marais	Onagraceae
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	Prêle des eaux	Equisetaceae
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	Linaigrette à feuilles étroites	Cyperaceae
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	Linaigrette vaginée	Cyperaceae
<i>Festuca microphylla</i> (St.-Yves) Patzke	Fétuque à petites feuilles	Poaceae
<i>Galium saxatile</i> L.	Gaillet du Harz	Rubiaceae
<i>Galium uliginosum</i> L.	Gaillet aquatique	Rubiaceae
<i>Genista anglica</i> L.	Genêt d'Angleterre	Fabaceae
<i>Juncus bulbosus</i> L.	Jonc couché	Juncaceae
<i>Juncus effusus</i> L.	Jonc épars	Juncaceae
<i>Juniperus communis</i> L.	Genévrier commun	Cupressaceae
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Gesse des prés	Fabaceae
<i>Lotus pedunculatus</i> Cav.	Lotus des marais	Fabaceae
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Trèfle d'eau	Menyanthaceae
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	Molinie bleue	Poaceae
<i>Myosotis scorpioides</i> L.	Myosotis des marais	Boraginaceae
<i>Nardus stricta</i> L.	Nard raide	Poaceae
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pin sylvestre	Pinaceae
<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.	Red-stemmed Feather-moss	Hylocomiaceae
<i>Poa chaixii</i> Vill.	Pâturin de Chaix	Poaceae
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	Common Haircap	Polytrichaceae
<i>Polytrichum strictum</i> Menzies ex Brid.	Strict Haircap	Polytrichaceae
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch.	Potentille tormentille	Rosaceae
<i>Ranunculus acris</i> L.	Bouton d'or	Ranunculaceae
<i>Ranunculus flammula</i> L.	Renoncule flammette	Ranunculaceae
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	Grande pimprenelle	Rosaceae
<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	-	Sphagnaceae
<i>Sphagnum fallax</i> (H.Klinggr.) H.Klinggr.	-	Sphagnaceae
<i>Sphagnum papillosum</i> Lindb.	-	Sphagnaceae
<i>Succisa pratensis</i> Moench	Succise des prés	Caprifoliaceae
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. ex Rupr.) Schmalh.	Canneberge à petits fruits	Ericaceae
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Myrtille	Ericaceae
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	Airelle rouge	Ericaceae
<i>Veronica officinalis</i> L.	Véronique officinale	Plantaginaceae
<i>Veronica scutellata</i> L.	Véronique à écus	Plantaginaceae
<i>Viola canina</i> L.	Violette des chiens	Violaceae
<i>Viola palustris</i> L.	Violette des marais	Violaceae

ANNEXE 2. Modèles d'âge proposés dans la littérature concernant les tourbières de la région du Mont Lozère (d'après de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu, 1974 ; Baron et al., 2005 ; Pulido Avila, 2006 ; Servera Vives, 2014). Celui de la tourbière des Nassettes est représenté en rouge.



HISTOIRE ET CONTEXTE DES DYNAMIQUES VEGETALES DE LA TOURBIERE DES NASSETTES (MONT LOZERE, FRANCE) DEPUIS LE TARDIGLACIAIRE RECENT

Colline Bonnet¹, Eleni Filaiti², Flora Garcia³

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

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

¹ bonnet-colline@orange.fr, ² eleni.filaiti@etu.umontpellier.fr, ³ flo.garcia01@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Serge Muller

Citation : Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. (2020). Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-46.

Résumé : Une analyse pollinique a été réalisée sur la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Parc National des Cévennes, Massif Central). Il s'agit d'un travail exploratoire basé sur 8 échantillons polliniques et des corrélations palynostratigraphiques établies à partir d'études régionales. La comparaison entre le pollen de surface et la végétation actuelle a permis de différencier les apports polliniques locaux des apports régionaux, et de préciser les taxons polliniques indicateurs de la tourbière. Les résultats obtenus mettent en évidence une histoire de la végétation remontant à 13,000 ans, corroborant les changements majeurs connus, mais révélant pour la première fois dans les Cévennes des dépôts du Tardiglaciaire. Les steppes froides du Dryas récent laissent place à une succession mettant en jeu pinèdes, chênaies puis hêtraies-sapinières.

Mots clés : Massif Central, Parc National des Cévennes, Dryas récent, zone humide, palynologie

Abstract: *History and context of plant dynamics in the Nassettes peatland (Mont Lozère, France) since the end of Lateglacial.* A pollen analysis was conducted on the Nassettes peat bog (Mont Lozère, Cévennes National Park, French Massif Central). This is an exploratory work based on 8 pollen samples and palynostratigraphic correlations established from regional studies. The comparison between surface pollen and current vegetation allowed to differentiate local pollen inputs from regional ones, and to specify the indicator pollen taxa of the peat bog. The obtained results show a 13,000-year vegetation history, corroborating the major known changes but revealing for the first time lateglacial deposits in Cévennes. The Younger Dryas cold steppes gave way to a succession composed of pine, oak then beech-fir forests.

Keywords: French Massif Central, Cévennes National Park, Younger Dryas, wetland, palynology

L'étude des dynamiques paléoenvironnementales permet de comprendre comment et pourquoi les assemblages végétaux se sont constitués, et d'analyser les facteurs climatiques et anthropiques prévalant dans l'évolution de la structure de la végétation.

Les données obtenues sont par la suite susceptibles d'aider à la gestion, à la protection et à la conservation de la biodiversité (Birks, 1996). Les tourbières accumulent de la matière organique au travers du dépôt des restes de plantes qui s'y développent et constituent ainsi des archives

précieuses pour la palynologie. Après enfouissement dans des conditions anaérobies, les grains de pollen y sont particulièrement bien conservés, même à très long terme (Reille et al., 1996).

L'histoire postglaciaire de la végétation du sud de l'Europe est aujourd'hui bien connue, grâce aux analyses polliniques réalisées dans les tourbières de différentes régions (Massif Central, Péninsule Ibérique, Alpes, Pyrénées ; e.g. de Beaulieu et al., 1994). Les travaux pionniers de Firbas (1932) et les études postérieures (e.g. Reille & de Beaulieu, 1981 ; Daugas & Raynal, 1987) ont ainsi posé les jalons de l'histoire de la végétation du Massif Central durant l'Holocène (période interglaciaire comprise entre 11500 cal. BP et aujourd'hui ; Ozenda, 1994). Ces auteurs ont mis en évidence quatre grandes phases :

- i) Au Préboréal-Boréal, les pinèdes, vestiges du Tardiglaciaire, sont rapidement colonisées par le noisetier (*Corylus*), notamment sur le Mont Lozère ;
- ii) A l'Atlantique, se développent les chênaies à chênes caducifoliés (*Quercus pubescens*-type) et ormes (*Ulmus*), riches en noisetiers ;
- iii) Au Subboréal, les hêtraies-sapinières repoussent les chênaies dans les étages inférieurs ;
- iv) Au Subatlantique, l'anthropisation entraîne des déboisements massifs, ainsi que l'expansion de l'agro-pastoralisme.

Les études plus récentes ont par la suite permis d'affiner la résolution chronologique des reconstitutions paléoécologiques, et de mettre en évidence un certain nombre de disparités à l'échelle régionale (de Beaulieu et al., 1985, 1987 ; Reille, 1990 ; Jorda & Rosique, 1994 ; Heinz & Thiébault, 1998 ; Pulido Avila, 2006 ; Plancher, 2017). Une de ces disparités régionales, discutée par Plancher (2017), concerne la variabilité de l'importance relative du hêtre (*Fagus*) et du sapin (*Abies*) dans le Massif Central.

Le présent travail a été réalisé dans les Cévennes, un massif montagneux situé au sud du Massif Central. Il s'est intéressé à la tourbière des Nassettes, sur le Mont Lozère.

Deux études antérieures (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006) ont révélé une histoire ancienne, remontant au début de l'Holocène, mais malheureusement non datée par le radiocarbone. La réalisation de relevés phytosociologiques (avec l'aide d'E. Sulmont, Parc National des Cévennes) nous permet de discuter dans un premier temps la relation pollen-végétation afin d'évaluer les éventuels biais de l'enregistrement pollinique et de caractériser la végétation actuelle de la tourbière. La réalisation d'une datation radiocarbone à la base d'une nouvelle séquence permet dans un second temps de préciser l'âge de la tourbière, et de caler chronologiquement son histoire. Nous tentons enfin, sur cette base, de proposer une reconstitution des dynamiques végétales locales et régionales depuis l'origine de la tourbière.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

Le Mont Lozère est situé dans le Parc National des Cévennes, qui s'étend de la bordure externe du Massif Central aux plateaux calcaires du Languedoc (Vives et al., 2014). Il s'agit d'un massif granitique acide d'origine hercynienne qui culmine à 1702 m d'altitude (Reille, 1988). Le climat est tempéré humide, avec des étés courts et froids, et la pluviométrie est importante (1600 à 2800 mm de précipitations annuelles, principalement estivales ; Bertrand et al., 2004). Les reliefs sont globalement assez doux, et les trois sommets du Lozère sont plats (Bertrand et al., 2004 ; Vives et al., 2014). Cette géographie, combinée au passé glaciaire régional, a permis la formation de tourbières dans des vallons concaves facilitant la rétention d'eau. Ces tourbières sont désignées comme "tourbières basses" dans le référentiel Natura 2000 (Noël, 2016). La tourbière des Nassettes mesure 300 x 440 m, ce qui représente une surface de 13,2 ha. La topographie détaillée par Cornet & Wales (2020) est assez hétérogène, et suggère une ancienne érosion irrégulière des roches granitiques situées sous la tourbière. Il s'agit

d'une tourbière ouverte à sphaignes, située à 1380 m d'altitude (1320 m selon Reille, 1988), alimentée par la pluie et le ruissellement provenant des sommets environnants et probablement entretenue par l'agropastoralisme depuis des siècles. La végétation limitrophe est plutôt ouverte et caractéristique d'un étage montagnard subissant une pression humaine : des landes arborées composées de Bruyères (*Erica* spp.), de Callune (*Calluna vulgaris*), de Genêt purgatif (*Cytisus oromediterraneus*) et à balai (*Cytisus scoparius*), de Génévrier commun (*Juniperus communis*) et de Myrtille (*Vaccinium myrtillus*) (Pons et al., 1989), ainsi que des formations de pins (*Pinus nigra* et *P. sylvestris*) sur les versants exposés.

2- Méthodes de terrain

Prélèvements sédimentaires

Un relevé de la topographie, réalisé dans le but de modéliser la surface de la tourbière (Cornet & Wales, 2020), a permis de déterminer la zone la plus profonde, et donc potentiellement la plus ancienne. 3 carottes sédimentaires (Table 1 ; Annexe 1) ont été prélevées le 05/09/2019 à l'aide d'un carottier russe manuel adapté aux dépôts de tourbe car limitant la compaction et la pollution des sédiments prélevés (Jowsey, 1966). La zone choisie pour les prélèvements se situe au nord-ouest de la tourbière (Annexe 1). Les carottes A1 et A2 ont été réalisées dans le même trou, la carotte B1 juste à côté. La profondeur de la tourbière dépassant largement la longueur du carottier, il a été nécessaire de prélever 3 carottes en quinconce et très proches afin d'obtenir un échantillon représentatif des 2 m 40 cm de profondeur jusqu'au substrat rocheux (Fig. 1).

Relevés phytosociologiques

Des relevés phytosociologiques de la végétation locale et limitrophe ont été réalisés selon la méthode de Braun-Blanquet (1932). Les formations végétales auxquelles appartiennent les 12 sites ciblés par ces inventaires botaniques sont détaillées Figure 1 (Annexe 2). L'identification des espèces a été réalisée à l'aide de *Flora Gallica* (Tison & de Foucault, 2014), les sphaignes et autres bryophytes ont été identifiées par E. Sulmont. Une vérification des identifications *a posteriori* a été effectuée à l'aide de l'INPN (Inventaire National du Patrimoine Naturel ; <https://inpn.mnhn.fr>) et de Tela Botanica (<https://www.tela-botanica.org>).

3- Méthodes de laboratoire

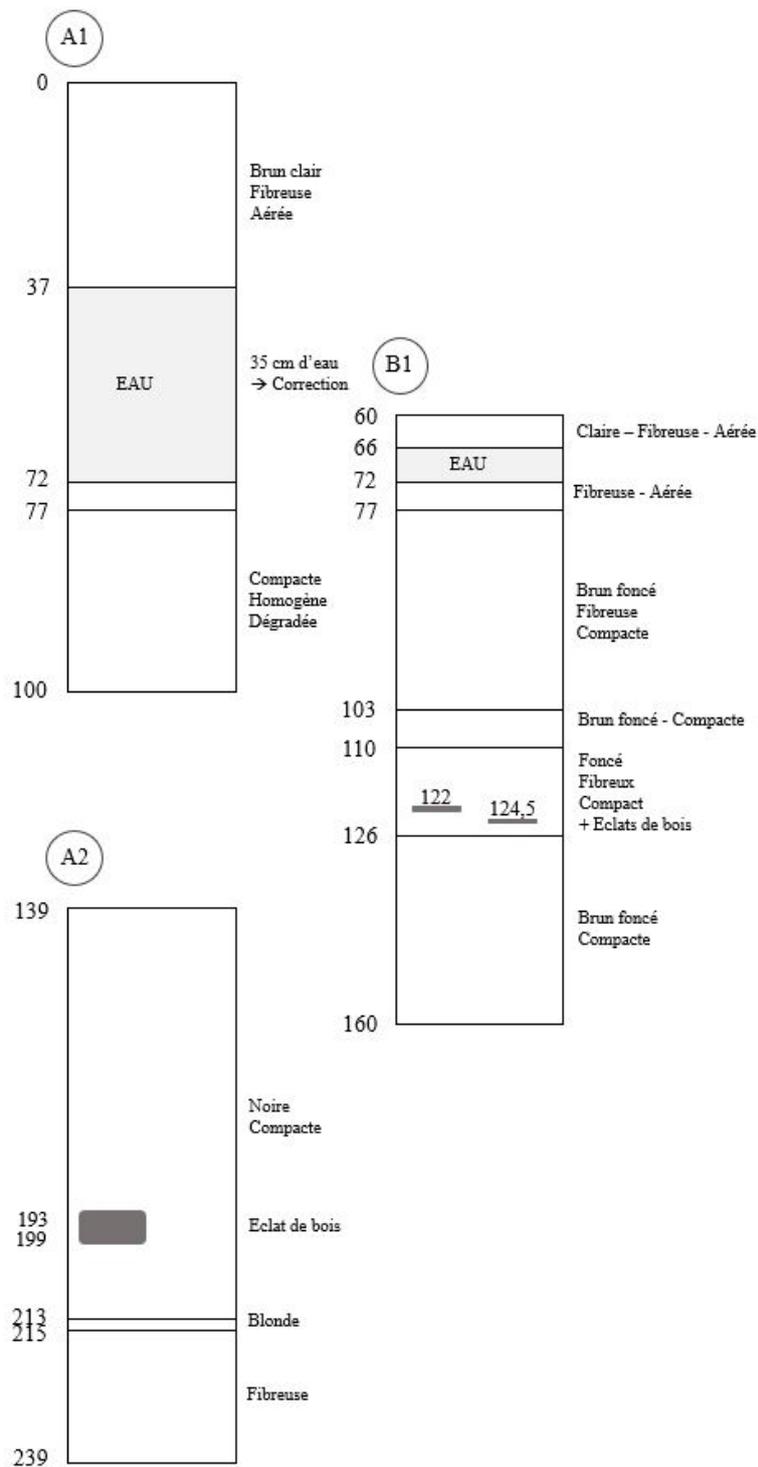
Échantillonnage des carottes

La pluviométrie de la région étant variable, l'épaisseur de la lentille d'eau sous le tremblant de la tourbière l'est aussi. La tourbe de la carotte A1 est entrecoupée d'une nappe aquifère d'une épaisseur de 35 cm allant de 37 à 72 cm de profondeur. Cette nappe est aussi observée jusqu'à 72 cm dans la carotte B1 (Fig. 1). Une correction de -35 cm sur la profondeur de la partie basse fixe (à partir de 72 cm) a donc été appliquée à l'ensemble des carottes avant prélèvement, afin de travailler sur les profondeurs réelles en l'absence d'eau. 8 échantillons de 0,9-1 cm³ ont été prélevés à l'aide d'un ajusteur tous les 28 cm, en partant de la surface (la correction a été appliquée aux valeurs en italique) : 0-1 et 28-29 cm pour la carotte A1 ; 56-57, 84-85 et 112-113 cm pour la carotte B1 ; 140-141, 168-169 et 196-197 cm pour la carotte A2.

Table 1. Coordonnées géographiques des séquences tourbeuses prélevées

Carotte	Latitude N	Longitude E
NAS#2019-09-A1	44°28'01,08''N	03°37'32,57''E
NAS#2019-09-A2	44°28'11,34''N	03°37'27,72''E
NAS#2019-09-B1	44°28'11,49''N	03°37'27,69''E

Figure 1. Profil stratigraphique des carottes NAS#2019-09-A1, NAS#2019-09-A2 et NAS#2019-09-B1 (annoté immédiatement après prélèvement dans la tourbière) utilisées pour l'échantillonnage.



Traitement chimique

L'extraction du pollen a été réalisée selon le protocole de [Berglund & Ralska-Jasiewiczova \(1986\)](#): bain d'acide chlorhydrique, puis d'acide sulfurique, et enfin d'acide fluorhydrique afin d'éliminer respectivement

les carbonates, la matière organique et la silice. L'enveloppe externe des grains de pollen, composée de sporopollénine, est résistante aux différents traitements ([Brooks & Shaw, 1978](#)). Le culot obtenu a été dilué dans de la glycérine avant le montage entre

lame et lamelle. Les lames ont été fixées par de l'histolaque.

Observation des échantillons

Trois lames par échantillon ont été analysées. Au moins 100 grains de pollen par niveau ont été comptés et identifiés par les analystes, à l'aide d'un microscope optique (x40). Un total minimum de 300 grains par niveau a donc été comptabilisé. La concentration pollinique (CP, en nb de grains/cm³) a ensuite été calculée à partir de la formule suivante :

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

où SP = somme pollinique (nombre total de pollen compté); N = nombre total de lignes (au grossissement x40, varie selon : microscope et lamelle utilisée); 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).

La richesse pollinique (RP) correspond au nombre de taxons identifiés par niveau par les trois analystes. Le ratio de pollen arboréen (PA) sur pollen non arboréen (PNA) est calculé de la manière suivante (PA/PNA, en %) :

$$\frac{SPA}{SP \text{ (sans indet)}} \times 100$$

où SP (sans indet) = somme pollinique indéterminés exclus; SPA = somme du pollen arboréen.

4- Analyse des données et datation radiocarbone

La base de la carotte la plus profonde (A2) a été datée au radiocarbone. Les âges étalonnés (cal. BP, *i.e.* années calendaires *before present*) ont été calculés à l'aide de Calib 7.0.4 (Stuiver & Reimer, 1993), en utilisant le référentiel IntCal13 (Reimer et al., 2013). Les diagrammes polliniques ont été réalisés à l'aide du logiciel Polpal (Nalepka & Walanus, 2003), à partir des sommes polliniques de chaque taxon (spores exclues; Annexe 3). Une zonation du diagramme pollinique a été réalisée à l'aide d'une classification

hiérarchique ascendante (CHA) se basant sur la distance de Chord, établie à l'aide du logiciel PAST 3.01 (Hammer et al., 2001).

RESULTATS

1- Etude phytosociologique

Les relevés phytosociologiques réalisés sur la tourbière des Nassettes (Table 2) révèlent une forte prédominance des Poaceae, Cyperaceae, Ericaceae, Sphagnaceae et Rosaceae. La composition végétale actuelle de la tourbière des Nassettes correspond à celle d'un haut-marais ou lande tourbeuse (Fernez et al., 2015), avec les espèces caractéristiques suivantes : *Aulacomnium palustre*, *Calluna vulgaris*, *Drosera rotundifolia*, *Molinia caerulea*, *Potentilla erecta* et *Sphagnum* spp., *Viola palustris*. La forte prédominance des Cyperaceae, avec de nombreux *Carex*, *Eriophorum angustifolium* et *E. vaginatum*, ainsi que la présence de *Juncus subnodulosus* montre qu'il s'agit d'un haut-marais en cours de succession vers un marais de transition, réunissant buttes de sphaignes et tremblants (Fernez et al., 2015).

2- Données palynologiques

Diagramme pollinique

La zonation, réalisée sur l'ensemble des taxons à l'exclusion de ceux considérés comme locaux par Reille (1988) (voir aussi Discussion ci-dessous), permet de distinguer 3 zones principales (Fig. 2).

La zone 1 (196-182 cm) ne comprend que le niveau basal. Elle est dominée par les herbacées (Cyperaceae et Poaceae, associées à *Artemisia* et Apiaceae). Les arbres sont très faiblement représentés (12% du pollen est arboréen) : *Betula* et *Salix* sont les plus abondants (env. 5%); *Pinus*, *Quercus* caduc. et *Alnus* présentent des occurrences inférieures à 1%. Le pourcentage d'indéterminés est au maximum de 16%.

Herbacées	Zone d'étude												Occurrences
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>Agrostis capillaris</i>											+		1
<i>Ajuga reptans</i>											1		1
<i>Anthoxanthum odoratum</i>											1	1	2
<i>Avenella flexuosa</i>											2	2	2
<i>Bistorta officinalis</i>											+		1
<i>Campanula rotundifolia</i>												+	1
<i>Cardamine pratensis</i>						+							1
<i>Carex echinata</i>		1			+					+			3
<i>Carex limosa</i>						+	1				1	1	4
<i>Carex nigra</i>		1											1
<i>Cerastium fontanum</i>												+	1
<i>Cirsium palustre</i>										1	1		2
<i>Comarum palustre</i>	1	+				1	2						4
<i>Dactylorhiza maculata</i>											+		1
<i>Drosera rotundifolia</i>		1	1				1	+					4
<i>Epikeros pyrenaicus</i>			1	+							+		3
<i>Epilobium palustre</i>					1								1
<i>Equisetum fluviatile</i>	2	1	1		1	1	1	+	+				8
<i>Eriophorum angustifolium</i>	1	2	3			2	2		1	+			7
<i>Eriophorum vaginatum</i>				3	2				2	3			4
<i>Festuca microphylla</i>											1		1
<i>Galium saxatile</i>											1	1	2
<i>Galium uliginosum</i>	+												1
<i>Genista anglica</i>					1					1	1		3
<i>Juncus bulbosus</i>	1												1
<i>Juncus effusus</i>					4						1		2
<i>Lathyrus pratensis</i>											+		1
<i>Lotus pedunculatus</i>					2					1	1		3
<i>Menyanthes trifoliata</i>	1	1	1			2	2						5
<i>Molinia caerulea</i>			2	1	1		1	2	2	2			7
<i>Myosotis scorpioides</i>	2												1
<i>Nardus stricta</i>											4	1	2
<i>Poa chaixii</i>												+	1
<i>Potentilla erecta</i>			1	1						+	1		4
<i>Ranunculus acris</i>											+		1
<i>Ranunculus flammula</i>	1												1
<i>Sanguisorba officinalis</i>										1			1
<i>Succisa pratensis</i>										1	1	+	3
<i>Veronica officinalis</i>												+	1
<i>Veronica scutellata</i>	1				+	1							3
<i>Viola canina</i>										+			1
<i>Viola palustris</i>			1		1		+			+	1		5
Bryophytes													
<i>Aulacomnium palustre</i>			1	2	1								3
<i>Pleurozium schreberi</i>												2	1
<i>Polytrichum commune</i>				1									1
<i>Polytrichum strictum</i>			2	1					3	+			4
<i>Sphagnum capillifolium</i>			3	1				4	3	2			5
<i>Sphagnum fallax</i>		5			2		4						3
<i>Sphagnum papillosum</i>		2	2		1		2	1		2			6
Ligneux bas													
<i>Calluna vulgaris</i>			1	2				1	1	3	2		6
<i>Juniperus communis</i>												2	1
<i>Vaccinium microcarpum</i>								2					1
<i>Vaccinium myrtillus</i>				2							1	3	3
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>				2					1		+	2	4
Arbres													
<i>Pinus sylvestris</i>												3	1

Page précédente :

Table 2. Relevés de végétation : inventaire botanique et occurrences des taxons sur les 12 zones d'étude (Annexe 2). Indices d'abondance/recouvrement établis selon la nomenclature de *Braun-Blanquet (1932)* : + : quelques individus, 1 : 0-5 %, 2 : 5-25 %, 3 : 25-50 %, 4 : 50-75 %, 5 : 75-100 %.

La zone 2A (182-70 cm) est très étendue (112 cm). Elle est caractérisée par l'expansion successive de *Pinus* et *Betula*, puis *Corylus*, *Quercus* et *Ulmus*, et enfin *Fagus* et *Abies*. La tendance des taxons herbacés (PNA) régresse, malgré un pic de spores à 25%. Le pourcentage d'indéterminés est très élevé (au maximum 23%).

La zone 2B (70-42 cm) correspond à un seul échantillon. Elle est marquée par une inversion du ratio pollen arboréen/pollen non arboréen (PA/PNA) : le pourcentage de PNA culmine à ~80% au centre de la zone et correspond essentiellement à *Apiaceae*, *Artemisia*, *Calluna*, *Cerealia*-type, *Ericaceae*, *Poaceae* et *Potentilla*. Environ 10% d'indéterminés sont enregistrés.

La zone 3 (42-0 cm) est caractérisée par un pic de *Cerealia*-type (14%) et *Pinus* qui dépasse 50%. *Picea* apparaît pour la première fois dans de faibles proportions. On retrouve 13% d'indéterminés.

Concentration pollinique

La variation de la concentration pollinique (CP) est présentée [Figure 3](#). Les valeurs sont très hétérogènes, bien que les valeurs aberrantes d'une des analystes ont été retirées pour le calcul de la CP. Les CP présentent d'importantes fluctuations, entre 21 100 et 178 300 grains/cm³. La moyenne glissée révèle une légère augmentation d'environ 25 000 grains/cm³ entre 154 et 42 cm de profondeur.

Richesse pollinique

La richesse pollinique (RP) varie entre 14 et 21 taxons. Ces valeurs sont relativement faibles en comparaison des résultats obtenus par S. Muller sur 3 niveaux (26 taxons à 196 cm ; 36 à 168 cm ; 40 à 56 cm). Cette

différence est induite par la faible expérience des analystes, dont l'identification s'est limitée à un nombre de taxons restreint, déterminé par l'encadrant au début de l'analyse.

3- Chronologie

La chronologie de l'étude est essentiellement basée sur une date radiocarbone, obtenue pour le niveau 239-240 cm (Poz-117080). Le résultat de la mesure a donné l'âge de 11550 ± 60 BP, ce qui correspond à un âge calendaire de 13265-13489 cal. BP. Les données palynologiques permettent de proposer des âges pour des niveaux particuliers sur la base de corrélations palynostratigraphiques avec des études régionales bien datées ([Reille & de Beaulieu, 1981](#); [Pulido Avila, 2006](#); [Plancher, 2017](#)) ([Table 3](#)). Les corrélations palynostratigraphiques sont basées sur le postulat qu'il existe une synchronicité régionale des dynamiques végétales. Le premier événement retenu est l'expansion de *Corylus*, datée dans le sud du Massif Central entre la fin du Préboréal et le début du Boréal, entre 10 500 et 10 100 cal. BP ([de Beaulieu et al., 1985](#)). Le deuxième événement est l'émergence du hêtre (*Fagus*), qui se développe avec le sapin (*Abies*) dans la première moitié du Subboréal, entre 5280 et 4860 cal. BP ([de Beaulieu & Gilot, 1972](#) ; [Cubizolle et al., 2004](#)). Enfin, le troisième événement est le déclin de ces deux arbres au Subatlantique, entre 650 et 530 cal. BP ([Reille, 1988](#) ; [Pulido Avila, 2006](#)). Le modèle d'âge a été établi par [Cornet & Wales \(2020\)](#) (Annexe 4), sur la base de la datation radiocarbone Poz-117080 et des corrélations palynostratigraphiques.

Figure 2. Diagramme pollinique (en pourcentage) de la tourbière des Nassettes en fonction de la profondeur. Echelle chronologique réalisée à partir du modèle d'âge proposé par Cornet & Wales (2020) couplé aux dates des différentes périodes relatées par Reille et de Beaulieu (1996). La classification hiérarchique ascendante donne trois zones principales délimitées par les lignes mauves, et une zonation secondaire pour la zone intermédiaire (ligne violette). La courbe P.A./P.N.A. correspond aux rapports entre pollen arboréen et non arboréen.

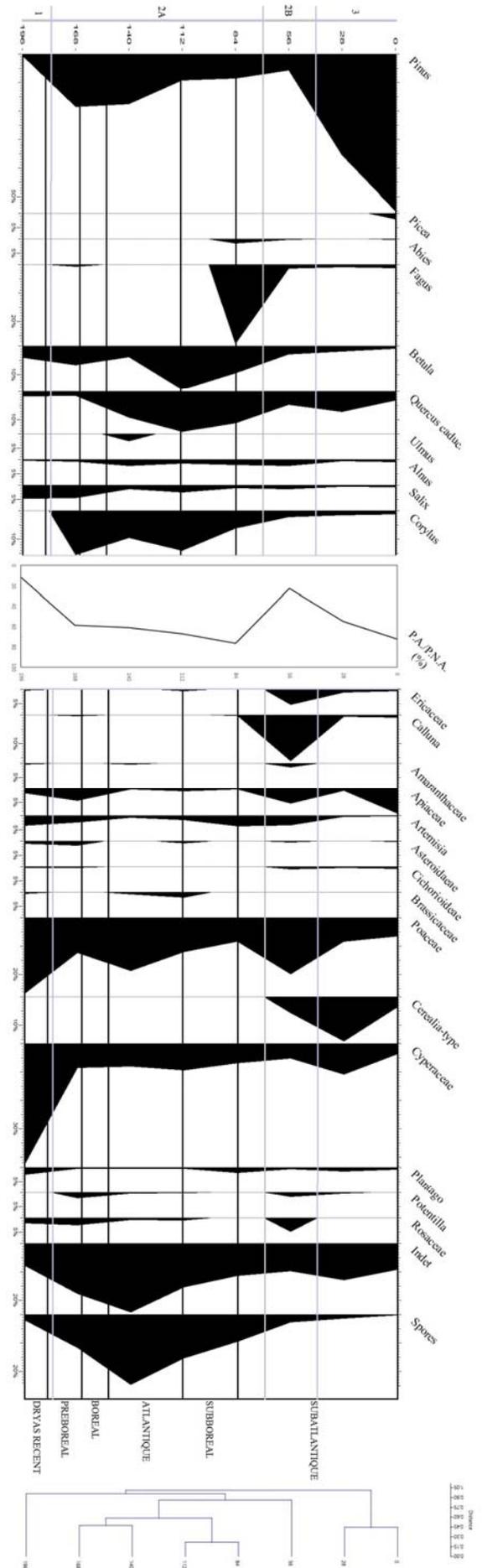


Figure 3. Sédimentologie et concentrations polliniques. A gauche, log stratigraphique (avec correction pour la lentille d'eau de 35 cm) selon la profondeur (en cm). A droite, la courbe noire représente les concentrations polliniques (CP, en milliers de grains/cm³) de la séquence Nass#2019-09 et la courbe grise correspond aux moyennes glissées de 4 niveaux successifs. La CP du niveau le plus profond est exclue de la moyenne glissée, car elle correspond au Tardiglaciaire, où l'influx pollinique est théoriquement différent de celui de l'Holocène.

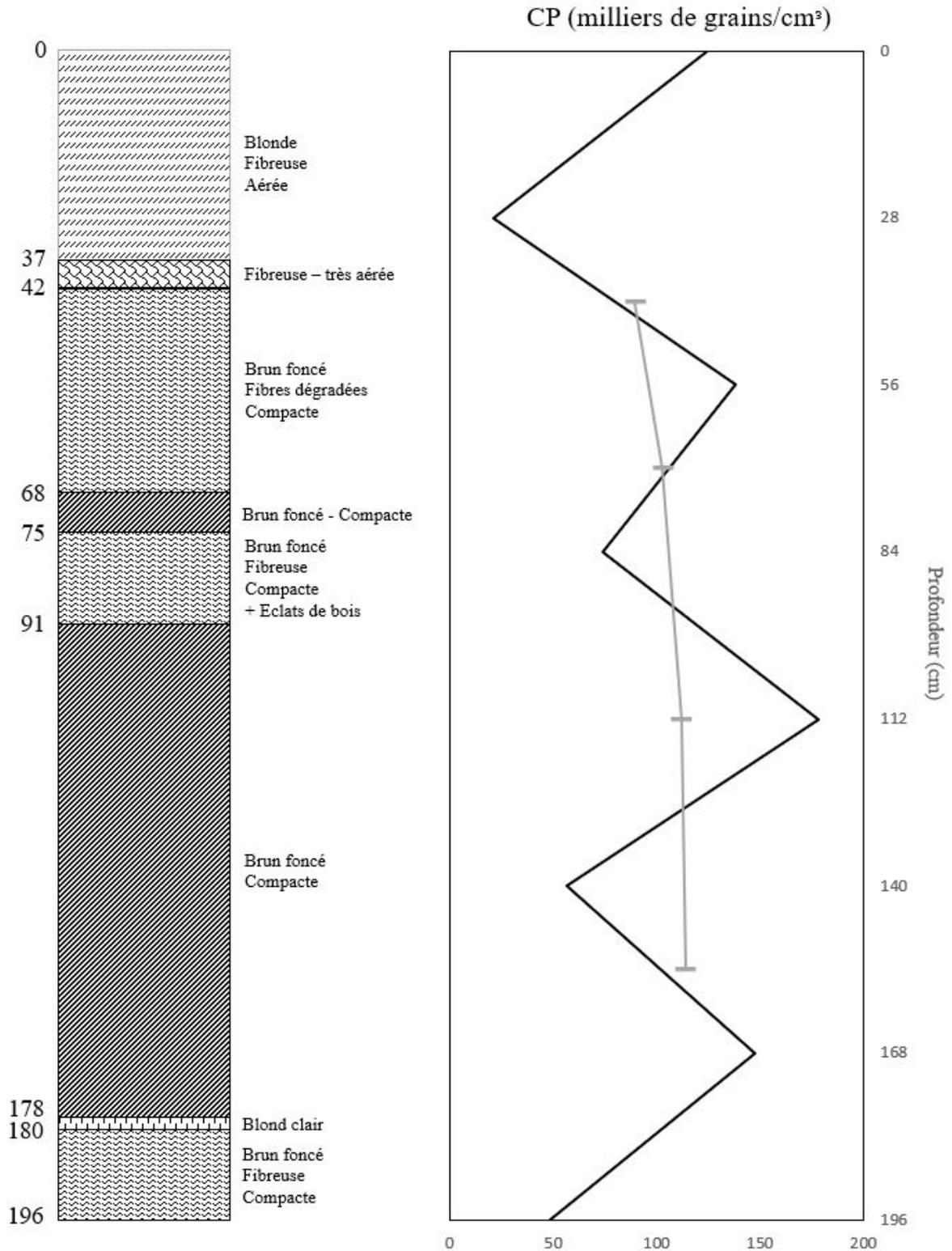


Table 3. Corrélations palyno-stratigraphiques et références associées

Profondeur (cm)	Âge étalonné 2 δ (cal. BP)	Taxon clé identifié	Références
168	10500 - 10100	Emergence <i>Corylus</i>	[1]
110 - 100	5280 - 4860	Emergence <i>Fagus</i>	[2, 3]
70 - 60	650 - 530	Déclin <i>Fagus</i>	[2, 3]

DISCUSSION

1- Relations pollen-végétation

Actuel - Comparaison relevés phytosociologiques/enregistrement pollinique de surface

La comparaison entre l'enregistrement pollinique de surface (EPS ; Fig. 2) et les relevés phytosociologiques (Table 2) permet (1) de distinguer le pollen d'origine locale du pollen d'origine régionale, et (2) de caractériser l'enregistrement pollinique des plantes de la tourbière, et en particulier, d'identifier les plantes qui ne sont que peu ou pas enregistrées et de préciser la sur- ou sous-représentation des différents taxons polliniques.

Certains taxons présents dans l'assemblage pollinique sont absents de la végétation inventoriée, ce qui traduit un potentiel apport régional par l'intermédiaire du vent. C'est le cas de *Quercus* dont la dispersion est très importante (Brugiapaglia et al., 1998), de *Cerealia*-type dont le pollen peut être transporté sur de très longues distances (Brugiapaglia et al., 1998), des Asteroideae et de *Plantago*. Le faible enregistrement pollinique d'*Alnus*, *Corylus* et *Ulmus* traduit leur apport régional, ce qui est confirmé par leur observation dans des chênaies du versant nord-ouest du Mont Lozère (Braun-Blanquet, 1953 ; Macqueron, 2009).

Les taxons présents à la fois dans l'EPS et la végétation de la tourbière traduisent un apport local. En ce qui concerne les espèces arborées, seul *Pinus sylvestris* apparaît dans les relevés (Table 2). Son enregistrement

pollinique provient cependant surtout des pinèdes environnantes, qui sont des peuplements quasiment monospécifiques (Annexe 1). Il peut également inclure un apport régional, car il s'agit d'un pollen à très forte dispersion observé dans tous les spectres, et dont la fréquence dans l'enregistrement est d'autant plus importante en altitude (Brugiapaglia et al., 1998). Les taxons caractérisant le couvert végétal de la tourbière sont principalement les Ericaceae et *Calluna*, tous deux présents dans les relevés, les Cyperaceae (4 espèces), *Potentilla*, Rosaceae, ainsi que *Betula* et *Salix*, qui n'apparaissent pas dans nos relevés, mais ont été observés sur la tourbière. Les Apiaceae et les Cichorioideae sont uniquement représentées dans nos relevés par *Epikeros pyrenaicus* et *Cirsium palustre*, respectivement. Ces deux groupes font partie des taxons pollinifères les plus appréciés par les abeilles en milieu rural (pour les Apiaceae ; Piroux, 2014). Leur pollinisation surtout entomogame en fait de bons marqueurs de la végétation locale. Enfin, l'enregistrement pollinique des Poaceae, dont 7 espèces figurent dans nos relevés, est plus ambigu. Cette famille très diversifiée est en effet abondante dans les milieux mésophiles environnants.

Nous n'avons pas retrouvé dans l'EPS certaines familles présentes sur la tourbière : Droseraceae, Equisetaceae, Fabaceae, Juncaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae et Violaceae. Certaines sont entomogames (Droseraceae, Fabaceae notamment) et généralement peu abondantes dans les spectres polliniques, mais leur absence dans nos résultats vient surtout du caractère exploratoire de notre travail. Les herbacées

ont un enregistrement lié à leur présence *in situ* et, à l'exception des Cyperaceae, sont souvent sous-représentées dans les tourbières (Brugiapaglia et al., 1998). De plus, le pollen des Juncaceae est difficilement discernable de celui des Cyperaceae (Brugiapaglia et al., 1998). La végétation bryophytique locale est également invisible dans les enregistrements polliniques : bien que trois espèces de Sphagnaceae et deux espèces de Polytrichaceae ont été relevées sur la tourbière, l'enregistrement de spores en surface est nul.

Enregistrement de la végétation passée

Selon leurs caractéristiques, les grains de pollen comptés peuvent être d'apport local (la tourbière et ses bordures) ou régional (sur un rayon de 30 km). Par exemple, la capacité de dispersion de *Corylus* est très importante (Finsinger et al., 2005). Dans un premier temps, la comparaison de notre diagramme avec des diagrammes relativement proches permet de définir l'apport régional de l'apport local pour certains taxons. Ainsi, *Corylus*, *Fagus*, *Pinus* et *Quercus* caractérisent l'apport régional, tandis que les herbacées semblent être d'origine locale. Un amas de pollen de *Salix* a été observé à 84 cm, il correspond à une étamine. Ceci permet de considérer *Salix* comme un taxon local à cette profondeur. Les bouleaux et les fougères, dont les courbes sont associées sur le diagramme de Reille (1988), ne peuvent a priori pas être distingués comme locaux ou régionaux. Le genre *Betula* comprend en France trois espèces, qui ne peuvent être discriminées par leur pollen : *Betula pubescens* et le très rare *B. nana*, qui se développent en tourbière, et *B. pendula* qui est un pionnier hygromésophile des forêts de montagne. Toutefois, l'analyse des données palynologiques permet de proposer une interprétation quant à leur origine passée. Aux Nassettes, la dynamique de *Betula* et des fougères est clairement en antiphase avec celle des Cyperaceae (Reille, 1988). Puisque ces dernières sont assurément locales (abondance dans les relevés, et un amas de pollen correspondant à une étamine observé à 196 cm), l'enregistrement pollinique passé de

Betula et des fougères peut donc également être considéré comme local.

2- Conservation du pollen

Le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) proposé par Cornet & Wales (2020) augmente légèrement entre 200 et 50 cm de profondeur, avec 0,2 cm/an d'écart. A influx pollinique (IP) constant, les variations de la CP devraient être inversement proportionnelles au TAS (Hindryckx, 1999). Or, les fluctuations de CP observées (Fig. 3) ne suivent pas cette tendance. Cette différence entre les CP observées et les CP attendues pourrait révéler la variabilité des conditions de piégeage (ruisseau/tourbière, butte/dépression...) pouvant être associée à une dégradation plus ou moins importante des assemblages polliniques. Le postulat d'un influx pollinique constant ne peut s'appliquer qu'à des végétations comparables. Ce n'est en particulier pas le cas du niveau basal, daté du Tardiglaciaire (Dryas récent ; Reille et al., 1996). Durant cette période, la végétation steppique, ouverte et éparse, produisait très probablement une quantité de pollen très inférieure à celle des végétations forestières de l'Holocène, ce qui explique la faible CP de ce niveau.

En ce qui concerne l'Holocène, la moyenne des CP obtenues est d'environ 100 000 grains/cm³, ce qui peut être considéré en première approximation comme la valeur "normale". Les niveaux présentant des CP inférieures à cette valeur sont en outre caractérisés par de forts taux d'indéterminés (16 à 23%, contre environ 8% pour les autres niveaux). Ces deux indicateurs suggèrent une dégradation des assemblages polliniques, pouvant être liée à des variations des conditions environnementales, comme des épisodes d'assèchement (Tang et al., 2011). L'existence passée de changements des conditions locales est traduite par le log stratigraphique (Fig. 3) très hétérogène, qui montre une alternance de zones fibreuses et aérées et de zones plus compactes et denses.

La composition en microfossiles de la tourbière dépend à la fois de la végétation locale et de la profondeur de la nappe

phréatique, qui varie selon la microtopographie (Hindryckx, 1999). Le log stratigraphique (Fig. 3) très hétérogène en témoigne, avec une alternance de zones fibreuses et aérées et de zones plus compactes et denses. Le niveau 28 est par exemple l'échantillon le plus proche de la nappe aquifère portant le tremblant (Fig. 1), or sa CP est très faible. L'influence des disparités locales de compaction et d'accumulation de la tourbe sur les variations de la CP s'ajoute donc à celle de la dégradation variable du pollen.

La courbe des moyennes glissées (Fig. 3) donne ainsi une représentation de la tendance générale des variations de la CP, en partant du postulat selon lequel les fluctuations régulières observées représentent un bruit lié aux modifications du taux d'accumulation de la tourbe (Muller et al., 2000). Elle permet de comparer cette variation globale à celle du TAS. Même si une légère antiphase est observée, cette dernière ne permet d'en déduire une relation anti-proportionnelle (Hindryckx, 1999). En conclusion, on ne peut exclure des erreurs de manipulations lors de l'extraction du pollen ou des erreurs de comptage à la faible expérience des analystes.

3- Cohérence du modèle d'âge et de la zonation

Le diagramme pollinique rend compte, dans son ensemble, d'une dynamique végétale similaire à celle des études antérieures réalisées dans la tourbière des Nassettes (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006). Quelques anomalies régionales peuvent être notées, comme la régression de *Corylus*, dont l'enregistrement est deux fois moins important que celui observé par Reille (1988), et la phase de *Quercus* caduc durant l'Atlantique. Des différences locales sont aussi notables, la présence continue de *Salix* par exemple. Ces anomalies peuvent être attribuées à la faible résolution (28 cm) de notre analyse. Nos résultats ne présentent par exemple qu'une courbe "lissée" de *Betula* (sans les pics et les creux présents chez Reille, 1988) et ne permettent pas de visualiser l'optimum de *Corylus*. Le pourcentage

d'indéterminés (23% au maximum pendant l'Atlantique) peut également fausser le pourcentage pollinique de l'ensemble des taxons. C'est notamment le cas du niveau 140 cm, où la potentielle dégradation du pollen a pu réduire l'enregistrement de *Quercus* caduc.

Les niveaux tourbeux représentant le même évènement paléobotanique n'ont pas nécessairement la même épaisseur selon la microtopographie de la tourbière (Hindryckx, 1999). L'accumulation résulte du rapport production/décomposition. La décomposition et la production sont plus importantes dans les dépressions humides que sur les buttes, plus sèches.

La topographie irrégulière de la tourbière (Cornet & Wales, 2020) et l'enregistrement de *Cerealia*-type, *Picea* et *Pinus*, plus étalé dans notre étude que chez Reille (1988), suggère que la surface du diagramme de Reille (1988) correspond aux 30 premiers centimètres de notre diagramme.

Les délimitations Atlantique/Subboréal et Subboréal/Subatlantique ne concordent pas avec les dynamiques de *Fagus* et de *Cerealia*-type qui devraient respectivement caractériser le début du Subboréal et le début du Subatlantique (Reille & de Beaulieu, 1981; Pulido Avila, 2006; Plancher, 2017). Ceci peut signifier que l'émergence des taxons n'est pas visible sur notre diagramme, ou que la frise chronologique proposée n'est pas correcte. Une des limites importantes à nos interprétations est de ne pas avoir inclus certains taxons clés dans l'analyse, en particulier *Tilia*, qui peut définir l'Atlantique (de Beaulieu et al., 1987), d'autant plus qu'il a été observé par une des analystes au niveau 112 (fin de l'Atlantique) ; et *Juniperus*, qui marque le Bölling-Alleröd (période de réchauffement comprise entre le Dryas ancien et le Dryas récent ; de Beaulieu et al., 1985).

4- Histoire et contexte des dynamiques végétales passées

Tardiglaciaire

Notre étude révèle pour la première fois un enregistrement tardiglaciaire à l'échelle des Cévennes. La datation ¹⁴C de 13 490-13 260

cal. BP, obtenue à 204-205 cm de profondeur (profondeur corrigée) et le cortège floristique steppique indiquent clairement que la base de la carotte se situe dans le Tardiglaciaire récent. La résolution de la présente étude (2 échantillons pour le Tardiglaciaire et le Préboréal) ne permet pas d'observer les dynamiques végétales propres à chaque sous-période. Il est toutefois possible d'identifier un assemblage dominé par des taxons non arboréens, traduisant un milieu ouvert (Poaceae, *Artemisia*; McLachlan & Brubaker, 2011) accueillant quelques ligneux hygrophiles (*Betula* et *Salix*). Cette végétation correspond à une steppe froide et/ou une toundra. Le climat associé est favorable aux conifères nordiques, plus résistants que les feuillus chez lesquels le gel peut provoquer des embolies, et qui ont constitué de petits boisements (refuges) dans l'Europe centrale et du sud à cette période (Birks & Willis, 2010). A la base de la carotte, *Pinus* est pourtant très peu enregistré. Au vu de sa forte pollinisation et de son importante capacité de dispersion pollinique, cela traduit certainement son absence ou du moins sa rareté à l'échelle régionale. En revanche, *Betula*, taxon pionnier du Tardiglaciaire (de Beaulieu et al., 1985; Guiter et al, 2005; Naughton et al., 2007), est présent dans notre enregistrement du Dryas récent. Son occurrence pollinique dès la base de notre séquence confirme la date radiocarbone, qui la situe à la fin du Bölling-Alleröd ou au début du Dryas récent.

L'augmentation des températures durant le Bölling-Alleröd (de Beaulieu et al., 1994), l'augmentation des précipitations, enregistrée par l'élévation des niveaux lacustres des Pyrénées au Jura pendant le Dryas récent (Guiter et al, 2005), et le fait que le Mont Lozère n'a probablement jamais été complètement englacé (Buoncrisiani & Campy, 2004) contrairement aux régions voisines (l'Aubrac, par exemple), suggère que les Nassettes auraient reçu un apport d'eau important au début de l'Holocène, permettant le développement d'une tourbière minérotrophe (fen). Les fens, dont l'alimentation en eau provient du ruissellement (Cholet, 2010), sont dominés par des Cyperaceae, comme la tourbière

voisine du Peschio. D'après le GRET (2016), l'association *Salix-Cyperaceae-Betula nana* est un bon marqueur de la présence de ce type de tourbière. La fin du Tardiglaciaire est bien observable avec la CHA (zone 1, entre 12 710 et 11 500 cal. BP), qui montre un changement de végétation correspondant au passage des steppes froides aux mégaphorbiaies arborées du Préboréal (de Beaulieu et al., 1987; Reille, 1990).

Histoire de la végétation locale et régionale

Les noisetiers (*Corylus*) qui apparaissent durant le Préboréal (entre 11 700 et 10 100 cal. BP) sont des arbustes des forêts caducifoliées ou de conifères (Finsinger et al., 2005). Il est possible que le paysage de la tourbière au Préboréal fut d'abord constitué d'une bétulaie, pour rapidement évoluer vers une pinède à la suite de l'expansion régionale de *Pinus*, sous l'effet du réchauffement du climat du début de l'Holocène (Reille, 1988). Les populations humaines étaient déjà présentes dans le Massif Central, à cette période qui correspond à la fin du Paléolithique et au début du Mésolithique (Daugas & Raynal, 1987). Au Boréal, les taxons mésophiles remontent vers le nord depuis leurs refuges glaciaires. Ainsi, les chênes font leur apparition, pendant que les espèces arctiques-alpines (pin, bouleau, armoises) sont relayées en altitude et/ou vers le nord (Birks & Willis, 2010). Les ormes, qui se développent dans les forêts caducifoliées, sont enregistrés postérieurement aux chênes durant l'Atlantique (8900-5400 cal. BP), période qui correspond à l'optimum climatique de l'Holocène (Reille, 1988; Muller, 2005). Entre la fin de l'Atlantique et le début du Subboréal, les glaciers ont mondialement connu une avancée (Mercer, 1967), impliquant un refroidissement global du climat, peut-être représenté par une réapparition des armoises observable sur le diagramme. Les premiers grains de pollen anthropiques apparaissent dans le Massif Central au Néolithique (Miras et al, 2004). La question du rôle des activités anthropiques dans la modification des structures végétales, et particulièrement dans l'expansion de la hêtraie-sapinière au Subboréal (5400 cal. BP),

est de plus en plus étudiée (Miras et al, 2004). Giesecke et al (2006) considèrent que trop peu d'indices, notamment la fréquence des feux, impliquent directement l'Homme. Ainsi, la dispersion de *Fagus* depuis ses refuges aurait été limitée par des conditions locales (Magri, 2006). La chute de *Fagus* est souvent associée dans la littérature à l'Époque Romaine, durant laquelle les populations ont exercé une forte pression sur les milieux naturels (Muller, 2005). Les pics de feux observés entre environ 1500 et 800 cal. BP par Cornet & Wales (2020) témoignent du rôle des populations humaines dans ce changement. La CHA (zone 2B) révèle une modification de la végétation entre 1760 et 460 cal. BP, soit entre l'Époque Romaine et la fin du Moyen-Âge. Cette zone semble postérieure à l'assèchement de la tourbière observé par Reille (1988). Le site a connu un appauvrissement en *Alnus* (70-42 cm), typique des milieux à forte rétention d'eau (Claessens et al., 2010). On peut donc imaginer que le réchauffement de l'Holocène (Ozenda, 1994) et l'action anthropique (déforestation agricole) ont favorisé le passage à une tourbière ombrotrophe (de Beaulieu & Gilot, 1972). Les apports en eau y sont plus atmosphériques que terrestres, et elle est caractérisée par les sphaignes (*Sphagnum* spp.), la linaigrette (*Eriophorum vaginatum*), des Ericaceae et des conifères (GRET, 2016). Actuellement, la forte pluviométrie dans les Cévennes peut appuyer cette hypothèse, ainsi que l'importance de *Sphagnum capillifolium* (occurrence de 5) dans le relevé de végétation indiquant que la tourbière est recouverte de buttes de sphaignes ombrophiles (Cholet, 2010).

CONCLUSION

La comparaison entre l'analyse pollinique et les relevés phytosociologiques a permis de mettre en évidence un certain nombre de taxons locaux, notamment *Betula*, *Calluna* et les Cyperaceae, discriminés des taxons régionaux tels que *Cerealia*-type, *Corylus*, *Pinus* et *Quercus*. En revanche, certains taxons identifiés sur la tourbière ne se retrouvent pas dans l'enregistrement pollinique, et ne peuvent de ce fait pas être

utilisés dans le registre fossile. C'est le cas des Droseraceae, Equisetaceae, Fabaceae, Juncaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae et Violaceae. Magri (2006) a par exemple noté la présence de macrorestes de *Fagus* à un niveau pour lequel son enregistrement pollinique était nul. L'absence du pollen ne signifie donc pas systématiquement l'absence de la plante. Elle peut être liée aux caractéristiques taphonomiques, comme la fragilité de certains grains de pollen par exemple (Reille, 1978), mais aussi à la faible dispersion/production de certains taxons, ou encore à une reproduction entomogame (Piroux, 2014). De plus, le type de milieu, la géographie, la compétition interspécifique et la conservation de la tourbe (Reille, 1978) sont des facteurs à considérer dans la lecture des dynamiques végétales, car ils peuvent induire des fluctuations dans l'enregistrement pollinique.

L'histoire de la végétation reconstituée par le diagramme pollinique concorde avec les dynamiques déjà connues et établies par les autres analyses dans l'ensemble de l'Europe pour la période de l'Holocène. Elle corrobore plus précisément celle du Massif Central, en Aubrac par exemple (de Beaulieu et al., 1985), où l'on retrouve bien l'enchaînement pinèdes, chênaies caducifoliées, hêtraies-sapinières, et les déboisements majeurs de l'Holocène récent. Plus localement, elle correspond bien aux analyses effectuées auparavant dans la tourbière des Nassettes (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006). Afin d'affiner la comparaison avec d'autres sites, il aurait été pertinent d'utiliser uniquement les taxons régionaux pour la CHA, contrairement à celle de cette étude, réalisée aussi à partir des taxons locaux qui ne correspondent pas aux grands assemblages végétaux de l'Holocène et faussent donc la zonation.

La datation radiocarbone de la base de la séquence (13265-13489 cal. BP) est bien plus ancienne que les dates basales proposées dans les précédentes investigations du site. Elle est appuyée par l'analyse pollinique qui confirme bien un enregistrement de la végétation typique de la fin du Tardiglaciaire (steppes froides dominées par *Artemisia* et des

Cyperaceae). Le Tardiglaciaire est peu connu dans le sud du Massif Central, et n'était enregistré à ce jour que dans la tourbière de Canroute (Muller et al., 2019). Ce travail, en comparaison de celui des Monts de Lacaune, prouve qu'il existe d'autres enregistrements tardiglaciaires dans le sud du Massif Central. Il ouvre ainsi des perspectives sur la recherche et la compréhension de cette période encore inconnue dans la région. Il serait intéressant d'affiner les prospections dans les tourbières à enregistrements déjà relativement vieux, et de réaliser des travaux similaires sur d'autres tourbières du Massif Central. Cela permettrait notamment d'approfondir la réflexion sur l'origine de ces tourbières, dont l'apparition pourrait être le fruit de changements importants des conditions climatiques et locales, telles que la modification des réseaux hydrographiques ou la fonte de glacier sommitaux (Muller et al., 2019). De ce fait, la comparaison avec des courbes climatiques régionales pourrait apporter des explications plus précises sur les variations du modèle âge-profondeur observées par Cornet & Wales (2020).

REFERENCES

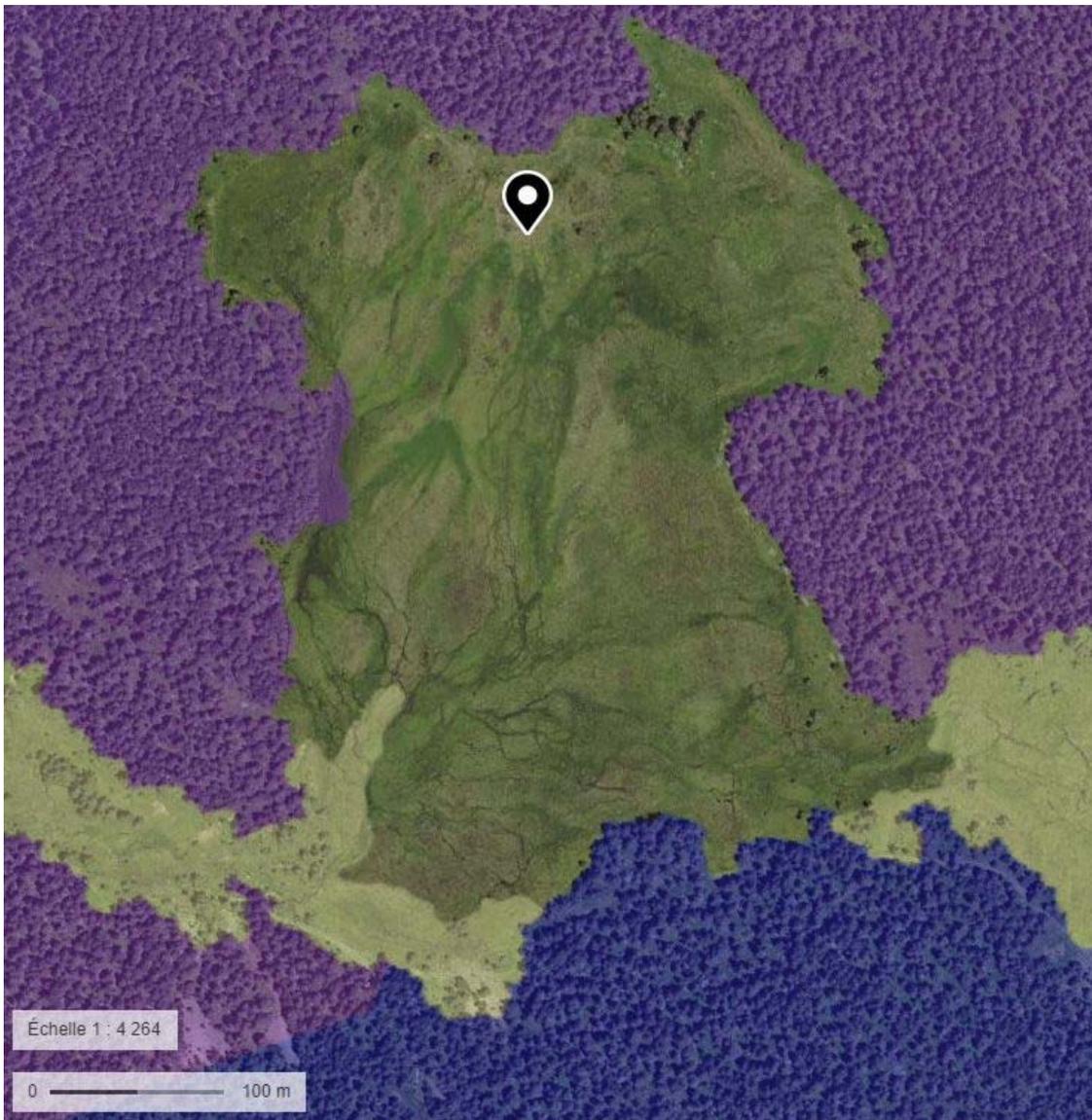
- de Beaulieu J-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, t. 274.
- de Beaulieu J-L., Pons A. & Reille M. (1985). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation 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*, 25 : 27-32.
- de Beaulieu J-L., Andrieu V., Lowe J.J., Ponel P. & Reille M. (1994). The Weichselian Late-glacial in southwestern Europe (Iberian Peninsula, Pyrenees, Massif Central, northern Apennines). *Journal of Quaternary Science*, 9 : 101-107.
- Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. In: B.E. Berglund (éd.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Chichester, UK, pp. 84-455.
- Bertrand J., Renon J.P., Monnier O & Ector. (2004). Relation Diatomées épiphytes-Bryophytes dans les tourbières du Mont Lozère (France). *Vie et Milieu*, 54(2-3) : 59-70.
- Birks, H.J.B. (1996). Contributions of Quaternary palaeoecology to nature conservation. *Journal of Vegetation Science*, 7 : 89-98.
- Bottollier-Curtet M. & Muller S.D. (2009). Dynamique et contexte passés du développement d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France). *Comptes Rendus Biologies*, 332 : 69-82.
- Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community*. McGraw Hill Book, New York, 432 p.
- Birks H. J-B. & Willis J.K. (2008). Alpines, trees, and refugia in Europe. *Plant Ecology & Diversity*, 1:(2) 147-160.
- Braun-Blanquet J. (1953). Essai sur la végétation du Mont Lozère comparée à celle de l'Aigoual. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 100(10) : 46-59.
- Brooks J. & Shaw G. (1978). Sporopollenin: A review of its chemistry, palaeochemistry and geochemistry. *Grana*, 17(2) : 91-97.
- 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.
- Buoncristiani J-F, Campy M. (2004). Palaeogeography of the last two glacial episodes in the Massif Central, France. *Developments in Quaternary Science*, 2:111-112
- Cholet J. (2010). Chapitre 6 : Quelle place pour les arbres en tourbière ? In: *Guide de*

- gestion "tourbières des montagnes françaises".* Pôle-relais Tourbières/Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, en partenariat avec la Communauté de communes Frasnè-Drugeon, pp. 128-149.
- Claessens H., Oosterbaan A., Savill P. & Rondeux J. (2010). A review of the characteristics of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and their implications for silvicultural practices. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83(2) : 163–175.
- 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.
- Cubizolle H., Georges V., Latour C., Argan J. & Serieyssol K. (2004). La turfigenèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif Central oriental granitique (France): une manifestation de l'action humaine ? *Quaternaire*, 15(4) : 343-359.
- Daugas J.-P. & Raynal J.-P. (1987). Paléomilieus et comportements humains de la fin des temps glaciaires à l'Atlantique dans le sud du Massif Central. *Colloque International du C.N.R.S.*, Montpellier, éditions du C.N.R.S., Paris, pp.107-124.
- Dubois M. & Plancher C. (2017). Dynamiques paléoenvironnementales holocènes de la tourbière de Lapsou (Cantal, France). *Orpalm Synthesis*, 10(2) : 37-48.
- Etlicher B., Van Leeuwen J.F.N., Janssen C.R. & Juvigné E. (1987). Le Haut Forez (Massif Central, France) après le pléniglaciaire würmien : environnement et tephra du volcan de La Nugère. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 24(4) : 229-239.
- Fernez T., Lafon P. & Hendoux F. (2015). Partie 2 : Végétations des Tourbières. In: *Guide des végétations remarquables de la région Ile-de-France*. pp. 44-53.
- Firbas F. (1932). Contribution à l'Histoire postglaciaire des forêts des Cévennes Méridionales. *Communication n°15*, station Inter. de Géobotanique Médit. et Alpine, Montpellier, 16 p.
- Finsinger W., Tinner W., van der Knaap W.O., Ammann B. (2005). The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews*, 25 : 5-6.
- GRET (2016). *Tourbières minérotrophes naturelles d'intérêt écologique du Bas-Saint-Laurent*. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 59 p.
- Guiter F., Andrieu-Ponel V., Digerfeldt G., Reille M., de Beaulieu J.-L. & Ponel P. (2005). Vegetation history and lake-level changes from the Younger Dryas to the present in Eastern Pyrenees (France): pollen, plant macrofossils and lithostratigraphy from Lake Racou (2000m a.s.l.). *Vegetation History and Archaeobotany*, 14 : 99-118.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). PAST : Paleontological Statistics Software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 1-9.
- Heinz C. & Thiébault S. (1998). Characterization and Palaeoecological Significance of Archaeological Charcoal Assemblages during Late and Post-Glacial Phases in Southern France. *Quaternary research*, 50 : 56-68.
- Hindryckx M.-N. (1999). *Evolution régressive récente de la végétation des tourbières hautes à sphaignes en Haute Ardenne (Hautes-Fagnes, Belgique)*. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, 269 p.
- Jorda M. & Rosique T. (1994). Le Tardiglaciaire des Alpes françaises du Sud: Rythme et modalités des changements biomorphoclimatiques [The late glacial period of the southern french Alps : Rythm and modes of bio-morphoclimatic changes]. *Quaternaire*, 5(3-4) : 141-149.
- Jowsey P.C. (1966). An improved peat sampler. *New Phytologist*, 65 : 245-248.
- Macqueron G. (2009). Compte rendu de sortie de la section botanique en cause Méjean, dans les Cévennes et au Mont Lozère, du 26 au 30 mai 2007. *Bulletin mensuel de la*

- Société linnéenne de Lyon*, 78^e année, 1-2 : pp. 5-10.
- Magri D., Vendramin G-G., Comps B., Dupanloup I., Geburek T., Gömöry D., Latałowa 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. *The new phytologist*, 171(1):199-221.
- McLachlan J.S., Brubaker L.B. (2011). Local and regional vegetation change on the northeastern Olympic Peninsula during the Holocene. *Canadian Journal of Botany*, 73(10) : 1618-1627.
- Mercer J.H. (1967). Glacier resurgence at the Atlantic/sub - Boreal transition. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 93(398) : 528-534.
- Muller S.D., David F. & Wicha S. (2000). Impact de l'exposition des versants et de l'anthropisation sur la dynamique forestière dans les Alpes du Sud (France). *Géographie physique et Quaternaire*, 54(2) : 231-243.
- Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.
- 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.
- Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.
- Naughton F., Sanchez Gõni M.F., Despart S., Turon J-L., Durat J., Malaizé B., Joli C., Drago T., Freita M.C. (2006). Present-day and past (last 25 000 years) marine pollen signal off western Iberia. *Marine Micropaleontology*, 62(2) : 91-114.
- Noël F. (2016). Récentes découvertes malacologiques en Mayenne : *Vertigo substriata* (Jeffreys, 1833), *Acicula fusca* (Montagu, 1803), *Boettgerilla pallens* Simroth, 1912 et *Tandonia sowerbyi* (Férussac, 1823) (Mollusca : Gastropoda). *Invertébrés Armoricaux*, 14 : 53-65.
- Ozenda P. (1994). *Végétation du Continent Européen*. Editions Delachaux et Niestlé, Paris, 271 p.
- Piroux M. (2014). *Ressources pollinifères et mellifères de l'Abeille domestique, Apis Mellifera, en paysage rural du nord-ouest de la France*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, pp. 134-139.
- 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*. Mémoire de M1, Université de Montpellier. [2]
- Pons A., Reille M. et de Beaulieu J.-L. (1989). La végétation du Massif Central depuis la fin du dernier glaciaire. *Revue de la Société Naturelle d'Auvergne*, 55 : 87-95.
- 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, 30 p. [3]
- Reille M. (1978). Analyse pollinique du lac de Sidi Bou Rhaba, littoral atlantique (Maroc). *Ecologia Mediterranea*, 4 : 61-65.
- 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 planèze de Saint-Flour. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 292(3): 243-246. [1]
- 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.
- Reille M. (1990). *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. Éditions du CNRS, 204 p.
- Reille M., Andrieu V. & de Beaulieu J.-L. (1996). Les grands traits de l'histoire de la végétation des montagnes méditerranéennes occidentales. *Ecologie*, 27(3) : 153-169.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafliðason

- H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55 : 1869-1887.
- Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- Tang Z., Ding Z., White P. D., Dong X., Ji J., Jiang H., Luo P. & Wang X. (2011). Late Cenozoic central Asian drying inferred from a palynological record from the northern Tian Shan. *Earth and Planetary Science Letters*, 302 (3) : 439-447.
- Tison J. M. & De Foucault B. (2014). *Flora Gallica: Flore de France*. Edition Biotope, Mèze, 1196 p.
- Vives S.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 Lozere (Massif Central, France) during the last 2000 years: The interdisciplinary study case of Countrasts peat bog. *Quaternary International*, 353 : 123-139.

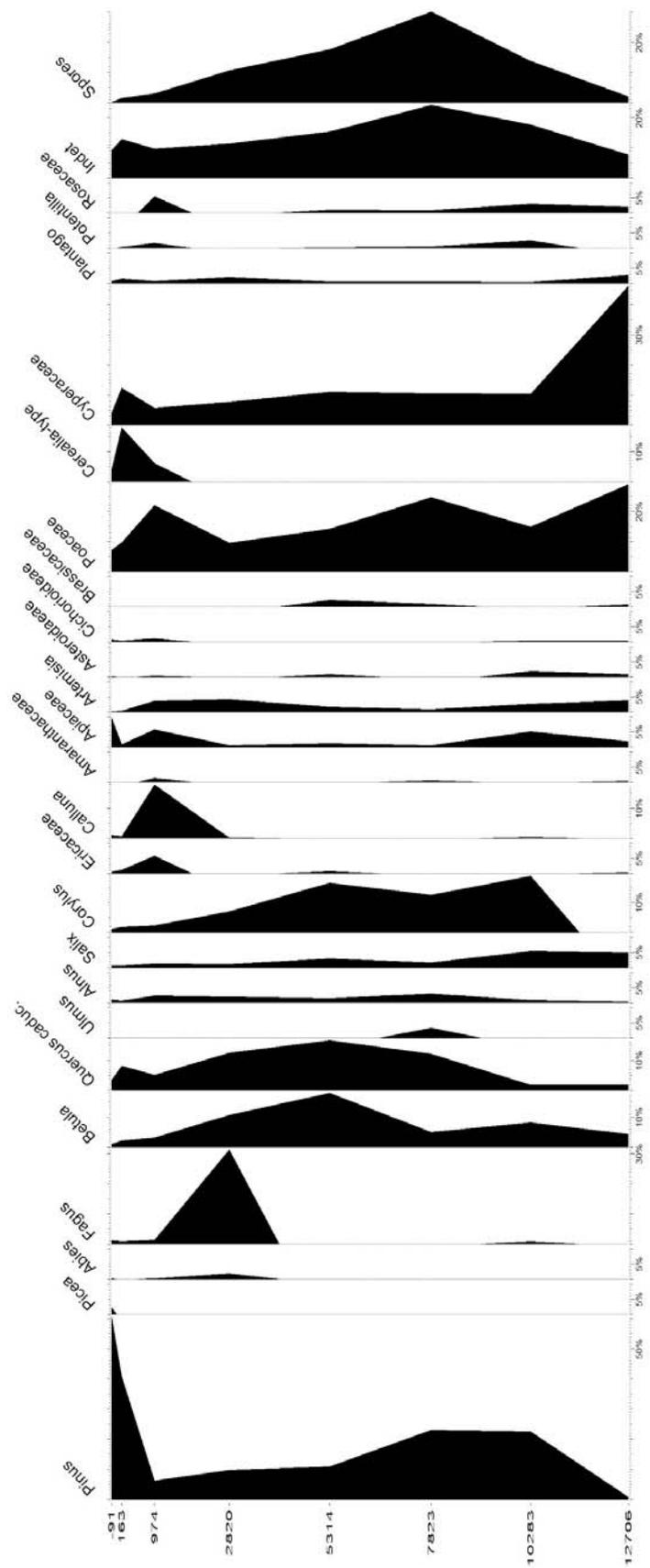
ANNEXE 1. Cartographie de la tourbière des Nassettes avec géo-localisation des carottages figurée par le repère noir ([Géoportail](#)). La zone violette correspond aux forêts fermées de pins sylvestres purs (relevé botanique 12), la zone bleue aux forêts fermées à mélanges de conifères, les zones vert pâle aux landes et formations herbacées, la tourbière se situe au centre.



ANNEXE 2. Table récapitulative des 12 sites de relevés botaniques (code utilisé pour l'analyse factorielle, type de formation végétale et recouvrement)

ORPAL 2019			Recouvrement (%)			
			Total	Herbacées	Ligneux	Bryophytes
Relevés du 05/09/2019						
1	PEL	Pièce d'eau libre (1 m ²)	30	30	0	0
2	TRE	Tremblant (tourbière de transition) (2 m ²)	100	30	0	90
3	BIN	Butte intermédiaire (bas marais acide) (2 m ²)	100	65	<5	80
4	BUT	Butte (1 m ²)	95 (15 % litière)	60	50	20
5	BLV	Butte à linaigrette vaginée (1 m ²)	100	90	25	25
6	PEL2	Pièce d'eau libre 2 (2 m ²)	45	45	0	30
7	TRE2	Tremblant (tourbière de transition) 2 (n.r.)	100	45	0	90
8	BIN2	Butte intermédiaire (bas marais acide) 2 (n.r.)	100	60	15	85
9	BMI	Butte minéralisée (n.r.)	100	40	30	95
10	BUT2	Butte 2 (1 m ²)	90	70	45	25
11	NAL	Nardaie/Lande (10 m ²)	90	85	10	0
12	FOR	Forêt (100 m ²)	90	45	75	30

ANNEXE 3. Diagramme pollinique temporel (en pourcentage) de la tourbière des Nassettes.



ANNEXE 4. Table récapitulative des correspondances profondeur-âge évalué à partir du modèle d'âge (première colonne) proposé par *Cornet & Wales (2020)* utilisées pour la zonation du diagramme pollinique (*Fig. 2*)

Age (cal. BP)	Profondeur (cm)	Période	Age réel (cal. BP)
-91	0	SubAtlantique	-65
2820	84	SubBoréal	2800
5405	113	Atlantique	5400
8883	152	Boréal	8900
10109	166	PréBoréal	10100
11671	184	Dryas Récent	11700
12706	196		12700

ÉTUDE DENDROCLIMATIQUE DE PINS SYLVESTRES (*PINUS SYLVESTRIS*) DANS DIFFÉRENTS MILIEUX DU MONT LOZÈRE (CÉVENNES, GARD)

Bert Candys ¹, Plume Laurent ², Tournier Maxime ³

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

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

¹ candys.bert@etu.umontpellier.fr, ² laurent.plume@etu.umontpellier.fr,

³ maxime.tournier@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Benoît Brossier

Citation : Bert C., Plume L. & Tournier M. (2020). Étude dendroclimatique de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) dans différents milieux du Mont Lozère (Cévennes, Gard). *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 47-59.

Résumé : Cette étude porte sur les réponses du pin sylvestre sur différents milieux du Mont Lozère soumis aux mêmes conditions climatiques. L'analyse des cernes de croissance met en évidence des différences dans la réponse des individus aux variations climatiques selon les conditions environnementales. De fortes précipitations induisent une faible croissance des cernes en hiver et en automne sur un sol tourbeux et une forte croissance en été sur un sol granitique. Cela est dû respectivement à une forte et une faible abondance en eau. De fortes températures estivales et printanières influencent négativement les cernes d'individus issus d'une forêt plus dense.

Mots clés : dendrochronologie, largeur de cerne, tourbière, variables climatiques

Abstract: *Dendroclimatic study of Scots pine on different environments of Mont Lozère (Cévennes, Gard).* This study is about the responses of Scots pine on different environments of Mont Lozère under the same climatic conditions. The analysis of tree rings shows differences in the response of individuals to climatic variations according to environmental conditions. Strong rainfall induces a weak growth of rings in winter and autumn on a peat soil and a strong growth in summer on a granitic soil. These are respectively due to a strong and a weak abundance of water. And strong temperatures in autumn and summer negatively influence tree rings in a more dense forest.

Keywords: dendrochronology, tree-ring width, bog, climatic variables

Le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), sujet de notre étude, est une espèce tolérante aux variations climatiques, qui présente une grande diversité génétique (Richardson, 1998 ; Médail, 2001). Elle s'adapte bien aux sols pauvres, acides et hydromorphes (Pérot et al., 2007). Le développement optimal de cette espèce serait sur un sol de sable siliceux sec ou une couche de terre à l'abri du vent

(Bravais & Martin, 1843). L'été se doit d'être court, chaud et humide avec une moyenne de 13 à 14°C, suivi d'un hiver rigoureux sec et froid dont la moyenne devrait être en dessous de -4°C (Bravais & Martin, 1843).

Les variations climatiques influent sur la croissance d'espèces forestières (Ciesla, 1997), comme le pin sylvestre (Le Meignen & Micas, 2008). Les derniers rapports du GIEC

prévoient une hausse moyenne de la température du globe et d'importantes variations climatiques (Auverlot, 2015). En France, il est prévu une augmentation des températures moyennes annuelles et des régimes de précipitation. Les précipitations seront plus fréquentes, mais les étés seront plus secs (Lebourgeois et al., 2001). Les régions à climat méditerranéen devraient devenir plus sèches (Ciesla, 1997). Cela pourrait affecter les Cévennes, où cette tendance est déjà présente dans la partie sud, et plus particulièrement au sud-est du Mont Lozère. Il est nécessaire de comprendre la variabilité spatiale des réponses aux variations climatiques. En effet, les conditions locales de croissance des arbres sont un facteur important dans l'élaboration de cette réponse (Oberhuber & Kofler, 2000 ; Bigler et al., 2006 ; Benavides et al., 2013). Afin de mettre en évidence cette variabilité, notre étude porte sur des populations de pins sylvestres localisées dans différents milieux.

D'autre part, les zones humides du Mont Lozère sont soumises à une dynamique de fermeture de milieu, notamment en raison de la colonisation par des ligneux comme le pin sylvestre (Lacoste, 2000). Dans certains cas, une intervention humaine peut se montrer nécessaire pour éviter cette fermeture. La protection de la tourbière des Narses Mortes située à environ 3 km de notre zone d'étude et la restauration de la tourbière de la Plaine en forêt domaniale du Suquet sur le massif du Mont Aigoual en 2017 en sont des exemples (source : fiche ZNIEFF 910007391, PNC). Cela montre potentiellement une influence anthropique affectant la dynamique de population des individus. Le pin sylvestre est une des principales espèces ligneuses colonisatrices de ces milieux sur le Mont Lozère (Lacoste, 2000). Il sera donc intéressant de comparer son développement sur un milieu tourbeux (ou à proximité) avec d'autres conditions édaphiques.

La dendrologie s'intéresse au développement des arbres et par conséquent à l'influence des facteurs biotiques et abiotiques (Lebourgeois & Mérian, 2012). La dendrologie peut se décliner en dendrochronologie. Elle permet de

reconstituer des changements climatiques et environnementaux ainsi que d'étudier la morphologie des arbres grâce à l'analyse des cernes de croissance (Lebourgeois & Mérian, 2012). L'objectif de notre étude sera d'utiliser la dendrochronologie pour analyser la réaction du pin sylvestre aux variations climatiques selon son milieu de vie.

MATERIEL & METHODES

1- Zone d'étude

La zone étudiée se situe au Nord des Cévennes, sur le massif du Mont Lozère (lat. 44° 28'7.655"N 3°37'28.686" E). Ce massif est majoritairement granitique et culmine à 1699 m d'altitude au Pic de finiels. Nous avons défini trois sites d'études se situant en périphérie de la tourbière des Nassettes, afin d'analyser différents milieux, potentiellement plus ou moins affectés par cette dernière. Celle-ci est dite minérotrophe, car ce milieu acide est composé de couches tourbeuses compactes et alimentées hydriquement par des écoulements de surface ou souterrains (Payette & Rochefort, 2001). Les différences entre les trois sites permettent de comparer la croissance du pin sylvestre en fonction de conditions environnementales distinctes. 32 individus ont été échantillonnés et cartographiés à l'aide de données GPS et du logiciel Qgis (Fig. 1).

Le site A ; qui s'étend sur environ 6876 m² à l'est dans la zone d'étude, est un environnement tourbeux. Il est constitué d'un ensemble d'individus parsemés, avec de nombreux juvéniles (< 10 ans). Il se situe à une altitude d'environ 1386 m.

Le site B, d'environ 7077 m², est à environ 50 m au nord de la tourbière, dans un milieu forestier assez dense composé d'individus de plus grande taille. On y trouve une communauté diversifiée composée de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), de hêtres (*Fagus sylvatica*) et en densités moindres, d'épicéas (*Picea abies*) et de sapins (*Abies alba*). Il se situe à une altitude d'environ 1395 m.

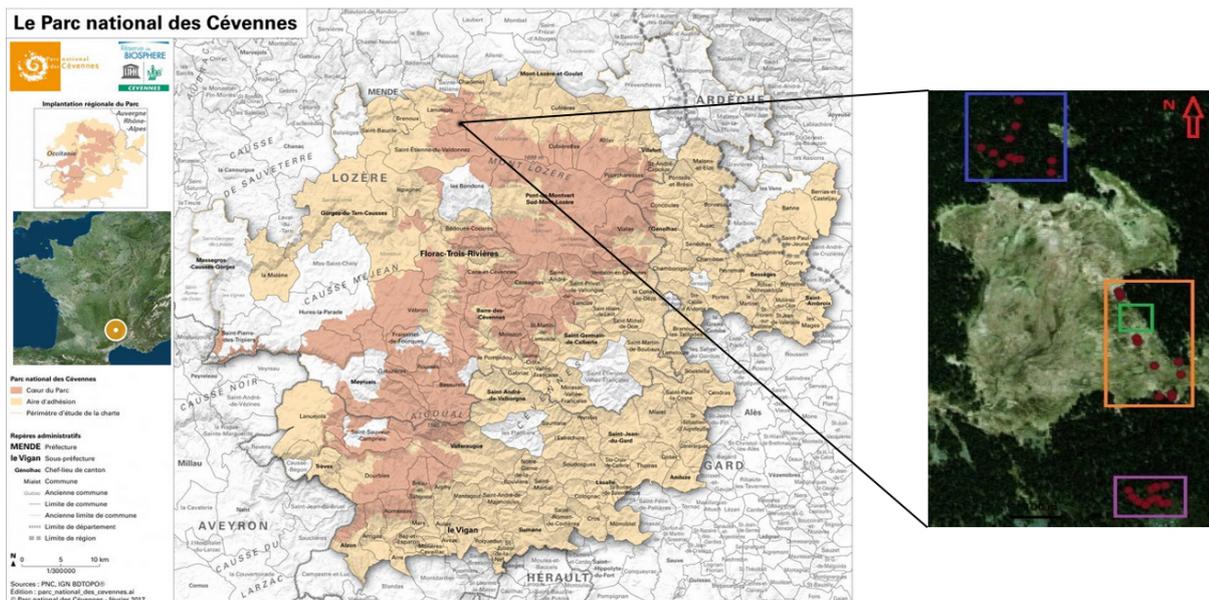


Figure 1. Positionnement des individus et des différentes zones sur le site de la tourbière réalisé avec Qgis. Les points rouges représentent les individus échantillonnés, les rectangles représentent les délimitations des zones (Orange : Zone A, Vert : Zone d'échantillonnage des souches, bleu : Zone B, Violet : Zone C).

Le site C, couvrant environ 1859 m², est localisé à 200 m au sud de la tourbière. Il se distingue des deux autres par un sol composé d'un substrat rocheux granitique et son altitude légèrement plus élevée, à environ 1413 m.

2- Méthodes de terrain

Des carottages ont été effectués sur les trois sites à l'aide d'une tarière de Pressler. Lors du prélèvement, la tarière est placée de manière perpendiculairement sur le tronc de l'arbre à environ 1 m du sol. La hauteur de prélèvement utilisée correspond à l'intermédiaire entre la hauteur de prélèvement au DHP (diamètre hauteur de poitrine), surtout utilisée

pour la dendroclimatologie et la hauteur de prélèvement au collet surtout utilisé pour la dendroécologie. L'objectif de cette manipulation est d'obtenir le maximum de cernes afin d'estimer le plus précisément possible l'âge des individus (Lebourgeois & Mérian, 2012). Pour cela, l'utilisateur doit effectuer le carottage de l'écorce jusqu'au centre de l'arbre. Deux carottes par individu ont été prélevées afin de limiter les biais éventuels liés à des facteurs externes sur les troncs (Lebourgeois & Mérian, 2012). Lors de notre étude, 64 carottes ont été extraites : 14 sur le site A, 24 sur le site B et 26 sur le site C. 8 souches furent également échantillonnées à l'aide d'une scie sur le site A (Table 1).

Table 1. Résumé des relevés prélevés sur les trois sites. * : corrélation significative à un risque α de 5%

	Site A	Site B	Site C
Nombre d'échantillons exploités	20 (14 carottes et 6 souches)	24 carottes	26 carottes
Nombre d'individus exploités	13	12	13
Période de temps couverte	1960 - 2019	1966 - 2019	1962 - 2019
Age moyen	32 (35 sans les souches)	45	39
TRW moyenne	332	350	341
Corrélation de Spearman (TRW) avec le site «...»	B : 0,20 C : 0,27	A : 0,20 C : 0,58*	A : 0,27 B : 0,58*

3- Méthodes de laboratoire

Préparation des échantillons

Les carottes et les souches ont été séchées à l'air libre, puis poncées avec une ponceuse à bande (Scheppach BSM 2010) en utilisant des bandes de différents grains successif, afin de créer une surface plane et de rendre le plus lisible possible les limites de cernes.

Analyse des échantillons

Les échantillons ont été numérisés avec un scanner (Epson perfection V600 photo, résolution : 2400 Dpi). Le logiciel CooRecorder 8.1 a ensuite permis le pointage, le décompte et la mesure des largeurs de cernes. La croissance des cernes dépend de l'influence des perturbations et de conditions environnementales. Leur variation, se traduit respectivement par des cernes étroits et larges. Leur mesure permet de comprendre l'influence des facteurs environnementaux sur les individus.

Ces données ont été soumises au logiciel CDendro 8.4 pour les convertir et les utiliser avec le logiciel TSAPWIN, qui permet de comparer la croissance des individus entre eux et de réaliser l'étape d'inter-datation pour estimer l'âge des individus (Girardclos & Perrault, 2010). Cette étape permet de rectifier les éventuelles erreurs obtenues lors du premier comptage. Elles peuvent être dues à l'absence d'écorce, à des cernes manquants ou à de faux cernes. Un outil du logiciel CDendro permet également d'estimer le nombre de cernes manquants en complément du logiciel TSAPWin et le logiciel COFECHA nous a permis de vérifier l'exactitude de notre interdatation. Ces logiciels nous ont permis d'obtenir une chronologie de la largeur des cernes de croissance pour chaque individu.

Après avoir défini deux rayons de comptage de cerne par souche, le même travail a été fait, à l'exception du logiciel TSAPWin. Cette fois, les individus des sites A, B et C ont été utilisés comme références afin d'en déduire l'âge des souches et leur année de coupe.

Analyse des données météorologiques

Afin d'étudier l'impact du climat sur les arbres, une analyse des données climatiques fournies par Météo-France a été réalisée. Nous n'avons utilisé qu'une seule station parmi un ensemble de relevés. La station sélectionnée est située à environ 10 km de la tourbière, à 1019 m d'altitude (44°30'21,6036" N 3°31'38,3988" E).

Les moyennes des températures et des précipitations saisonnières de chaque année ont été faites sur la période comprise entre 1979 et 2012. En effet, un arbre fonctionne selon un rythme saisonnier puisqu'il produit du bois initial pendant la période de croissance (Stokes & Smiley, 1996) correspondant en Europe au printemps et en été (Domisch et al, 2001), puis du bois final à la fin de l'été et début de l'automne.

Traitements statistiques

Il est nécessaire de calculer la corrélation inter-sites pour mettre en évidence d'éventuelles différences de croissance. Nous avons utilisé la corrélation de Spearman sous le logiciel R (Bunn et al., 2019 ; RStudio Team, 2019).

La suite de nos tests a été réalisée sur des données standardisées et sur les moyennes de largeurs de cernes ou TRW (*Tree-Ring Width*) de chaque site (en prenant en compte les souches pour la zone A). La standardisation permet d'uniformiser les données, mais aussi de prendre en compte la forte influence de l'environnement au début du développement (Lebourgeois & Mérian, 2012). L'impact du climat est estimé par la corrélation de Spearman car elle permet de mettre en évidence la relation entre deux variables : la variable climatique et la variable associée aux TRW. La significativité des corrélations est déterminée par un test bilatéral à un risque α de 5%. Des coefficients de corrélation ont été calculés pour les trois sites avec les deux variables étudiées. La méthode de Becker (Lebourgeois & Mérian, 2012) a permis de définir les années caractéristiques de croissance ou de décroissance de largeurs de cernes par un comptage d'occurrences d'individus dans la population ayant une variation de tendance similaire par rapport à

l'année précédente. Une année est dite caractéristique par rapport aux TRW lorsqu'elle influence à un certain degré la croissance et lorsque les écarts relatifs entre la largeur de cerne de l'année n et celle de l'année n-1 sont supérieurs à 10% en valeur absolue (Lebourgeois & Mérian, 2012).

Prendre en compte l'année n-1 permet d'inclure l'impact de l'année précédente sur l'arbre à l'année n (Fritts, 1962 ; Ogden & Ahmed, 1989). La méthode de Becker permet de donner en pourcentage les variations de croissance par rapport à l'année précédente (Lebourgeois & Mérian, 2012). Elle a été utilisée pour analyser la corrélation entre les TRW inter-sites, entre les précipitations et les TRW et entre les températures et les TRW. Nous nous intéresserons essentiellement aux années caractéristiques définies. Cela permet de mettre en évidence les corrélations du climat et aussi l'impact des saisonnalités sur les TRW.

RESULTATS

1- Résultats des données écologiques

L'âge des différents individus prélevés est très hétérogène selon les zones. La zone A est constitué d'individus plus jeunes en moyenne (moins de 35 ans) que les zones B et C (plus de 35 ans) (Table 1). Seul le test de corrélation de Spearman entre les sites B et C renvoie une corrélation significative concernant l'évolution des TRW selon un risque α de 5%. La méthode de Becker et la superposition des courbes chronologiques de largeurs de cernes standardisées des trois sites d'études ont mis en évidence les années caractéristiques de forte croissance : 1985, 1987, 2003, 2007 et de faible croissance : 2001, 2008 et 2013 (Fig. 2 ; Table 2). Le nombre d'individus présent entre 1960 et 1971 étant inférieur à 10, la détermination d'années caractéristiques pour cette période n'est pas possible, en accord avec les conditions d'application de la méthode.

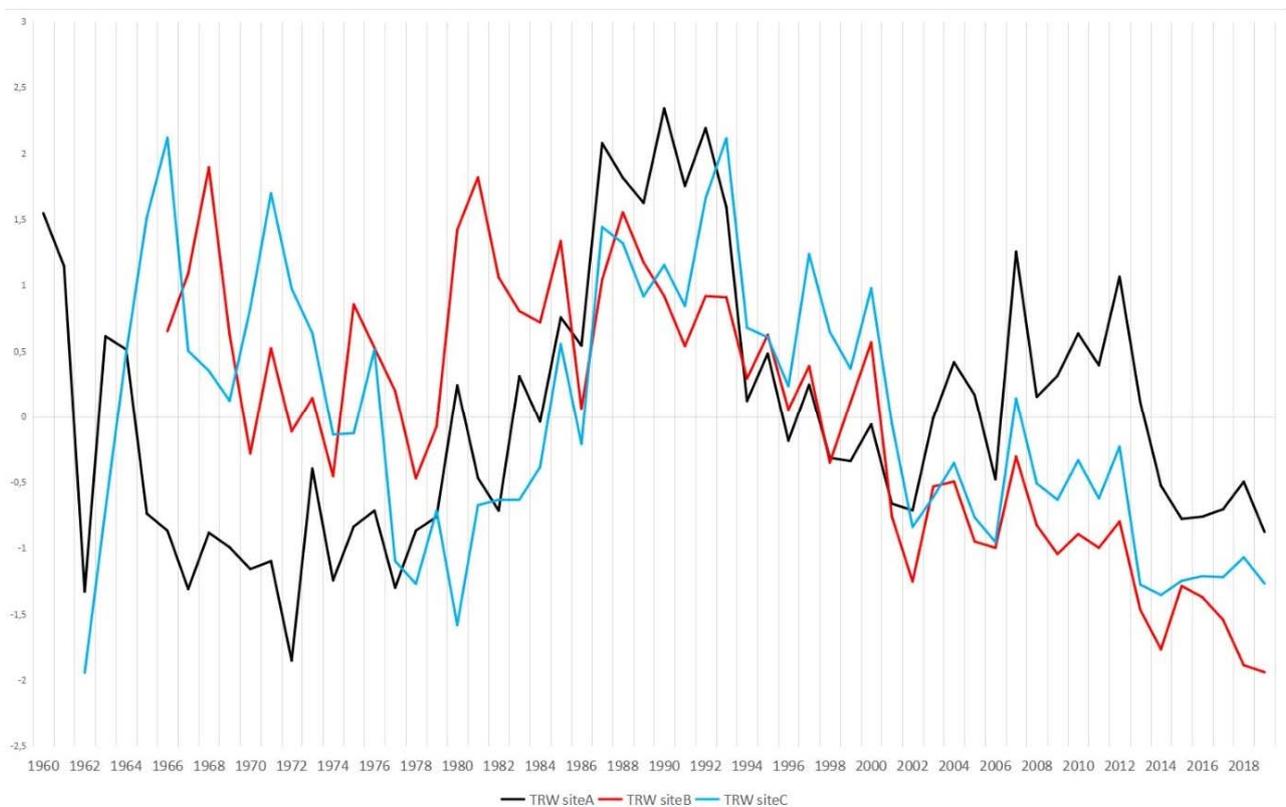


Figure 2. Représentation graphique des chronologies des largeurs de cernes de croissance (TRW) standardisées des trois sites. L'axe des abscisses correspond aux années des individus et l'axe des ordonnées aux largeurs de cernes standardisées.

Table 2. Mise en évidence des années caractéristiques par la méthode de Becker

Année caractéristique	Proportions d'individus avec un écart positif de variation de largeur de cerne de croissance par rapport à l'année précédente	Proportions d'individus avec un écart négatif de variation de largeur de cerne de croissance par rapport à l'année précédente
1985	76%	14%
1987	85%	3%
2001	11%	71%
2003	73%	8%
2007	82%	6%
2008	9%	76%
2013	3%	79%

2- Résultats des données dendrochronologiques

Le traitement des observations de terrain et l'âge des individus ont été regroupé [Table 1](#). Suite à des détériorations ou à l'absence d'écorce sur l'échantillon, certaines chronologies ne couvraient pas les dernières années (un cas pour le site B et deux pour le C, la dernière année étant respectivement 2018, 2015 et 2017).

L'année de coupe des souches a pu être datée, excepté pour deux échantillons demeurant trop différents des autres. Sur les 6 échantillons exploitables, un a été coupé en 2002, quatre en 2006 et un en 2015. L'observation de photos satellites datant de 2002 a montré que des individus avaient bien été coupés par rapport aux photos des années précédentes. De plus, nous sommes arrivés à estimer une année de feu pour l'arbre de la souche n°2 en 1989 grâce à l'observation d'un bourrelet de cicatrisation. En moyenne, les individus du site B ont des TRW plus larges que sur les deux autres sites ([Table 1](#)). L'écart moyen entre des cernes du site A et B est identique à celui entre le site C et B, soit 9 mm. Il y a des différences notables entre les moyennes des TRW, surtout entre le site A et le site B où on voit une différence en moyenne de 18 mm ([Table 1](#)).

3- Résultats des données dendroclimatiques

Des tendances similaires sont observées entre

les températures des différentes saisons tout au long de l'année, ainsi qu'entre les sites ([Fig. 3](#)). On observe également des concordances entre les pics des TRW et ceux des températures des différentes saisons. Une augmentation des températures semble induire une croissance des TRW (années 1987 et 1997). Et la relation inverse est également observable (années 1991 et 1998). On relève aussi l'impact des conditions climatiques des années précédentes comme pour la croissance en 1985 avec une diminution des températures estivales, printanières et automnales l'année passée ([Vitas & Erlickytė, 2007](#)).

La [Figure 4](#) permet de dire que le site A ne présente pas en moyenne de corrélation significativement non-nulle entre les TRW et les températures. Les températures estivales et printanières montrent une corrélation négative significative avec les TRW du site B. Quant au site C, l'hiver est la seule saison qui influence significativement les TRW avec une corrélation positive. Les températures estivales au niveau du site B semblent avoir le plus d'influence sur les TRW tous sites confondus. Le site B est le site le plus influencé par les températures (*corrélation moy. saison* = -0.378). L'influence saisonnière parmi les trois sites est très hétérogène. La corrélation entre les températures pour une même saison et les TRW n'est jamais significative pour deux sites différents.

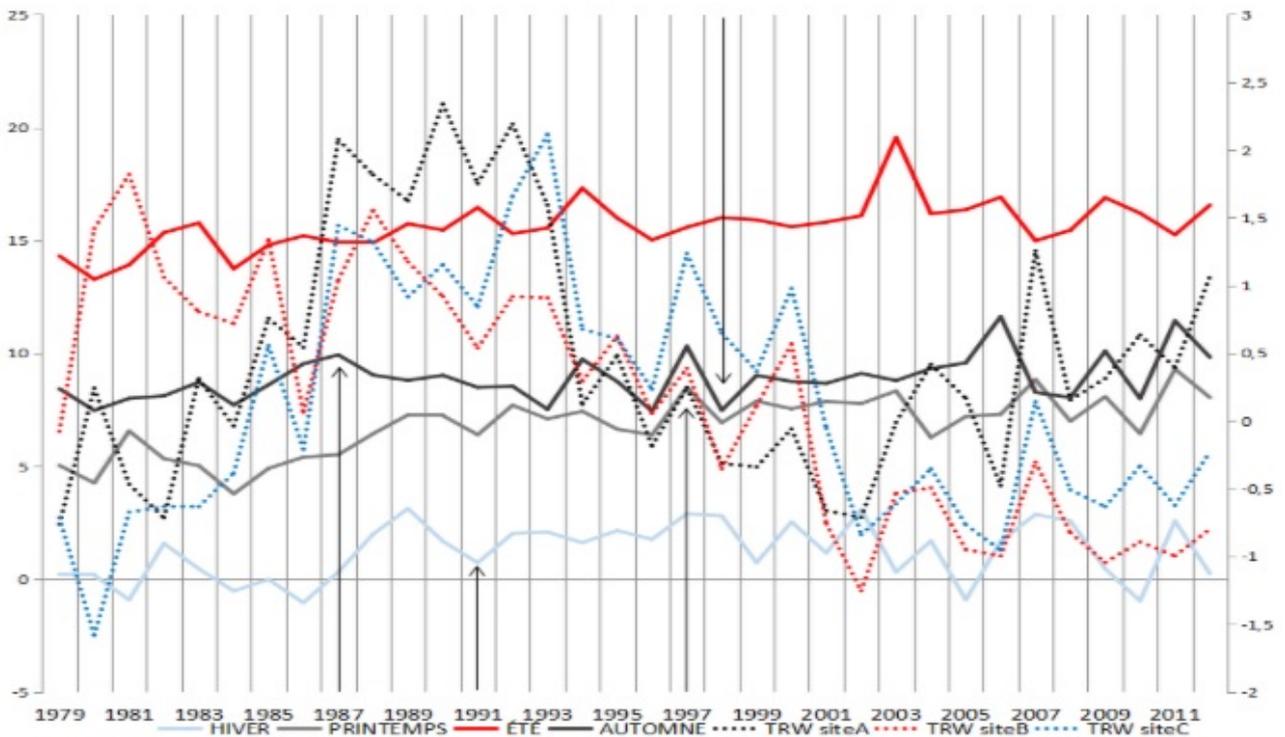


Figure 3. Représentation graphique des températures saisonnières et des TRWs standardisées de 1979 à 2012. L'axe des abscisses correspond aux années et les axes des ordonnées à gauche et à droite correspondent respectivement aux températures en degrés Celsius et aux TRW standardisées. Les flèches représentent les années montrant une concordance entre l'évolution des variables étudiées.

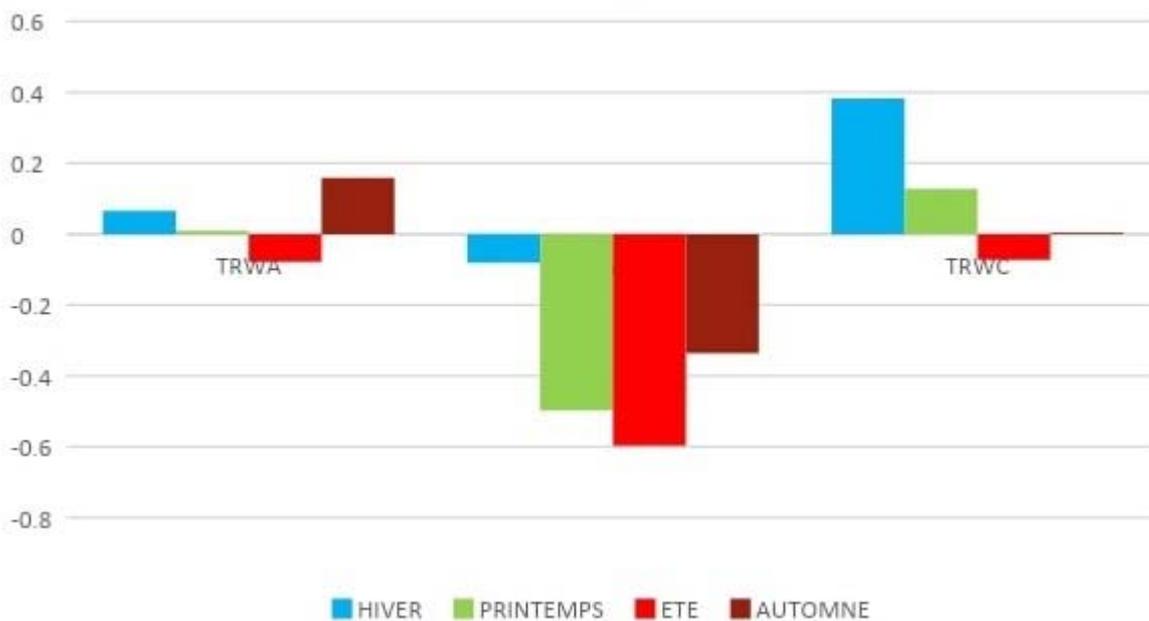


Figure 4. Histogramme des corrélations de Spearman entre les TRWs et les températures réalisées sur le logiciel R à l'aide du package dplR. Les corrélations ont été effectuées avec un risque α de 5%. L'axe des y correspond à l'échelle du coefficient de corrélation de Spearman.

La **Figure 5** met en lien les précipitations et les TRW. La relation entre les précipitations des différentes saisons est moins évidente. Peu d'années se comportent de façon similaire entre les saisons. On voit que lorsqu'il y a un pic croissant des précipitations toute l'année, les TRW réagissent généralement négativement (année 1996 ou 2008 par exemple) et à l'inverse, lorsqu'on a un pic décroissant des précipitations, les TRW réagissent positivement (années 1991 et 1997 par exemple). Lorsque les précipitations d'hiver et d'automne sont faibles, on observe souvent une réponse positive des cernes (année 1985, 1997 et 2007 par exemple). Aussi, avec de fortes précipitations au printemps et en été, on observe en réponse de fortes TRW (années 2001 et 2004 par exemple).

Le site A affiche une corrélation négative significative uniquement en automne (**Fig. 6**).

Le site B ne présente pas en moyenne de corrélation significative entre les TRW et les précipitations. Enfin, le site C montre une corrélation positive significative seulement en été. Les précipitations automnales sur les TRW du site A semblent avoir le plus d'effet sur les TRW tous sites confondus (*corrélation*= -0.403). Cependant, on relève aussi une forte influence des précipitations estivales sur les TRW du site C (*corrélation*= 0,360). L'influence saisonnière parmi les trois sites est très hétérogène. La corrélation entre les précipitations pour une même saison et les TRW n'est jamais significative pour deux sites différents. L'impact des températures saisonnières est légèrement plus hétérogène ($\sigma_{\rho \text{ temp saisons}} = 0,267$) que celui des précipitations ($\sigma_{\rho \text{ précip saisons}} = 0,201$) sur la croissance des TRW (où σ signifie écart type et ρ signifie corrélation).

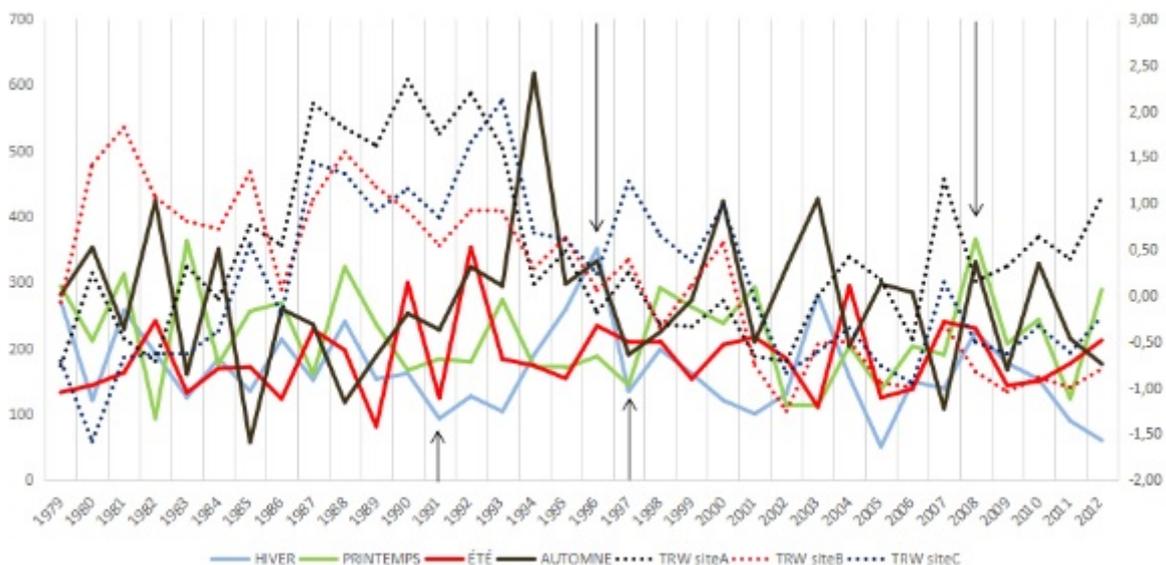


Figure 5. Représentation graphique des précipitations saisonnières et des TRWs standardisées de 1979 à 2012. L'axe des abscisses correspond aux années et les axes des ordonnées de gauche et de droite correspondent respectivement aux précipitations en mm et aux TRW standardisées. Les flèches représentent les années montrant une concordance entre l'évolution des variables étudiées.

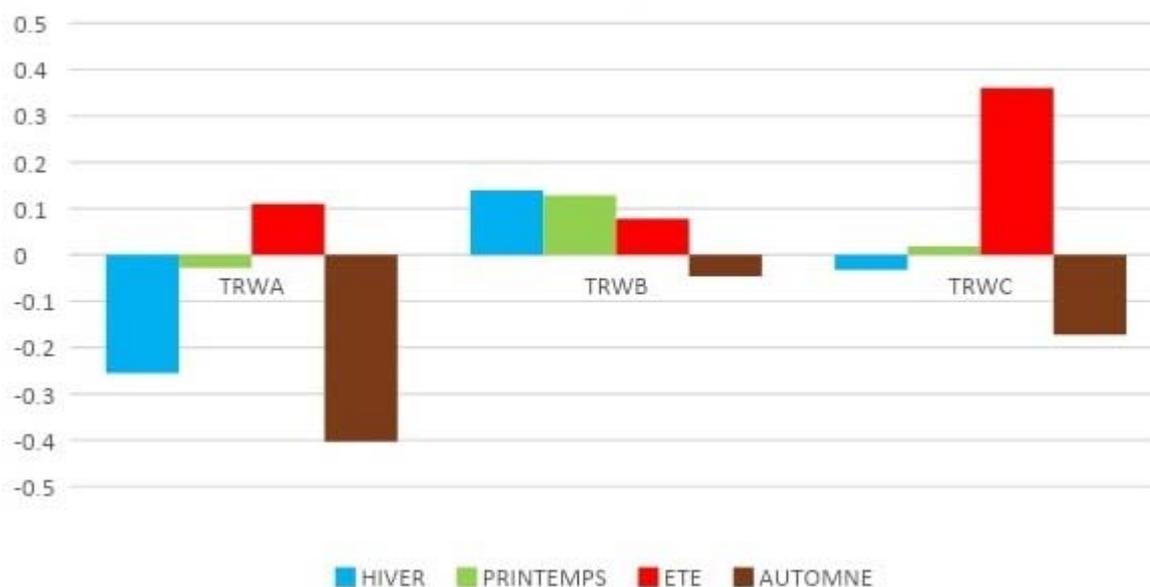


Figure 6. Histogramme des corrélations de Spearman entre le TRW et les précipitations réalisées sur le logiciel R à l'aide du package dplR. Les corrélations ont été effectuées avec un risque α de 5%. L'axe des ordonnées correspond à l'échelle des coefficients de corrélation de Spearman.

DISCUSSION

1 - Dynamique de population

Les résultats obtenus montrent que les individus des sites B et C réagissent à leur environnement et se développent similairement, tandis que la croissance sur le site A est assez différente. Cette différence s'explique notamment par le fait que les individus du site A sont sur en bordure de la tourbière. La différence au niveau de la disponibilité en eau se traduit par une différence de croissance des arbres (Vitas & Erlickytė, 2007).

Les pins du site B présentent des cernes larges, tandis que ceux du site A présentent des cernes étroits. La présence de la tourbière induit une croissance plus faible et plus lente des pins sylvestres. Elle implique aussi une disposition irrégulière des individus par rapport à un développement sur n'importe quel autre substrat (Roosaluste, 1982). Cela est dû à la nappe phréatique peu profonde et à la forte acidité de l'eau (Läänelaid, 1982 ; Freléchoux et al., 2000, 2003 ; Linderholm et al., 2001).

L'estimation des années de coupes des souches montre une influence anthropique sur cette tourbière surtout entre 2002 et 2006. En

effet, la moitié des souches analysées ont été coupées pendant cette période. L'année de feu estimée apporte peu à notre étude puisque cette trace de feu n'a été observée que sur un individu. L'analyse des micro-charbons dans la tourbe réalisée par Cornet & Wales (2019) a mis en évidence un fort influx de charbons vers 1850, mais aucun pic après cette date. Il est très peu probable que la trace de feu relevée en 1989 sur une seule souche soit issue d'un feu de forêt ou d'une pratique pastorale. Si c'était le cas, les particules de charbon, très volatiles, se seraient déposées dans la tourbe et auraient été identifiées, notamment après l'analyse de l'échantillon de tourbe carotté. Ainsi, au vu de cette observation celle-ci ne relève pas d'un intérêt notable pour notre étude.

2 - Influence des conditions climatiques

L'influence des paramètres climatiques sur l'évolution des largeurs de cernes de croissance des individus semble plutôt hétérogène en fonction des sites. Cette comparaison est cependant limitée car ces corrélations ne sont pas toutes significatives. De fortes précipitations hivernales et automnales semblent avoir un effet négatif sur les cernes de croissance du site A, ce qui n'est pas le cas pour les autres sites. Cela pourrait

être lié au volume important d'eau présent dans la tourbière. Cette corrélation est d'autant plus forte en automne. Cela pourrait s'expliquer par une trop forte abondance d'eau dans la tourbière à cette saison, qui est la plus pluvieuse sur la période étudiée (Läänelaid, 1982 ; Freléchoux et al., 2000, 2003 ; Linderholm et al., 2002). On retrouve également une différence de réponse aux variations climatiques en fonction du substrat sur le site C. En effet, le sol est marqué par une forte présence de roches granitiques. Ces roches sont imperméables à l'eau et rendent plus difficile sa circulation dans le sol (Waugh, 2002). L'apport d'eau par les précipitations à une certaine influence sur les largeurs de cerne (Gutiérrez, 1989 ; Vennetier et al., 2005 ; Cuny, 2013). Cette influence est surtout observée en saison estivale comme il a déjà été montré sur le pin sylvestre (Polge & Keller, 1968). D'autre part, contrairement aux deux autres sites le site B n'est influencé significativement par les précipitations d'aucune saison.

Les températures induisent également des réactions différentes en fonction des sites. Les largeurs de cernes de croissance du site A ne montrent de corrélation significative avec les températures pour aucune saison. Ce constat semble lié à la constance des températures dans les parties profondes de la tourbière, limitant ainsi l'influence des variations de températures de la surface (Puranen et al., 1999). Les changements au niveau de la nappe phréatique des tourbières sont généralement contrôlés par les précipitations et tendent à être influencés par les températures via l'évapotranspiration (Charman et al., 2004). Les fluctuations de ces nappes peuvent ainsi être en décalage de plusieurs années par rapport aux variations environnementales et climatiques (Kilian et al., 1995 ; Linderholm et al., 2002 ; Edvardsson & Hansson, 2015). Cela rend ainsi difficile l'interprétation de la réponse des pins sylvestres sur les tourbières face aux variations climatiques. En effet, on observe parfois un décalage temporel de la croissance des largeurs de cernes (Edvardsson et al., 2015). Pourtant, les largeurs de cernes du site B montrent en moyenne une corrélation significativement négative pour

les températures estivales et printanières. Sur le site C, la corrélation est positive entre les températures hivernales et les largeurs de cernes de croissance. Le manque de données complémentaires nous empêche de déterminer avec précision la cause exacte de ces différences d'influence des températures entre les sites B et C.

CONCLUSION

Nos résultats montrent des différences dans l'influence des variations climatiques sur l'évolution des cernes de croissance du pin sylvestre en fonction des conditions environnementales. La forte abondance en eau dans la tourbière associée aux précipitations automnales ont un effet néfaste sur les cernes de croissance. D'autre part, ce milieu limite l'influence des variations de températures sur les individus. La densité de l'assemblage semble jouer un rôle dans la limitation de l'impact des variations de précipitations. Cependant, ce facteur semble induire une influence négative en ce qui concerne de fortes températures printanières et estivales sur les cernes de croissance. L'apport hydrique en période estivale représente un facteur limitant de développement sur le sol granitique. Cela est dû à la plus faible circulation de l'eau dans le sol.

Néanmoins, notre étude comporte des limites qui restreignent nos interprétations. Le manque de diversité dans nos relevés a représenté une contrainte, notamment des analyses pédologiques, anémométriques et d'humidité. La taille de nos échantillons variant de 7 à 13 individus est trop petite pour avoir des résultats vraiment représentatifs. La période fournie par les données météorologiques ne couvre pas la totalité de l'intervalle de temps de développement des individus. La plupart des individus sont plutôt jeunes comparés à la longévité de l'espèce comprise en moyenne entre 100 et 300 ans (Cuny, 2013) et la chronologie étudiée pourrait donc ne pas être représentative de leur croissance. Enfin, l'application de la méthode de Becker pour déterminer les années caractéristiques n'était pas applicable pour la période de 1960 à 1971. Il faut en

effet 10 individus pour réaliser cette méthode alors que nous en avons seulement 9 (Lebourgeois et al., 2012).

A l'avenir, il serait nécessaire d'envisager un suivi de la dynamique de la population de pins sylvestres situé sur le site B. En effet, des hêtres et des chênes ont été observés, révélant probablement une succession forestière aux dépens du pin sylvestre. Cette analyse pourrait se faire grâce à des relevés dendrologiques couplés à des relevés polliniques en surface de la tourbière. Étant donné la dynamique de fermeture de milieu affectant des tourbières du Mont Lozère (Lacoste, 2000) et la progression de pins sylvestres sur la tourbière, on peut prévoir le boisement de cette dernière sans intervention anthropique. La probabilité d'abandon de la tourbière des Nassettes reste cependant relativement faible vu les politiques de protection des tourbières environnantes et des activités pastorales.

REFERENCES

- Auverlot D. (2015). La tragédie du réchauffement climatique : du cinquième rapport du GIEC à la Conférence Paris-Climat 2015. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 77 : 14-20.
- Benavides R., Rabasa S.G., Granda E., Escudero A., Hódar J.A., Martínez-Vilalta J., Rincón A.M., Zamora R. & Valladares F. (2013). Direct and Indirect Effects of Climate on Demography and Early Growth of *Pinus sylvestris* at the Rear Edge: Changing Roles of Biotic and Abiotic Factors. *PLoS ONE*, 8 : 59824.
- Bigler C., Bräker O.T., Bugmann H., Dobbertin M. & Rigling A. (2006). Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems*, 9 : 330-343.
- Bravais A. & Martin Ch. (1843). *Croissance du pin sylvestre dans le nord de l'Europe*. Académie royale de Bruxelles, extrait du tome XV des Mémoires, Bruxelles, 58 p.
- Bunn A., Korpela M., Biondi F., Campelo F., Mérian P., Qeadan F. & Zang C. (2019). dplR: Dendrochronology Program Library in R. R package version 1.7.0.
- Charman, D.J., Brown, A.D., Hendon, D., Karofeld, E. (2004). Testing the relationship between Holocene peatland paleoclimate reconstructions and instrumental data at two European sites. *Quaternary Science Reviews*, 23 (1-2) : 137-143.
- Ciesla W.M. (1997). *Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier*. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 139 p.
- Cornet F. & Wales A. (2019). Reconstitution des paléo-incendies du Mont Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 9-24.
- Cuny H. (2013). *Dynamique intra-annuelle de la formation du bois de trois espèces de conifères (sapin pectiné, épicéa commun et pin sylvestre) dans les Vosges: De la description des patrons saisonniers de la croissance à l'étude de l'influence de l'environnement sur la cinétique du développement cellulaire et les caractéristiques anatomiques du xylème*. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, 282 p.
- Domisch T., Finér L. & Letho T. (2001). Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. *Tree physiology*, 21 : 465-472.
- Edvardsson J. & Hansson A. (2015). Multiannual hydrological responses in Scots pine radial growth within raised bogs in southern Sweden. *Silva Fennica*, 49 : 1-14.
- Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanauskienė R., Kažys J. & Stoffel M. (2015). Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant and Soil*, 392 : 345-356.
- Freléchoux F., Buttler A., Schweingruber F.H & Gobat J. (2000). Stand structure, invasion and growth dynamic of bog pine (*Pinus uncinata* var. *rotundata*) in relation to peat cutting and drainage in the Jura Mountains,

- Switzerland. *Canadian Journal of Forest Research*, 30 : 1114-1126.
- Freléchoux F., Buttler A., Gillet F., Gobat J.M. & Schweingruber F.H. (2003). Succession from bog pine (*Pinus uncinata* var. *rotundata*) to Norway spruce (*Picea abies*) stands in relation to anthropic factors in Les Saignolis bog, Jura Mountains, Switzerland. *Annals of Forest Science*, 60 : 347-356.
- Fritts H.C. (1962). The relation of growth ring widths in American beech and white oak to variations in climate. *Tree-Ring Bulletin*, 25 : 2-10.
- Girardclos O. & Perrault Ch. (2010). Approche descriptive des résultats de datation par dendrochronologie-Résumé. *Cahier de géographie*, 11: 217-217.
- Gutiérrez E. (1989). Dendroclimatological study of *Pinus sylvestris* L. in Southern Catalonia (Spain). *Tree-Ring Bulletin*, 49 : 1-9.
- Kilian M.R., Van der Plicht J., & Van Geel B. (1995). Dating raised bogs: new aspects of AMS 14C wiggle matching, a reservoir effect and climatic change. *Quaternary Science Reviews*, 14 : 959-966.
- Läänelaid A. (1982). Radial increment of bog pines and climatic changes. Peatland ecosystems. *Estonian Contributions to the International Biological Programme*, 9 : 135-148.
- Lacoste C. (2000). *Contribution à l'atlas des zones humides du Mont-Lozère*. Conservatoire départemental des sites Lozériens, 41 p.
- Le Meignen P. & Micas L. (2008). Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Haute-Provence. *Forêt méditerranéenne*, 29 : 177-182.
- Lebourgeois F., Granier A. & Breda N. (2001). Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers, *Annals of forest science*, 58 : 733-754.
- Lebourgeois F. & Mérian P. (2012). *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. AgroParisTech-ENGREF, Nancy, 85 p.
- Linderholm H.W. (2001). Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils from tree ring widths in the Central Scandinavian Mountains, interpreted from tree ring widths. *Silva Fennica*, 35 : 415-424.
- Linderholm H.W., Moberg A., Grudd H. (2002). Peatland pines as climate indicators? A regional comparison of the climatic influence on Scots pine growth in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 32 : 1400-1410.
- Médail F. (2001). Biogéographie, écologie et valeur patrimoniale des forêts de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) en région méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne*, 22 : 5-22.
- Oberhuber W. & Kofler W. (2000). Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales. *Plant Ecology*, 146 : 229-238.
- Ogden J. & Ahmed M. (1989) Climate response function analyses of kauri (*Agathis australis*) tree-ring chronologies in northern New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 19 (2) : 205-221.
- Payette S. & Rochefort L. (2001). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 621 p.
- Perot T., Perret S., Meredieu C. & Ginisty C. (2007). Prévoir la croissance et la production du Pin sylvestre: le module *Sylvestris* sous Capsis 4. *Revue Forestière Française*, 59 : 57-84.
- Polge H. & Keller R. (1968). Influence de l'approvisionnement en eau sur la structure interne des accroissements annuels. *Annales des Sciences forestières*, 25 : 125-133.
- Puranen R., Mäkilä M., & Säävuori H. (1999). Electric conductivity and temperature variations within a raised bog in Finland: implications for bog development. *The Holocene*, 9 : 13-24.
- Richardson D.M. (1998). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, 527 p.

- Roosaluste E. (1982). Growth forms of the Scotch pine growing in bogs. *Peatland ecosystems, Estonian contributions to the international biological program*, 9 : 121-126.
- RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Stokes M.A. & Smiley T.L. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press, Tucson, 79 p.
- Vennetier M., Vila B., Liang E.Y., Guibal F., Ripert C. & Chandioux O. *Impact du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française*. Ingénieries-EAT, 49-61.
- Vitas A. & Erlickytė R. (2007). Influence of droughts to the radial growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) at different site conditions. *Baltic Forestry*, 13 : 10-16.
- Waugh D. (2002). *Geography : An Integrated Approach*. Nelson Thornes, Londres, 195 p.