

Orpalm

Synthesis

2016 - No 9 (1)

Massif du Caroux



ORPAM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléocécologie
n°9 (1) - Année 2016

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

Editeurs associés
Adam ALI^{1,2}
Laurent BRÉMOND^{1,3}
Benoît BROSSIER^{1,4}
Vincent GIRARD^{1,2}
Sarah IVORRA^{1,4}
Laure PARADIS^{1,4}

¹ISEM,
²UM2, ³EPHE, ⁴CNRS

Auteurs
Claire BLANCHET, Antoine
CHAMPREUX, Eric ENJALBERT,
Wyndy FOY, Aurélien FRUY
Marion LACAND, Fiona
LAVIANO, Julia MORARIN,
Nathan ROUVIÈRE, Tsanta
SAMPY, Agathe TOUMOULIN

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
3^e trimestre 2016
Université de Montpellier

ORPAM 2015 : Pérégrinations à travers les landes du Caroux (massif de l'Espinouse)

Situé au cœur du Parc Naturel Régional du Haut Languedoc, le plateau du Caroux regroupe toute la zone montagneuse située au nord de l'axe est-ouest défini par l'Orb et son affluent le Jaur et au sud du hameau de Douch (commune de Rosis, Hérault). Perpendiculairement, il est bordé par les gorges d'Héric et les gorges de Colombières. Cette entité est dominée par du granite et des roches métamorphiques (micaschistes et gneiss) formées à partir de roches sédimentaires, pour l'essentiel d'âge primaire, lors de leur entraînement en profondeur par les plissements hercyniens. De par sa situation géographique à la confluence des influences méditerranéennes et océaniques, elle constitue également un réservoir de biodiversité très riche et diversifié. De nombreuses espèces rares et/ou en régression (pic noir, aigle de Bonelli, drosera ou rosalie alpine par exemple) y ont été recensées dans des milieux particuliers tels que les tourbières, les gorges, les zones rupicoles, les landes sommitales et les boisements plus âgés, hêtraies et pinèdes.

Dans cet environnement unique, la tourbière de la lande a fait l'objet de sondages visant à caractériser sa dynamique sédimentaire et à collecter, identifier et quantifier des proxies paléocécologiques tels que le pollen, les rhizopodes et les charbons de bois. Des populations de pins (essentiellement de pin sylvestre) ont fait l'objet de carottages dendrochronologiques dont l'analyse a permis de mesurer la réponse de la croissance radiale des arbres en fonction de paramètres climatiques et d'autres facteurs abiotiques et biotiques contraignant, tels que le vent, les conditions édaphiques ou la densité des peuplements.

« *De l'écologie et de la pédagogie avec de l'humain dedans !* ». Comme il est d'usage depuis la mise en place de cette unité d'enseignement, la perfectibilité des travaux d'ORPAM, intrinsèque à toute construction scientifique, s'efface devant le bilan méthodologique, scientifique et humain de cette école de terrain qui a constitué le stage d'intégration de la première promotion (cuvée 2015-2016 M1) du parcours CEPAGE « Chrono-environnements et paléocécologie » du Master B2E.

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 au département Biologie-Ecologie de la Faculté des Sciences (Université de Montpellier) pour son soutien indéfectible. Toute l'équipe tient à remercier chaleureusement Antoine et Laurence Fontenelle – les charmeurs du Serpent d'Etoiles – ainsi que leurs enfants pour leur gentillesse, disponibilité et hospitalité.

L'équipe pédagogique était cette année constituée de : Adam Ali, Laurent Brémond, Benoît Brossier, Vincent Girard, Sarah Ivorra, Serge Muller, Laure Paradis et Jean-Frédéric Terral.

Jean-Frédéric Terral
Editeur en chef d'*ORPALM Synthesis*



Les camarades enseignants et les étudiants ouvriers d'ORPAM 2015, présentant fièrement leur carottier soviétique devant la maison du peuple du Caroux

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.

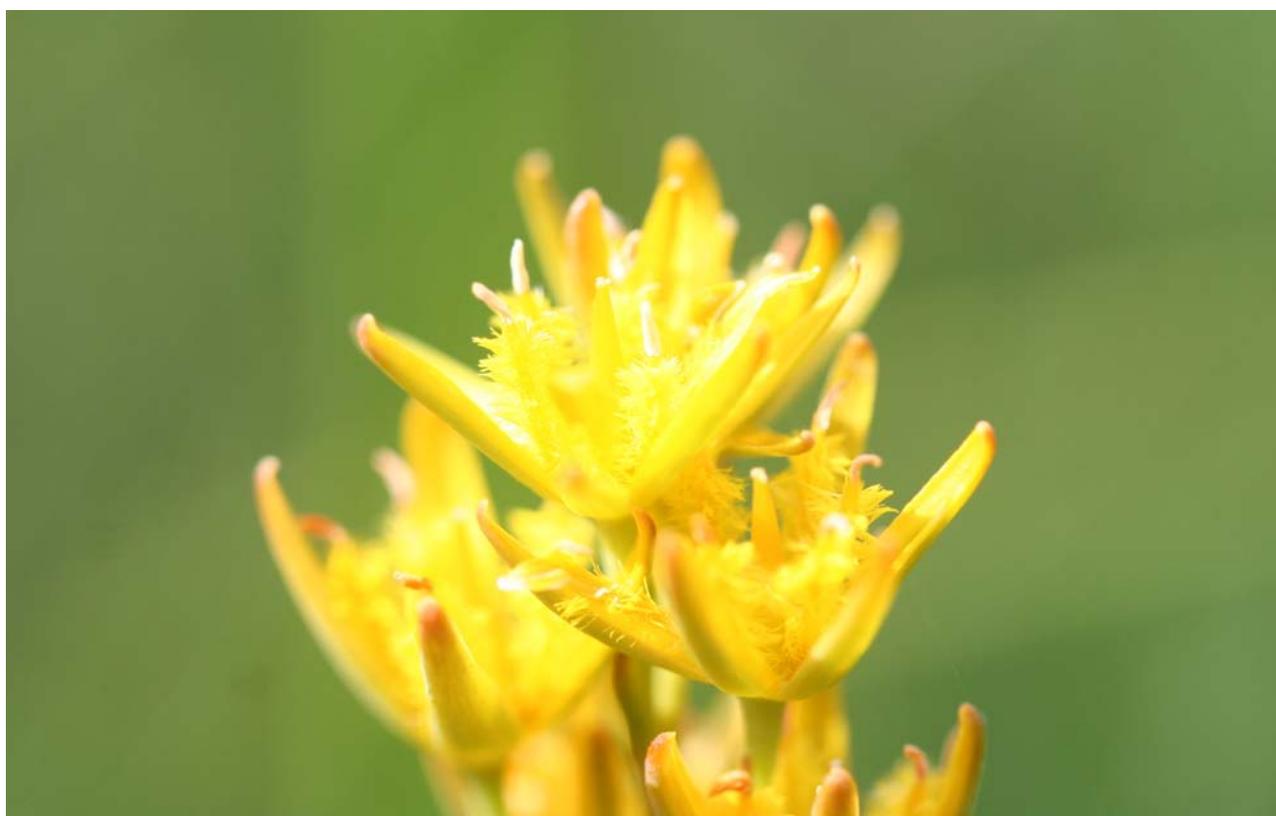
ORPAM : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements – Master ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2015-2016.

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 renommée pour intégrer, à partir de 2015-2016, les travaux de l'UE ORPAM.

ORPAM 2015-2016

Mont Caroux, Hérault

Foy W. & Fruy A. : <i>Paléoincendies sur le Mont Caroux à l'Holocène récent</i>	9
Blanchet C., Champreux A. & Rouvière N. : <i>Croissance radiale du Pin sylvestre et du Pin noir d'Autriche en fonction des facteurs environnementaux du Mont Caroux (Massif de l'Espinouse – Hérault)</i>	17
Lacand M., Sampy T. & Toumoulin A. : <i>Évolution de la Tourbière de la Lande (Mont Caroux) et de la Végétation du Haut-Languedoc lors des 900 dernières années (étude palynologique)</i>	31
Enjalbert E., Laviano F. & Morarin J. : <i>Paléohydrologie de la Tourbière de la Lande (Mont Caroux) : reconstitution basée sur l'étude des assemblages de Thécamoebiens</i>	47



La narthécie des marais (Narthecium ossifragum, Nartheciaceae), un des joyaux botaniques des tourbières minérotrophes sous influence atlantique (photo : S. Muller, août 2016)

PALEOINCENDIES SUR LE MONT CAROUX A L'HOLOCENE RECENT

Wyndy Foy¹, Aurélien Fruy²

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

¹ wyndy.foy@etu.umontpellier.fr, ² aurelien.fruy@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Adam Ali

Citation : Foy W. & Fruy A. (2016). Paléoincendies sur le Mont Caroux à l'Holocène récent. *Orpalm synthesis*, 9 (1) : 9-15.

Résumé : L'étude du taux de fragmentation des macro-charbons de bois contenus dans des séquences tourbeuses de la tourbière de la Lande et de la tourbière de Font-Salesse (Mont Caroux, Hérault) a permis de reconstituer les événements de feux de l'Holocène récent. Les plus fortes concentrations de charbons révèlent deux événements de feux majeurs au niveau de chaque tourbière. Le rapport largeur/longueur des charbons a permis d'identifier le type de carburant, et de montrer que les feux avaient surtout affecté des plantes herbacées sur la tourbière de La Lande et des ligneux sur la tourbière de Font-Salesse.

Mots clés : Fragmentation, carburant, région méditerranéenne, tourbière, macro-charbon

Abstract: *Late-Holocene palaeofires on Mont Caroux*. The study of the fragmentation rate of macrocharcoals contained in peat sequences of the fens of La Lande and Font-Salesse (Mont Caroux, Hérault) allowed reconstructing Late-Holocene fire events. Highest charcoal concentrations reveal two major fire events at each fen. The width / length ratio of charcoals allowed identifying the type of fuel, and showing that fires have mostly affected herbaceous plants in the fen of La Lande and ligneous ones in the fen of Font-Salesse.

Keywords: Fragmentation, fuel, Mediterranean region, fen, macrocharcoal

Le feu est l'une des perturbations majeures qui contrôlent la biodiversité et la composition des végétations méditerranéennes (Barbero et al., 1992). D'après les projections climatiques pour les prochaines décennies (IPCC, 2015), les feux de forêts en région méditerranéenne devraient augmenter, avec des répercussions socio-économiques et environnementales sans précédent. Ainsi, la gestion des incendies et les conséquences sur la végétation doivent être fondées sur des études permettant de caractériser l'occurrence des feux à différentes échelles d'espace et de temps (Bergeron et al., 1992). Depuis les travaux

fondateurs de Clark (1988), les particules de charbons de bois piégées dans des archives naturelles, telles que les sédiments lacustres et les dépôts tourbeux, sont utilisées pour reconstituer les paléoincendies. En effet, un incendie entraîne un dépôt dans les sédiments de restes végétaux plus ou moins carbonisés. Si des espèces ligneuses sont présentes, du charbon de bois est produit et incorporé au dépôt. Cette approche permet non seulement de déterminer les variations pluriséculaires de la fréquence et de la taille des incendies (Ali et al., 2012), mais aussi le type de végétation (herbacée ou ligneuse) qui a été incendiée (Aleman et al., 2013).

La présente étude porte sur une analyse des charbons de bois conservés dans deux séquences sédimentaires prélevées dans des tourbières localisées sur le Mont Caroux (Massif de l'Espinouse, Hérault). Elle a pour but de vérifier l'hypothèse selon laquelle les périodes de forte activité de feux (densité de charbons de bois élevée) auraient été associées à des végétations ligneuses, tandis que les périodes de faible activité d'incendies auraient été associées à des végétations herbacées. De précédentes études polliniques effectuées sur le Mont Caroux ont permis de reconstruire le couvert de la végétal durant l'holocène (De Beaulieu, 1977 ; Pulido Avila, 2006).

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Le Mont Caroux se situe dans l'Hérault, à la limite orientale du massif de l'Espinouse. Il a la particularité d'abriter deux tourbières (La Lande et Font-Salesse), qui sont des écosystèmes rares en Méditerranée occidentale. Il est formé d'un plateau culminant à 1 091 m d'altitude, limité à l'ouest par les Gorges d'Héric, à l'est par les Gorges de Colombières, et au sud par la Vallée de l'Orb. Le massif est constitué de roches métamorphiques, comme les micaschistes et le gneiss (issu du métamorphisme d'un granit). Les tourbières sont des écosystèmes caractérisés par leur saturation quasi-permanente en eau. Les conditions anaérobies

qui en découlent limitent considérablement la décomposition de la biomasse, qui s'accumule au fil des années sous forme de tourbe (Cubizolle, 2007). Ces caractéristiques permettent la conservation de micro-organismes, de pollens et de particules de charbons, ces dernières pouvant être utilisées comme proxies pour reconstituer les paléoincendies.

2- Prélèvements sur le terrain

Dans un premier temps, des sondages ont été réalisés pour identifier les zones les plus profondes de chaque tourbière. Un carottier russe d'un mètre de long, permettant d'extraire des demi-cylindres de matériel, a été utilisé pour prélever les séquences de tourbe. La carotte CAR-1-15 A a été prélevée dans la tourbière de la Lande (43°36'06.2"N ; 2°59'01.9"E) et mesure 74 cm de profondeur. Dans celle de Font-Salesse (43°35'59.0"N ; 2°58'25.7"E), deux carottes ont été prélevées : la carotte CAR-2-15 C mesurant 30 cm de profondeur (0 à 30 cm) et la carotte CAR-2-15 B mesurant 60 cm de profondeur (30 à 90 cm) (Table 1). Les carottes ont été soigneusement transportées dans une poche en plastique fermée de façon étanche pour conserver l'humidité, et dans une gouttière en PVC pour éviter toute déformation. Les carottes ont été conservées au froid en attendant d'être analysées pour éviter toute dégradation des proxies.

Table 1. Coordonnées et profondeurs des carottes de la Lande et de Font-Salesse

	Tourbière de la Lande	Tourbière de Font-Salesse	
Coordonnées GPS	43°36'06.2"N ; 2°59'01.9"E	43°35'59.0"N ; 2°58'25.7"E	
Carottes	CAR-1-15 A	CAR-2-15 C	CAR-2-15 B
Profondeur (cm)	74	30 (0 à 30)	60 (30 à 90)

3- Préparation et analyse des charbons de bois au laboratoire

Les carottes CAR-1-15 A, CAR-2-15 B et CAR-2-15 C ont été découpées en tranches de

1 cm chacune, et un volume constant de 1 cm³ a été prélevé sur chaque tranche à l'aide d'un emporte-pièce circulaire. Chaque échantillon a été plongé dans une solution composée d'hydroxyde de potassium (KOH), de métaphosphate et de javel afin de dissoudre la

matière organique. L'échantillon a été ensuite tamisé à 160 μm afin de ne garder que les charbons de bois issus d'incendies qui se produisent dans un rayon de 1-3 km autour du site d'étude (Higuera et al., 2007).

La quantification et la mesure des charbons de bois ont été effectuées sous une loupe binoculaire équipée d'une caméra, elle-même connectée à un logiciel d'analyse d'images (Winseedle PRO 2007). Ce logiciel permet de compter les charbons par contraste de couleur avec le reste de la matière présente dans le tamis. Il permet également de mesurer leurs dimensions (longueur et largeur), leur surface, ainsi que la surface totale des particules de charbons observées dans les tamis. Le rapport largeur/longueur (l/L) a été utilisé pour

déterminer si ces particules de charbons récoltées provenaient d'espèces ligneuses ou herbacées : un rapport $l/L > 0,5$ révèle des charbons de type herbacé, tandis qu'un rapport $l/L < 0,5$ révèle des charbons de type ligneux (Aleman et al., 2013).

RESULTATS

1- Concentration en charbon

Un pic de charbons caractérise une occurrence d'incendie (ou événement de feu). La courbe de densité représente la concentration en charbons, en tenant compte des variations pouvant biaiser les résultats, comme les erreurs d'échantillonnages (Fig. 1).

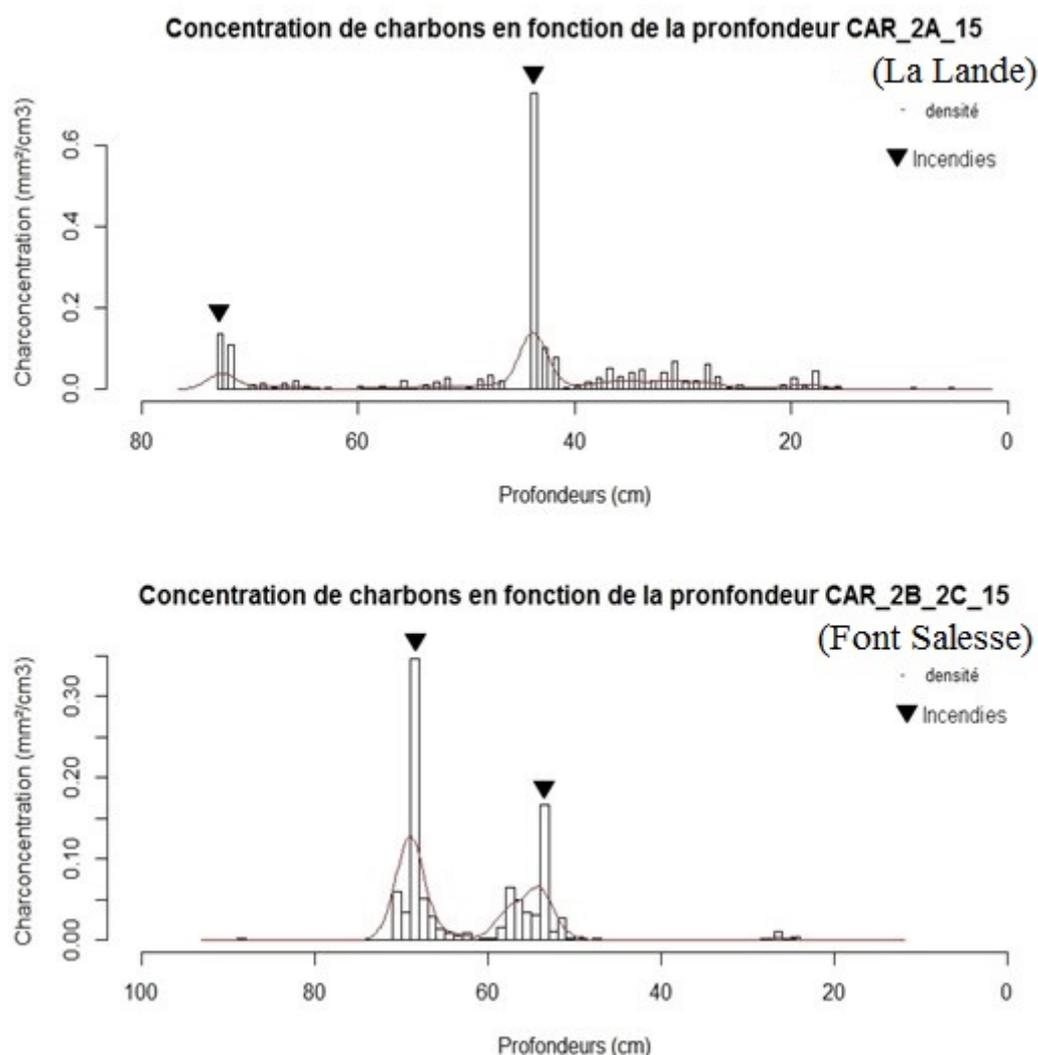


Figure 1. Densité des charbons de bois dans les séquences tourbeuses de La Lande et de Font Salesses

Dans CAR-1-15 A (Fig. 1), il y a peu de variation des quantités de charbons entre 75 et 45 cm, et entre 42 et 16 cm de profondeur. Les niveaux de surface (0-16) ne contenaient que 5 particules. Deux pics de charbon ont été enregistrés, à 72-74 cm (125 charbons comptés) et à 44-45 cm (685 charbons comptés).

Dans CAR-2-15 B (Fig. 1), de faibles variations de charbons de bois ont été enregistrées sur les portions 90-72 cm, 66-60 cm, 52-27 cm et 50-0 cm. Deux pics majeurs ont été observés : à 52-60 cm (800 charbons à 54 cm) et à 66-72 cm (1694 charbons à 69 cm).

Dans CAR-1-15 C, uniquement des variations de 0 à 19 particules de charbons de bois ont été enregistrées.

2- Rapport herbacées/ligneux

Le rapport l/L des charbons bois montre des variations du type de végétation et une alternance des périodes de dominance de plantes ligneuses et herbacées dans les deux sites. Pour la tourbière de la Lande (Fig. 2), une majorité d'herbacées ont été brûlées lors des événements de feux. Ces événements sont observés entre 74 et 65 cm et entre 42 et 35 cm. Des occurrences de végétation ligneuses ont été observées de 54 à 50 cm et de 26 à 20 cm. Le pic de charbon entre 73 et 74 cm montre une dominance d'herbacées brûlées, tandis que le pic entre 44 et 45 cm montre une dominance de ligneux.

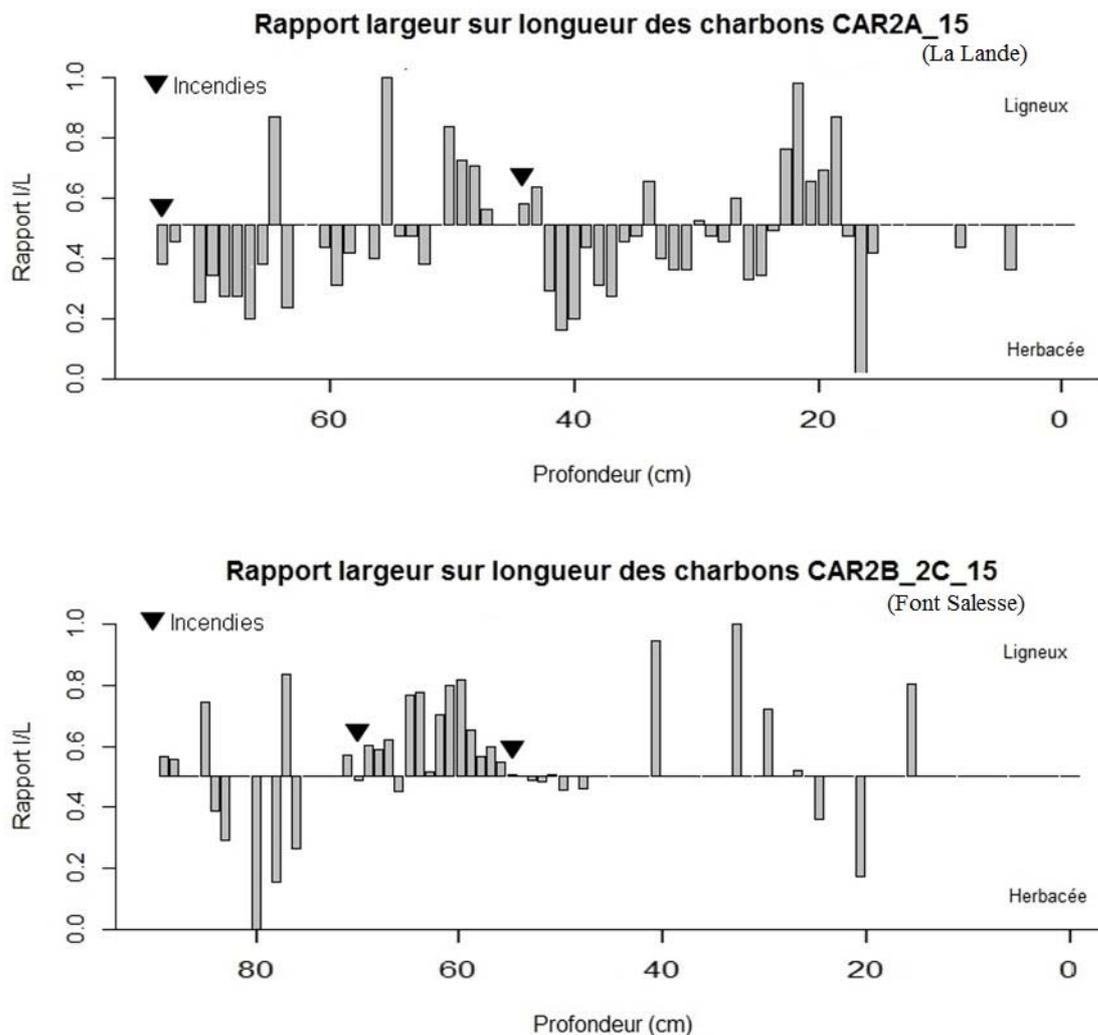


Figure 2. Ratio l/L dans les séquences tourbeuses de La Lande et de Font Salesses

Les données du rapport I/L sur les charbons de la tourbière de Font Salesse (Fig. 2) affichent une majorité de ligneux brûlés lors des incendies. La présence de ligneux s'observe de 70 à 57 cm. Cependant, un changement de la végétation est observé de 83 à 77 cm.

DISCUSSION

1- Concentrations en charbons

Deux pics de charbons ont été observés dans chacune des carottes (Fig. 1), indiquant qu'il y a eu des incendies proches des sites de prélèvements. Les mesures de concentrations de charbons de bois pourraient toutefois être biaisées par un taux de sédimentation non homogène dans le temps. Sans datation radiocarbone, il est malheureusement impossible de valider ces résultats et de dater précisément ces événements. Nous pouvons toutefois nous appuyer sur les études palynologiques antérieures de De Beaulieu (1977) et de Pulido Avila (2006), ainsi que sur le travail palynologique réalisé sur la séquence de la tourbière de la Lande que nous avons étudiée (Lacand et al., 2016). Le carottage de la tourbière de la Lande par Pulido Avila (2006) avait été réalisé au centre de la tourbière, alors que pour notre étude, il a été réalisé à la périphérie. La carotte de Pulido Avila (2006) avait été datée à 4711 ± 85 cal. BP. La comparaison des deux études suggère que les incendies observés n'ont pas plus de 1150 ans. Le taux de sédimentation variant au sein d'une tourbière, et d'après les données pollinique de Lacand et al. (2015), la profondeur totale de CAR-1-15 A représenterait en fait seulement les 30 cm de surface de la carotte de Pulido Avila (2006).

Une contamination par des feux plus éloignés est possible. En effet, d'après Oris et al. (2014), certaines particules de charbons supérieures à 160 μm peuvent voyager sur plus de 32 km lors d'incendies de forte intensité. Cependant, l'étude d'Oris et al. (2014) n'a pas été réalisée dans les mêmes conditions environnementales. La végétation de la tourbière de la Lande, par exemple,

n'était pas la même avant la déprise agropastorale. Le plateau du Caroux était recouvert de hêtraies avant l'âge de fer (Pulido Avila, 2006), alors qu'Oris et al. (2014) ont réalisé leur étude dans des forêts dominées par des conifères.

2- Rapport ligneux/herbacées

L'étude morphologique des charbons a permis de déterminer le type de carburant brûlé : ligneux ou herbacée. Les données du rapport I/L montrent une variation du type de carburant entre les incendies. De plus, la tourbière de Font Salesse est beaucoup plus petite que la tourbière de la Lande. La végétation aux alentours est très différente : la tourbière de Font Salesse est principalement entourée d'un bois de saules, au sein d'un hêtraie, tandis que la tourbière de la Lande est entourée d'une lande de callune et de genêts. La présence de cette lande témoigne de l'abandon du pâturage. Les incendies observés pourraient donc être d'origine anthropique (Malcuit, 1929). En outre, lors des prélèvements dans la tourbière de la Lande, des genêts calcinés, peut-être lors d'écobuages, ont été observés. Cette technique vise à garder le paysage ouvert en brûlant de manière contrôlée la végétation. Avec la déprise pastorale, la surexploitation et la fermeture du paysage, il est possible que ces feux aient été allumés pour défricher la lande et entretenir les abords de la tourbière, afin d'empêcher son envahissement par les ligneux (Cubizolle & Sacca, 2004). Ces incendies ont pu biaiser les résultats.

3- Association à d'autres proxies

Patterson et al. (1987) a montré que la production de charbons lors d'un incendie est fonction du type de carburant (type de bois, contenu en eau du bois, quantité de combustible), de la nature du feu (intensité, durée, température) et des conditions hydrologiques du site incendié. Associer les résultats obtenus à d'autres proxies est nécessaire dans l'interprétation de la reconstitution des paléocendies. Les rhizopodes, par exemple, sont de bons

indicateurs de la paléohydrologie locale (Charman, 1997), et permettent de connaître les variations du niveau de l'eau dans la tourbière. L'étude d'Enjalbert et al. (2015) montre que les rhizopodes disparaissent entre 44 et 42 cm de profondeur, ce qui est corrélé à l'événement de feu enregistré à 44-45 cm. Les données palynologiques indiquent en outre que lors de cet événement de feu, des taxons ligneux, comme *Pinus*, *Betula* et *Corylus*, et des taxons herbacés, comme les Cyperaceae ou *Rumex* pouvaient être présents sur ou à proximité immédiate du site (Lacand et al., 2015). La reconstitution de la composition et des changements de végétation sous-entend de pouvoir préciser quand ces végétations se sont développées et quand elles ont subi des perturbations.

Il aurait été intéressant de faire des analyses anthracologiques sur les charbons de bois. La carbonisation préserve en effet les structures anatomiques tridimensionnelles des essences ligneuses (e.g. Beal et al., 1974 ; Ali et al., 2003). Le calcul de l'antracomasse (i.e. masse de charbon de bois par rapport à la masse totale de sédiment ; Thinon, 1992) aurait enfin pu appuyer nos résultats.

CONCLUSION

La compréhension et l'étude de perturbations telles que les incendies lors de scénarios climatiques passés sont précieuses, car elles sont susceptibles de permettre la prévision des événements de feu. Les plus hautes concentrations de charbons enregistrées au niveau des deux tourbières témoignent d'événements majeurs d'incendies. Dans la tourbière de la Lande, le rapport I/L pour le pic de 73-74 cm montre qu'une majorité d'herbacées ont été brûlées. Ce rapport I/L ne confirme pas l'hypothèse que les fortes activités de feux sont associées à une végétation ligneuse.

Les activités anthropiques et des perturbations physiques, tels que les incendies, peuvent entraîner des changements de la diversité végétale. La lecture des paysages, l'association avec d'autres proxies et les datations radiocarbone sont autant d'informations nécessaires pour reconstituer

avec précision les paléoincendies dans le temps et l'espace.

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., Brémond L. & Favier C. (2013). Tracking land-cover changes with sedimentary charcoal in the Afrotropics. *The Holocene*, 23 : 1853-62.
- Ali A.A., Blarquez O., Girardin M.P., Hély C., Tinquaut F., El Guellab A., Valsecchi V., Terrier A., Brémond L., Genies A., Gauthier S., & Bergeron Y. (2012). Control of the multi-millennial wildfire size in boreal North America by spring climatic conditions. *PNAS*, 109 : 20966-20970.
- Ali A.A., Guendon J.-L., Terral J.-F. & Roiron P. (2003). Les systèmes travertineux Holocènes et les paléopaysages méditerranéens et subalpins (France) : Une analyse géobotanique séquentielle haute résolution spatiale. *Géographie Physique et Quaternaire*, 57 : 219-235.
- Barbero M., Loisel R. & Quézel P. (1992). Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetatio*, 99/100 : 19-34.
- Beal F.C., Blankenhorn P.R. & Morre G.R. (1974). Carbonized wood-physical properties and use a SEM preparation. *Wood Science*, 6 : 212-219.
- Bergeron Y., Gagnon D., Maufette Y. & Tardif J. (1992). La forêt menacée. In : Barrère M. (éd.), *Terre, patrimoine commun*. Association Descartes et Éditions la Découverte, Paris, pp. 55-64.
- Charman D.J. (1997). Modelling hydrological relationships of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) on New Zealand peatlands. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 27(4) : 465-483.
- 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. & Sacca C. (2004). « Quel mode de gestion conservatoire pour les tourbières

- L'approche interventionniste en question. » *Géocarrefour*, 79 : 285–303.
- Cubizolle H. (2007). Origine, fonctionnement et conservation des tourbières. Actes du colloque du château de Goutelas, 5-7 octobre 2005. Université de Saint-Etienne, 384 p.
- De Beaulieu J.L. (1977). *Contribution pollen analytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène des Alpes méridionales françaises*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille III, 358 p.
- Enjalbert E., Laviano F. & Morarin J. (2016). Paléohydrologie de la Tourbière de la Lande (Mont Caroux) : reconstitution basée sur l'étude des assemblages de rhizopodes. *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 47-59.
- 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 (13) : 1790-1809.
- Lacand M., Sampy T. & Toumoulin A. (2015). Évolution de la Tourbière de la Lande et de la végétation du Haut-Languedoc lors des 900 dernières années (étude palynologique). *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 31-44.
- Malcuit G. (1929). *Contributions à l'étude phytosociologique des Vosges méridionales saônoises, les associations végétales de la Vallée de la Lanterne*. Thèse de doctorat, Université de Lille, 211 p.
- Oris, F., Ali A.A., Asselin H., Paradis L., Bergeron Y. & Finsinger W. (2014). Charcoal dispersion and deposition in boreal lakes from 3 years of monitoring: Differences between local and regional fires. *Geophysical Research Letters*, 41 (19) : 6743-6752.
- Patterson W.A., Edwards K.J., & Maguire D.J. (1987). Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews*, 6 : 3-23.
- Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'impact de l'homme sur la dynamique post-glaciaire de la végétation dans le sud du Massif-Central*. Thèse de doctorat, Université de Marseille, 308 p.
- Terral J.-F. & Mengüal X. (1999). Reconstruction of Holocene palaeoclimate in Southern France and Eastern Spain using quantitative anatomy of olive wood and archaeological charcoal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153 : 71-92.
- Thinon M. (1992). *L'analyse pédoanthracologique, aspects méthodologiques et applications*. Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille III, 317 p.

CROISSANCE RADIALE DU PIN SYLVESTRE ET DU PIN NOIR D'AUTRICHE EN FONCTION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DU MONT CAROUX (MASSIF DE L'ESPINOUSE – HERAULT)

Claire Blanchet¹, Antoine Champreux², Nathan Rouvière³

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

¹ c.blanchet04@gmail.com, ² antoine.champreux@gmail.com, ³ nathan.rouviere04@gmail.com

Encadrement : Benoît Brossier, Laure Paradis et Jean-Frédéric Terral

Citation : Blanchet C., Champreux A. & Rouvière N. (2016). Croissance radiale du Pin sylvestre et du Pin noir d'Autriche en fonction des facteurs environnementaux du Mont Caroux (Massif de l'Espinouse – Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 17-30.

Résumé : La relation entre la croissance radiale de *Pinus sylvestris* L. et *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *nigra* et les facteurs environnementaux du Mont Caroux est étudiée. La croissance radiale des arbres semble particulièrement sensible aux températures de juillet (négativement) et aux précipitations d'août (positivement). Toutefois, des facteurs locaux comme la présence d'une tourbière, une importante densité d'individus, et l'âge des arbres ou du groupement d'arbres peuvent tamponner les variations climatiques. Les réponses au climat des deux espèces étudiées présentent des similitudes, mais il faudrait réajuster le protocole expérimental afin de vérifier cette hypothèse.

Mots clés : Dendroclimatologie, climat estival, *Pinus*, variations interannuelles

Abstract: *Radial growth of Scots pine and Black pine according to the environmental factors of Mont Caroux (Massif of the Espinouse - Hérault)*. The relationship between the radial growth of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *nigra* and the environmental factors of the Mont Caroux is studied. Their radial growth seem to be particularly sensitive to july temperatures (negatively) and to august precipitations (positively). However, local factors as the geographic proximity of a peat fen, a high density of individuals, and the age of trees or tree populations can moderate the influence of climate changes. The responses to climate of both studied species show similarities, but the experimental protocol deserves to be improved to verify this hypothesis.

Keywords: Dendroclimatology, summer climate, *Pinus*, interannual variations

La phénologie de croissance des végétaux est en relation avec le génotype et l'environnement (Kempthorne, 1957). Les effets de l'ensoleillement, de la température et des ressources hydriques sur leur croissance ne sont plus à prouver (Cook, 1987 ; Becker, 1989 ; Oberhuber et al., 1998 ; Michelot,

2011 ; Lebourgeois & Merian, 2012). La division des cellules du cylindre cambial qui parcourt l'ensemble des axes de la plante permet la croissance radiale chez les Eudicotylédones et les Gymnospermes en produisant vers l'extérieur le liber et vers l'intérieur le bois. La variabilité des facteurs environnementaux entraîne des ralentisse-

ments ou des arrêts de croissance impactant la quantité et la qualité du bois produit. La cyclicité saisonnière de ces variations en climat tempéré est à l'origine de l'apparition de cernes de croissance dans le plan radial. Chez les conifères et les feuillus à zone initiale poreuse, ces cernes sont constitués de deux parties plus ou moins distinctes selon les espèces (Mothe et al., 1998). La première, le bois initial généralement produit au printemps, constitue la partie claire, car les trachéides y sont larges et à paroi mince. La seconde, le bois final, est formée en été et est la partie foncée, avec des trachéides étroites et à paroi épaisse (Michelot, 2011) en climat tempéré. La période de croissance radiale dépend toutefois de l'espèce et des facteurs environnementaux (Michelot, 2011). La dendrochronologie permet d'étudier les cernes de croissance, de calculer précisément l'âge de l'arbre, et de caractériser les étapes de son développement (Douglass, 1941). Les séries dendrochronologiques peuvent être considérées comme l'addition de plusieurs séries virtuelles dépendant chacune d'un des facteurs influant sur la croissance (Cook & Kariukstis, 1990). L'étude des variations de la taille des cernes de croissance d'un arbre constitue donc un outil privilégié pour décrire les variations des facteurs environnementaux au cours de sa vie. Il est cependant nécessaire de caractériser préalablement la relation croissance radiale/environnement qui diffère entre les espèces.

Il a déjà été montré que la croissance des pins sylvestres du Mont Caroux (Massif de l'Espinouse - Hérault) a lieu de mars à septembre, mais cette relation n'a pas été étudiée (Juigner et al., 2009). Nous l'étudions ici chez le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L., Pinaceae) et le Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *nigra*, Pinaceae) sur le même site d'étude. Le Pin sylvestre est une espèce sempervirente et indigène de la région. Il recouvre en moyenne 20% des forêts françaises et est présent de la Sibérie à l'Espagne (Pérot et al., 2007). Le Pin noir d'Autriche est une espèce introduite au Mont-Caroux. Il est observable entre 800 et 1500 m d'altitude. On le retrouve généralement de

l'est de l'Espagne jusqu'à l'ouest de l'Europe (Bojovic, 1995).

Les objectifs de ce travail sont : (1) d'établir une relation entre les données climatologiques et dendrologiques, (2) d'expliquer d'éventuelles différences entre les placettes étudiées, et (3) de caractériser la variabilité interspécifique.

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Le site d'étude se trouve au Mont Caroux (43°36'22"N ; 02°59'14"E) (Fig. 1), un plateau granitique d'origine hercynienne, culminant à 1091 mètres d'altitude. La végétation est formée par des landes, qui sont une formation arbustive propre aux climats humides de la zone tempérée, sur sol siliceux et peu fertile. Sur le Caroux, les bruyères et les callunes dominent. Cette lande peut jouer un rôle contre l'érosion du sol (Hans-Jürgen, 1998). Le plateau comporte aussi deux tourbières, qui sont des zones humides caractérisées par une accumulation progressive de matière organique. Le Caroux a été reboisé partiellement à plusieurs reprises avec différentes essences de pins à partir de la moitié du XXe siècle.

Cinq placettes aux caractéristiques distinctes ont été sélectionnées (Figs. 1 et 2). Les placettes 1 et 2 comportent des groupements de pins ayant un taux de recouvrement proche de 100 %. Les placettes 3 et 5 sont ouvertes et la placette 3 est particulièrement exposée aux vents, comme en témoigne le port en drapeau des individus étudiés (Jacobs, 1954). La placette 4 est en périphérie d'une des deux tourbières : la strate arborée est composée d'une dizaine d'espèces et son taux de recouvrement est d'environ 100 %. A l'aide du logiciel open source QGIS, les différentes caractéristiques des milieux, telles que la localisation (enregistrée à l'aide d'un GPS Garmin), l'exposition et le dénivelé, ont pu être représentées sous forme de cartes (Fig. 1 ; Annexe 1).

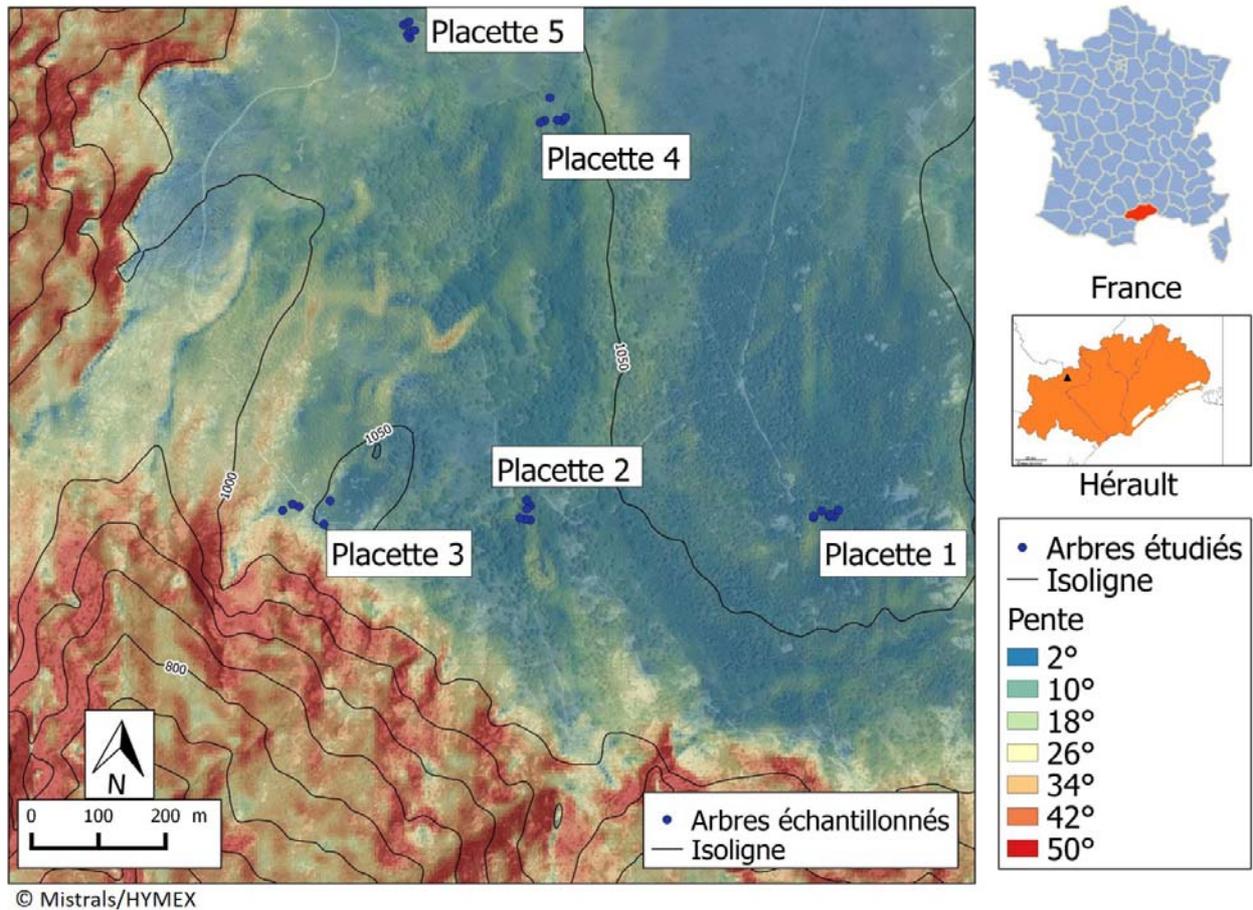


Figure 1. Localisation du Mont Caroux, topographie de la zone d'étude et localisation des différentes placettes étudiées

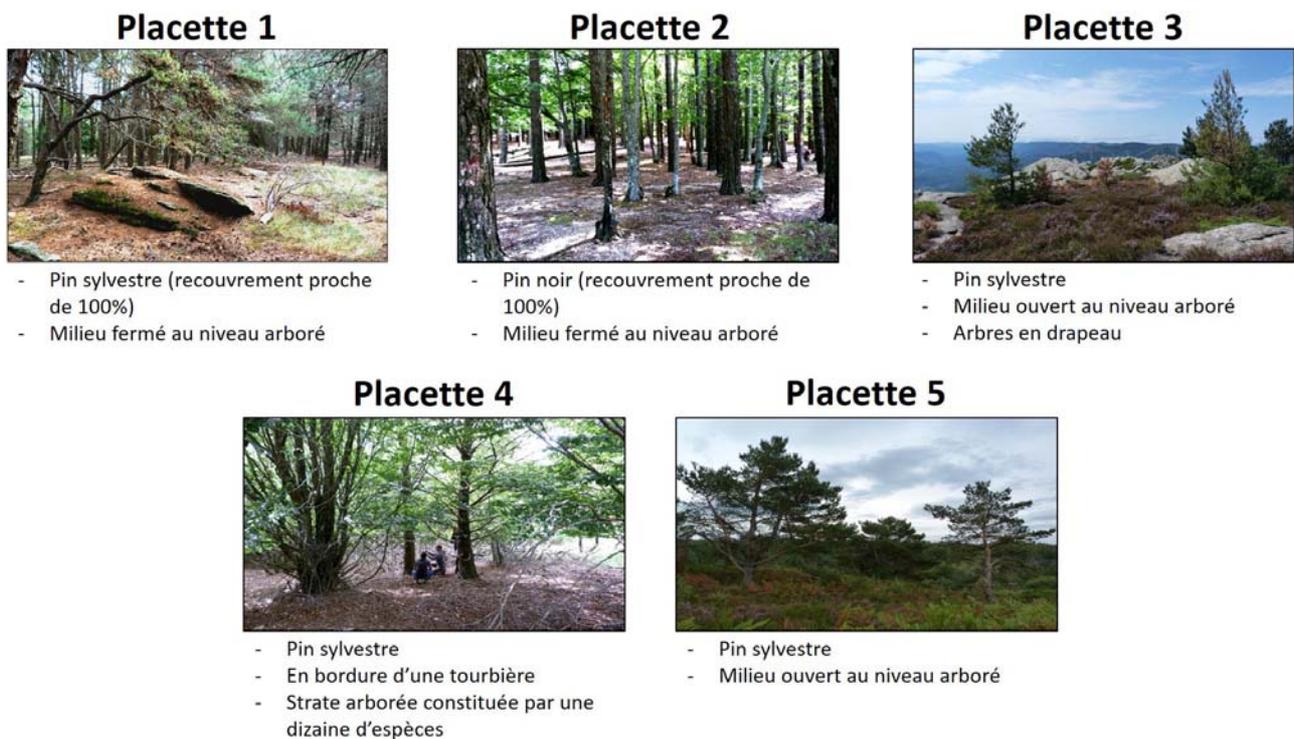


Figure 2. Caractéristiques environnementales des placettes étudiées

2-Matériel biologique

Sur les cinq placettes étudiées, seule la placette 2 est peuplée de pins noirs. Le Pin sylvestre (*P. sylvestris*) et le Pin noir d'Autriche (*P. nigra* subsp. *nigra*) peuvent pousser sur des sols appauvris en matière minérale ; ce sont des espèces héliophiles très résistantes au froid et à la sécheresse (Biroth & Gabert, 1964 ; Ellenberg, 1988).

3-Protocole d'expérimentation

Six individus par placette ont été échantillonnés. Deux carottes par individu ont été prélevées à l'aide d'une tarière de Pressler. Elles ont été ensuite séchées et poncées. Les largeurs des cernes (GRW, mm), du bois initial (EW, mm) et du bois final (LW, mm) de chaque carotte ont pu être mesurées à l'aide de deux bancs manuels Lintab 5 et 6, associés au logiciel *TSAPWin*. L'inter-datation des carottes a ensuite été effectuée pour repérer les décalages éventuels liés à des faux cernes ou des cernes manquants afin de synchroniser les chronologies de croissance par individu puis par placette (Douglass, 1939 ; Cropper, 1979 ; Schweingruber, 1986 ; Schweingruber et al., 1990 ; Grissino-Mayer, 2001 ; Bunn, 2010).

4-Analyse des données

Force du signal des données dendrologiques par placette

Le calcul des corrélations inter-arbres « r » par placette permet d'estimer les valeurs EPS (*Expressed Population Signal*) représentant la force du signal, grâce à la formule :

$$EPS = \frac{r}{r + \frac{1}{N}}$$

Les valeurs EPS tendent vers 0, quand la corrélation « r » et le nombre d'individus échantillonnés « N » sont faibles, et vers 1 quand ils sont forts (Lebourgeois & Mérian, 2012). Une valeur d'EPS de 0,85 est considérée comme suffisamment élevée pour estimer que la croissance radiale de la population répond à l'environnement stationnel (Wigley et al., 1984).

Standardisation des données dendrologiques

L'élimination des signaux non étudiés permet de transformer les valeurs de largeur de cerne en indices de dimension uniforme (de moyenne 1) (Schulman, 1954 ; Fritts, 1976 ; Cook, 1985 ; Nicault et al., 2010). Les variations de croissance s'expriment en haute (interannuelles, étudiées ici), moyenne (dix à cent ans) et basse (plus de cent ans, absentes ici) fréquences (Nicault et al., 2010). L'objectif est d'éliminer les signaux de moyennes fréquences liés à l'âge de l'arbre, aux perturbations (incendies, compétitions, etc.) et aux variations climatiques sur plusieurs années. La croissance rapide des juvéniles nous impose d'ajuster les données avec un modèle exponentiel négatif afin d'éliminer le signal lié à l'âge (Fritts, 1976). Un modèle *spline cubique* permet ensuite d'éliminer les éventuelles réactions aux perturbations qu'ont pu subir les placettes (Cook, 1985 ; Cook & Kairiukstis, 1990). Cette seconde standardisation est donc susceptible d'enlever une partie du signal climatique, mais une grande partie du signal haute fréquence reste conservée (Cook, 1985 ; Cook et al., 1990). A chaque étape de standardisation, les données sont divisées par les données théoriques issues du modèle. Le package DENDRO du logiciel *R* (Mérian, 2012) permet de calculer des chronologies moyennes de croissance par placette en standardisant les données et la valeur de l'EPS par placette.

Données climatiques

Dans cette étude, seules les précipitations et les températures mensuelles (maximales, minimales et moyennes), ainsi que leurs valeurs moyennes annuelles, sont prises en compte. Elles sont *a priori* les facteurs qui influent le plus sur la croissance des cernes (Michelot, 2011). Les données de 13 stations météorologiques proches du Mont Caroux issues du programme Mistrals/HYMEX semblent varier de la même manière au cours du temps indépendamment de l'altitude (Annexe 2). Seules les stations qui ne présentent pas d'absence importante de données et permettent de maximiser le temps d'étude (34 ans) ont été sélectionnées. Les

données de deux stations ont donc été fusionnées pour les températures (en °C) car les stations sont proches et complémentaires (1979-1994 / 1995-2013) : les Aires (190 m) et Herepian (192 m). Une station a été sélectionnée pour les précipitations (en mm) : Cambon-et-Salvergues (906 m) (1979 – 2013).

Relation entre la croissance radiale et le climat

A l'aide du logiciel XL-Stat, les coefficients de corrélation de Pearson entre les indices de croissance (GRW, EW, LW et le ratio LW/GRW) et les paramètres climatiques ont été calculés pour chaque placette, et leurs significativités ont été testées. Le couple avec la meilleure corrélation est ensuite sélectionné pour construire un modèle linéaire. La normalité des deux variables en question est d'abord testée avec un test de Shapiro-Wilk et un risque α de 0,05. Les séries de données sont éventuellement transformées pour suivre une distribution normale permettant d'effectuer une régression linéaire simple (Annexe 3).

RESULTATS

1- Séries chronologiques de croissance

D'importantes disparités entre les séries de croissance des deux carottes de certains individus rendant la datation de certains cernes incertaine, deux individus de la placette 3 (Z3-PS2 et Z3-PS3) et un individu de la placette 2 (Z2-PN5) ont été écartés. Toutes les placettes suivent les mêmes variations de croissance (GRW et LW/GRW) la plupart des années, mais leur amplitude diffère (Fig. 3). Les signaux des placettes 2 et 4 varient avec une amplitude moins importante que les autres placettes. Le ratio LW/GRW ne marque pas exactement les mêmes variations que GRW. Enfin, de manière générale, la variabilité inter-placettes diminue avec l'augmentation de l'âge des arbres (Fig. 4).

2-Force du signal des données dendrologiques par placette

Les valeurs d'EPS sont : 0,933 pour la placette 1 ; 0,709 pour la placette 2 ; 0,330 pour la placette 3 ; 0,723 pour la placette 4 ; et 0,712 pour la placette 5.

3-Relation entre les indices de croissance et le climat

L'analyse des corrélations (Annexe 4) met en avant deux variables dendrométriques : la largeur des cernes (GRW) et le ratio (LW/GRW). Celles-ci sont corrélées à trois variables climatiques avec des p-values $\leq 0,0001$: négativement avec la température moyenne des mois de juillet (Tmoy_Juil) ($r = \{-0,34 ; -0,39\}$) et les températures maximales du mois de juillet (Tmax_Juil) ($r = \{-0,39 ; -0,42\}$), et positivement avec les précipitations du mois d'août (P_août) ($r = \{0,34 ; 0,36\}$).

Des tests de corrélations ont été effectués placette par placette entre GRW et le climat, seuls les coefficients avec une p-value $\leq 0,05$ ont été retenus (Annexe 4) :

- GRW (placette 1) est négativement corrélé avec Tmoy_Juil ($r = -0,62$; p-value= 0,001) et Tmax_Juil ($r = -0,59$; p-value= 0,003)
- GRW (placette 2) est négativement corrélé avec Tmax_Juil ($r = -0,42$; p-value= 0,04)
- GRW (placette 3) présente une corrélation négative avec Tmax_Juil ($r = -0,43$; p-value= 0,04) et positive avec P_août ($r = 0,51$; p-value= 0,01)
- GRW (placette 4) est corrélée négativement avec les températures de juin ($r = -0,52$; p-value= 0,016) et P_août ($r = -0,44$; p-value= 0,03)
- GRW (placette 5) a une corrélation négative avec Tmax_Juil ($r = -0,43$; p-value= 0,04) et une corrélation positive avec P_août ($r = 0,61$; p-value= 0,001).

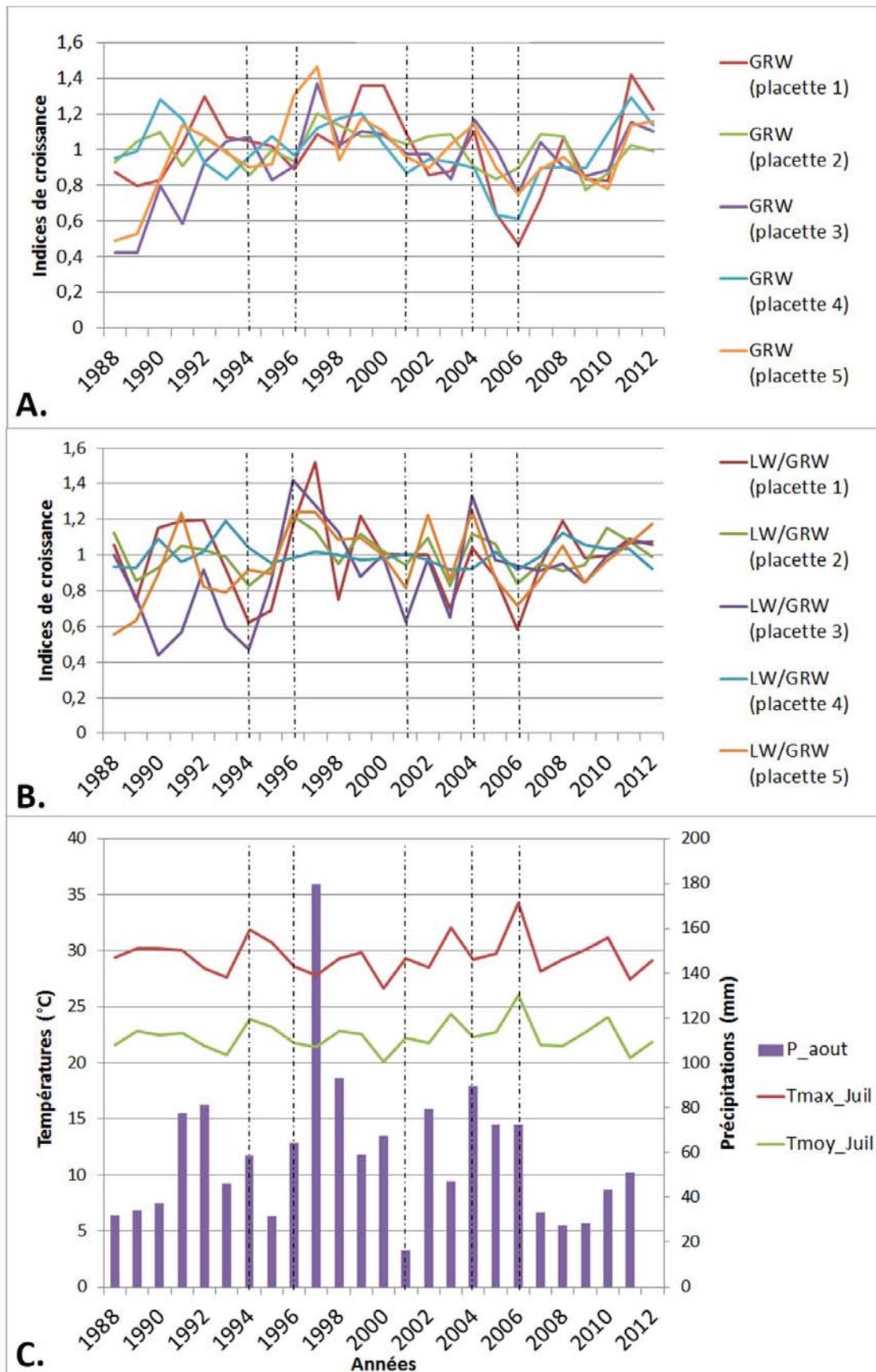


Figure 3. Croissances radiales moyennes par placette et climat estival annuels. A : Croissance radiale moyenne annuelle (GRW) des 5 placettes étudiées ; B : Moyenne annuelle des ratios bois final sur cerne total (LW/GRW) des 5 placettes étudiées en fonction du temps ; C : Températures (en °C) de Juillet et Précipitations (en mm) d'Août

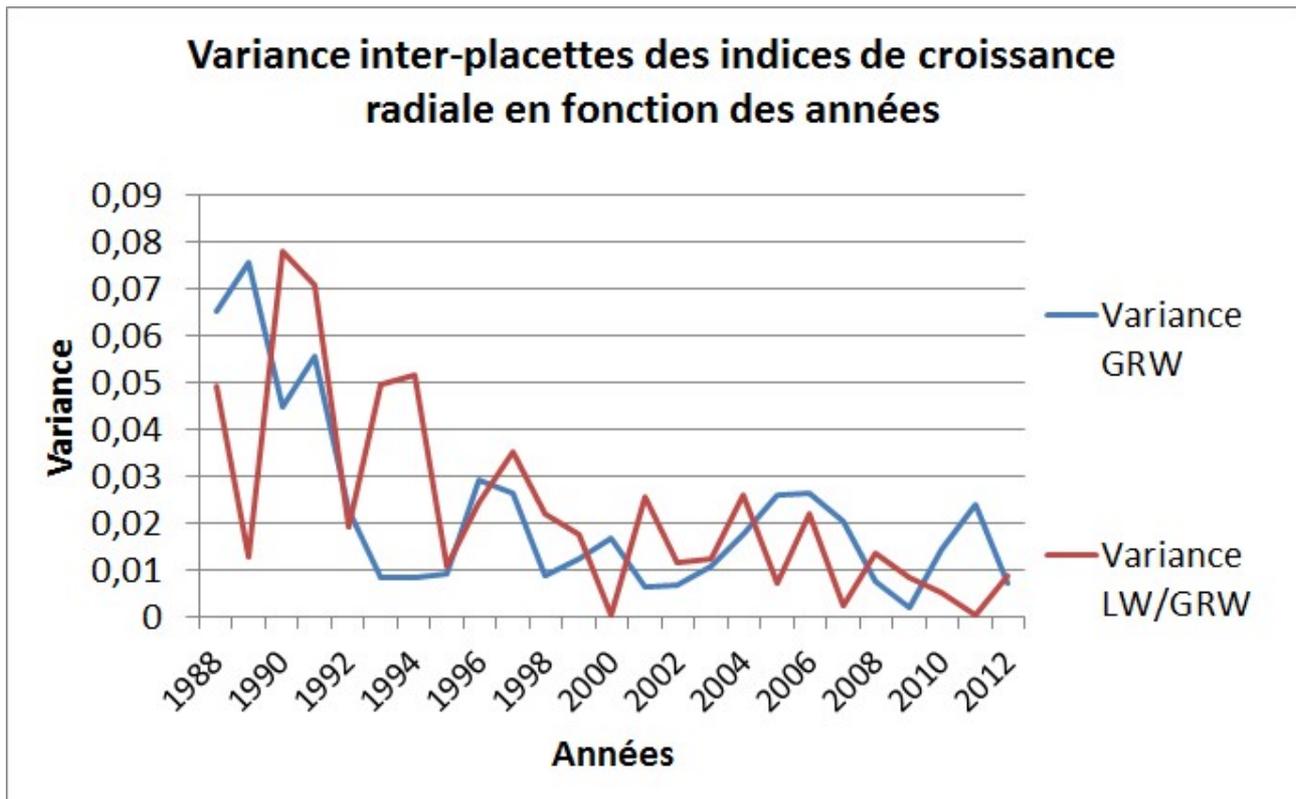


Figure 4. Variance inter-placettes des indices de croissance radiale (cerne total = GRW et ratio du bois final sur cerne total = LW/GRW) en fonction du temps

Une relation linéaire a pu être établie entre GRW et Tmax_Juil, qui sont les deux variables les mieux corrélées ($r=-0,42$). Les données Tmax_Juil suivent une distribution normale ($p\text{-value}<0,0001$). Les données GRW ne suivant pas une loi normale (test de Shapiro-Wilk : $\alpha=0,05$; $p\text{-value}=0,07$), elles ont été transformées en logarithme népérien afin d'avoir une homoscedasticité. Une régression linéaire donne la relation (Annexe 2) :

$$\ln(\text{GRW}) = 1,564 - 5,466 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Tmax_Juil}$$

De nombreuses valeurs ne suivent pas le modèle et sont situées en dehors de l'intervalle de confiance à 95%.

La Figure 3 illustre les relations établies précédemment, en soulignant les années caractéristiques. En juillet, durant les années à forte température (1989, 1994, 2003 et 2006), le ratio LW/GRW et GRW sont faibles : seuls 6 indices de croissance sur 40 (GRW et LW/GRW pour chaque station et chaque

année) sont supérieurs à la moyenne 1. Inversement, lorsque les températures de juillet sont plus faibles (1997 et 2008), les ratios sont plus élevés : les 10 indices sont supérieurs à 1 en 1997, et la moitié des indices le sont en 2008. De même, GRW augmente quand les précipitations sont importantes (1991, 1992, 1997 et 2004) : seuls 11 indices sur 40 sont inférieurs à 1. Inversement, en période plus sèche (1993, 1995, 2001 et 2003), la production de bois est généralement beaucoup plus faible : 10 indices sur 40 sont supérieurs à 1.

DISCUSSION

1-Séries chronologiques

Les variations de croissance étant généralement les mêmes entre les placettes (Fig. 3), il est probable qu'elles sont tributaires de facteurs communs (le climat par exemple). Les différences d'amplitude de ces variations sont, dans ce cas, dues à des facteurs propres

à chaque placette (pédologie, compétitions inter- et intraspécifique, perturbations locales, exposition au vent...). Par ailleurs, la placette 2 ne semble pas réagir différemment des autres : le Pin noir d'Autriche a donc un comportement proche de celui du pin sylvestre sur le Caroux. Ce constat admet cependant certaines limites : les deux espèces n'ont pas été étudiées sur les mêmes placettes et seuls cinq pins noirs ont été pris en compte. De plus, il est probable que les individus en question soient issus d'une hybridation avec le Pin sylvestre (Vautrin & Royer, 1998).

Les placettes tendent progressivement à réagir de manière similaire au cours du temps (Fig. 4). Une adaptation des arbres au milieu notamment en exploitant les ressources sur des espaces de plus en plus larges et diversifiés peut être à l'origine de ce phénomène. De plus, la sensibilité des arbres aux perturbations semble diminuer avec leur âge. Cet effet n'est pas pris en compte par les standardisations des indices de croissance. Il est aussi possible que certains facteurs tendent à s'homogénéiser entre les placettes. La plupart des Gymnospermes créent et maintiennent, comme les Pins, des sols appauvris en matière minérale (Michelot, 2011), ce qui limite la compétition interspécifique et tend à homogénéiser les propriétés du sol entre les placettes. La fermeture progressive de la strate arborée est aussi susceptible de diminuer la fréquence et l'intensité des perturbations locales.

2-Force du signal des données dendrologiques par placette

Le seuil de fiabilité de la réponse étant considéré comme atteint pour un EPS de 0,85 dans la plupart des études, seule la placette 1 a un signal acceptable. Il sera toutefois considéré dans cette étude que les placettes 2, 4 et 5 ont un signal suffisamment bon, malgré la faible taille de l'échantillon, pour estimer que les arbres sont particulièrement sensibles aux facteurs communs à l'ensemble de la placette (températures, précipitations).

La placette 3 a une faible valeur d'EPS : la croissance radiale des arbres ne semble pas

être influencée par les précipitations et/ou les températures en tant que facteurs dominants. Elle est située en bordure des gorges d'Héric (Fig. 1), où l'effet Venturi entraîne fréquemment des vents violents. Les arbres ont d'ailleurs un port « en drapeau » (anémomorphose) caractéristique des individus continuellement exposés au vent (Jacobs, 1954). Leurs troncs ont une croissance excentrique dans le sens des vents dominants (Jacobs, 1954) pouvant entraîner un mauvais signal (faible valeur d'EPS) si les carottes n'ont pas été effectuées en prenant en compte ce phénomène. Une faible valeur d'EPS étant due à une faible corrélation inter-arbres, il est possible que le vent créé ce différentiel de croissance entre les individus en n'agissant pas de manière homogène sur toute la placette (variations du recouvrement de la lande arbustive ou différentiel de proximité avec les gorges d'Héric, par exemple), qui ne serait pas alors un milieu homogène comme supposé. L'éloignement entre les individus étant supérieur aux autres placettes (Fig. 2) et le fait que l'on ait supprimé deux individus sur les six peuvent aussi être responsables de la faiblesse de cette valeur.

3-Relation entre les indices de croissance et le climat

La croissance radiale des pins du Caroux est particulièrement sensible aux températures et aux précipitations pendant la période estivale, qui correspond à la fin de leur période de croissance s'étendant de mars à septembre (Juigner et al., 2009). Le Pin réagit aux températures élevées ou aux faibles précipitations en limitant l'évapotranspiration par la fermeture des stomates, réduisant alors l'assimilation du carbone (Irvine et al., 1998). Cette réaction est donc susceptible d'écourter leur période de croissance. De mars à juin, la croissance serait donc plus sensible à d'autres variables. On sait notamment que les hivers chauds favorisent la croissance du Pin l'année suivante (Michelot, 2011). La phénologie de croissance des aiguilles est indépendante de celle de la croissance radiale (Rossi et al.,

2009) : les facteurs génétiques pourraient aussi favoriser la réactivation du cambium.

La régression linéaire $\ln(GRW)=f(T_{max_Juil})$ met en évidence de nombreuses valeurs qui ne suivent pas ce modèle (Annexe 3). Malgré la bonne corrélation entre les variables, la croissance radiale dépendrait quand même de nombreux autres facteurs en plus des précipitations d'août (environnementaux ou génétiques), dont les influences relatives varient au cours de l'année.

Les placettes ne réagissent pas de manière identique aux variations climatiques. L'influence de la température et des précipitations varie donc en fonction du milieu, ce qui confirme les observations effectuées plus tôt avec les valeurs d'EPS. L'étude des placettes 1 et 2 montre une sensibilité aux températures, contrairement aux précipitations (Annexe 1). Ces deux milieux correspondent à des groupements denses de Pins (Fig. 2), pouvant potentiellement retenir l'humidité du sol (racines, ombrage qui limite de l'évaporation de l'eau). Les placettes 3 et 5 sont sensibles aux précipitations d'août. Il est possible que ces milieux aient des capacités de stockage de l'eau moins importantes que les autres milieux. Ils sont d'ailleurs les seuls à présenter de la roche nue à l'affleurement (Fig. 2), qui témoigne d'une faible épaisseur de sol. Enfin, la placette 4 se montre particulièrement insensible aux variations de température de juillet et de précipitations d'août (Annexe 1). La présence d'une tourbière (Fig. 2) à proximité pourrait tamponner les variations de paramètres climatiques (Munaut & Casparie, 1971), la présence d'eau offrant des ressources favorables à la croissance des arbres à condition que la placette ne soit pas inondée.

CONCLUSION

La croissance radiale du Pin sylvestre et du Pin noir d'Autriche sur le Mont Caroux est tributaire des facteurs climatiques estivaux. Elle diminue quand les températures maximales et moyennes du mois de juillet augmentent, et elle est d'autant plus importante que les précipitations du mois

d'août sont abondantes. Toutefois, les arbres réagissent différemment selon l'environnement. La présence d'une tourbière à proximité ou une forte densité d'individus rendent les arbres moins sensibles aux variations climatiques estivales. Cependant, la réponse de la croissance radiale des arbres au climat tend à s'affranchir des particularités du milieu au cours du temps. Les deux espèces étudiées semblent avoir des réponses comparables au climat, mais cet aspect de l'étude demeure très limité, et nécessiterait un travail approfondi complémentaire.

Cette étude permet d'établir une relation claire entre la croissance radiale et le climat, mais de nombreuses valeurs sont mal expliquées par le modèle construit. Il serait judicieux d'augmenter le nombre de facteurs (génétiques et environnementaux) pris en compte. Une meilleure connaissance de la pédologie de chaque placette pourrait notamment apporter des informations sur la disponibilité des ressources du sol (déficit hydrique et nutriments par exemple). Il serait donc intéressant d'étudier plus précisément cette relation, afin de pouvoir déduire les conditions environnementales à partir de la croissance radiale des Pins.

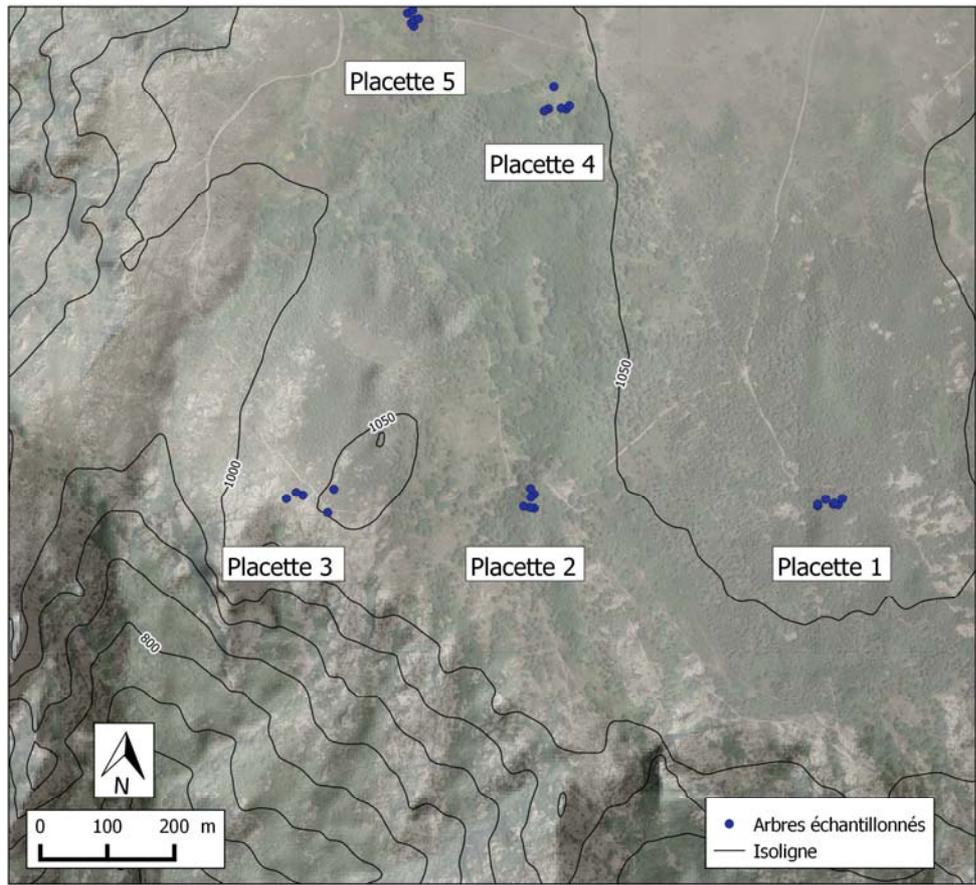
RÉFÉRENCES

- Becker M. (1989). The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. *Canadian Journal of Forest Research*, 19 : 1110-1117.
- Birot P. & Gabert P. (1964). *La Méditerranée et le Moyen-Orient, volume 1*. Presse universitaire de France, Paris, 528 p.
- Bojovic S. (1995). *Biodiversité du pin noir (Pinus nigra Arn.) en région méditerranéenne*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille 3, Aix-en-Provence, 124 p.
- Bunn A.G. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28 : 251-258.
- Cook E.R. (1985). *A time series analysis approach to tree ring standardization*. University of Arizona, Tucson, 171 p.

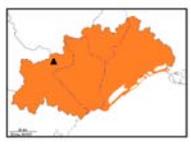
- Cook E.R. (1987). The decomposition of tree ring series for environmental studies. *TreeRing Bulletin*, 47 : 37-59.
- Cook E.R. & Kairiukstis L. (1990). *Methods of Dendrochronology : Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Press, Boston, Massachusetts, 392 p.
- Cook E.R., Briffa K.R., Shiyatov S. & Mazepa V. (1990). Tree-ring standardization and growth-trend estimation. In : E.R. Cook et L.A. Kairiukstis (éds), *Methods of Dendrochronology, Applications in Environmental Science*. Kluwer Academic Press, Boston, Massachusetts, pp. 104-122.
- Cropper J.P. (1979). Tree ring skeleton plotting by computer. *Tree-ring bulletin*, 39: 47-59.
- Douglass A.E. (1939). Typical site of trees producing the best crossdating. *Tree Ring Research*, 6(2) : 10-11.
- Douglass A.E. (1941). Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39(10) : 825-831.
- Ellenberg H. (1988). *Vegetation ecology of Central Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, 731 p.
- Fritts H.C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Academic Press. New York, New York, 567 p.
- Grissino-Mayer H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy : a manual and tutorial for the computer program *cofecha*. *Tree-ring bulletin*, 57(2) : 205-221.
- Hans-Jürgen O. (1998). *Ecologie forestière*. Institut pour le développement forestier, Paris, 397 p.
- Irvine J., Perks M.P., Magnani F. & Grace J. (1998). The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance. *Tree Physiology*, 18 : 393-402.
- Jacobs M.R. (1954). The effect of wind sway on the form and development of *Pinus radiata* D. Don. *Australian Journal of Botany*, 2 (1) : 35 - 51.
- Juigner A., Martinet J., Monnet A.C. & Tournery M. (2009). Structure d'âge et dynamique d'une population de pins sylvestres (*Pinus sylvestris* L.). *Orpal synthesis*, 2 : 15-22.
- Kempthorne O. (1957). *An introduction to genetic statistics*. Wiley, New York, 545 p.
- Lebourgeois F. & Merian P. (2012). *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. AgroParisTech, Nancy, 88 p.
- Mérian P. (2012). POINTER et DENDRO : deux applications sous R pour l'analyse de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique. *Revue Forestière Française*, 64(6) : 789-798.
- Michelot A. (2011). *Croissance et $\delta^{13}C$ des cerne de trois essences forestières tempérées (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* et *Pinus sylvestris*) face aux variations climatiques à l'échelle interannuelle et saisonnière*. Thèse de doctorat, Université Paris-sud 11-Orsay, 202 p.
- Munaut A.V. & Casparie W.A. (1971). Etude dendrochronologique des *Pinus sylvestris* L. subfossiles provenant de la tourbière d'Emme (Drenthe, Pays-Bas). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 11(3-4) : 201-226.
- Mothe F., Sciama D., Leban J.M. & Nepveu G. (1997). Localisation de la transition bois initial - bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. *Annales des sciences forestières*, 55 (4) : 437-449.
- Nicault A., Béguin Y. & Guiot J. (2010). Standardisation des séries dendrochronologiques. In : L. Fillon & S. Payette (és.), *La dendroécologie. Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université de Laval, Québec, pp. 199-128.
- Oberhuber W, Stumböckl & Kofler W. (1998). Climate-tree-growth relationships of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Trees*, 13:19-27.
- Pérot 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(1):57 – 84.
- Rossi S., Rathgeber C.B.K. & Deslauriers A. (2009). Comparing needle and shoot phenology with xylem development on three conifer species in Italy. *Annals of*

- Forest Science*, 66(2) : 1-8.
- Schulman E. (1954). Longevity under adversity with Conifers. *Sciences*, 119 : 396-399.
- Schweingruber F.H. (1886). Abrupt growth changes in conifers. *IAWA Bulletin*, 7 (4) : 277-283.
- Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F. & Braker O.U (1990). Identification presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologie*, 8 : 9-38.
- Vautrin M.A. & Royer J. (1998). Le Pin de Salzman (Pinus nigra Arn. ssp. clusiana Clem.): étude préalable à la mise en place d'un réseau de conservation des ressources génétiques et au classement de peuplements. Rapport CEMAGREF, Nogent sur Vernisson, France.
- Wigley T.M., Briffa K.R. & Jones P.D (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23 : 201-213.

ANNEXE 1. Localisation du Mont Caroux et des différentes placettes étudiées en fonction de l'ombrage.



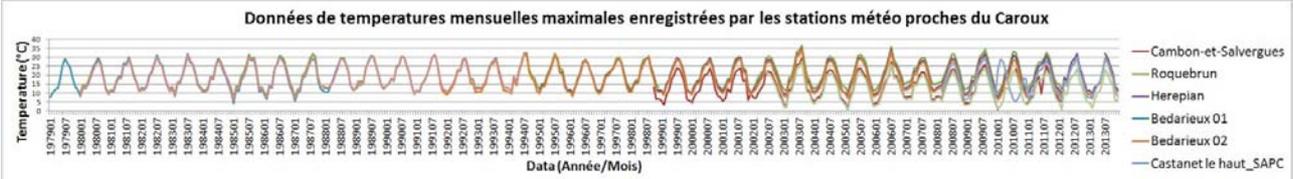
France



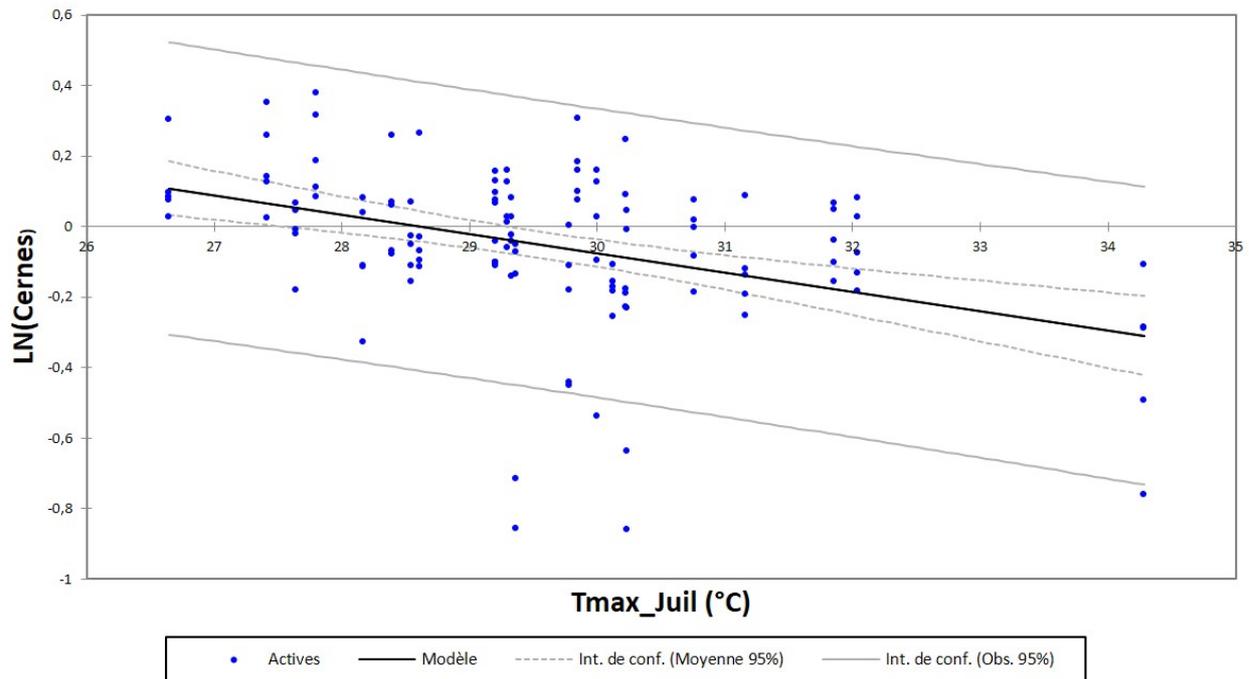
Hérault

© wikipédia et Alain Houot

ANNEXE 2. Données de températures mensuelles maximales (°C) enregistrées par les stations météorologiques proches du Mont Caroux en fonction du temps (mois/année).



Régression de LN(Cernes) par Tmax_Juil (r = 0,404)



ANNEXE 4. Corrélations entre les chronologies moyennes de croissance (des cernes (GRW) et du ratio bois final (LW) sur GRW), et le climat (températures (en °C) et les précipitations (en mm)) pour l'ensemble du Mont Caroux et pour les placettes 1 à 5. Significativité de la p-value : *, significative (< 0.05) ; **, très significative (< 0.01) ; ns, non significative.

Variable dendrométrique	Variable climatique	Coefficient de corrélation de Pearson (R)	p-value
GRW	Tmoy_Juil	-0.39	*
GRW	Tmax_Juil	-0.42	*
GRW	P_Août	0.34	*
Ratio LW / GRW	Tmoy_Juil	-0.34	*
Ratio LW / GRW	Tmax_Juil	-0.39	*
Ratio LW / GRW	P_Août	0.38	*
GRW (placette 1)	Tmoy_Juil	-0.62	*
GRW (placette 2)	Tmoy_Juil	-0.39	ns
GRW (placette 3)	Tmoy_Juil	-0.32	ns
GRW (placette 4)	Tmoy_Juil	-0.30	ns
GRW (placette 5)	Tmoy_Juil	-0.35	ns
GRW (placette 1)	Tmax_Juil	-0.59	**
GRW (placette 2)	Tmax_Juil	-0.42	*
GRW (placette 3)	Tmax_Juil	-0.43	*
GRW (placette 4)	Tmax_Juil	-0.29	ns
GRW (placette 5)	Tmax_Juil	-0.43	*
GRW (placette 1)	P_Août	0.15	ns
GRW (placette 2)	P_Août	0.30	ns
GRW (placette 3)	P_Août	0.51	*
GRW (placette 4)	P_Août	0.11	ns
GRW (placette 5)	P_Août	0.61	**
GRW (placette 2)	Tmoy_Février	0.61	**
GRW (placette 2)	Tmax_Février	0.60	**
GRW (placette 2)	Tmin_Février	0.49	*
GRW (placette 4)	T_Juin	-0.52	*
GRW (placette 4)	P_Août	-0.44	*

ÉVOLUTION DE LA TOURBIÈRE DE LA LANDE (MONT CAROUX) ET DE LA VÉGÉTATION DU HAUT-LANGUEDOC LORS DES 900 DERNIÈRES ANNÉES (ÉTUDE PALYNOLOGIQUE)

Marion Lacand¹, Tsanta Sampy², Agathe Toumoulin³

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

¹ marion.lacand@etu.umontpellier.fr, ² tsanta.sampy@etu.umontpellier.fr,

³ agathe.toumoulin@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Serge Muller

Citation : Lacand M., Sampy T. & Toumoulin A. (2015). Évolution de la Tourbière de la Lande et de la végétation du Haut-Languedoc lors des 900 dernières années (étude palynologique). *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 31-44.

Résumé : Une étude palynologique a été menée sur une carotte prélevée dans la Tourbière de la Lande (Mont Caroux, Hérault, France). Elle a permis de reconstituer l'histoire de la végétation régionale et de la tourbière depuis 900 ans. Un modèle d'âge a été établi à partir des taxons polliniques régionaux et de la sédimentologie observée. L'analyse de la stratigraphie, des macrorestes, des taxons polliniques locaux et du modèle d'âge a révélé plusieurs changements dans le mode d'alimentation (minerotrophe / ombrotrophe) et la composition (sphaignes / herbacées) de la tourbière, et révèle l'impact des activités humaines, notamment à travers la culture du châtaignier.

Mots clés : Pollen, Holocène, paléoécologie, anthropisation

Abstract: *Evolution of Tourbière de la Lande and Haut-Languedoc vegetation for the last 900 years (palynological study)*. A palynological study has been conducted on a core taken from the fen called *Tourbière de la Lande*, located in the Haut-Languedoc Regional Park (Mont Caroux, Hérault, France). It allowed reconstructing histories of both regional vegetation and fen. The age-depth model has been based on regional pollen taxa and sedimentology. The analysis of stratigraphy, macroremains and local pollen taxa shows changes in water supply (minerotrophic / ombrotrophic) and composition (peat mosses / herbaceous plants), and demonstrates the impact of human activities, especially through chestnut cultivation.

Keywords: Pollen, Holocene, palaeoecology, anthropisation

Les tourbières sont des écosystèmes humides, anoxiques, oligotrophes et de pH acide. Elles sont caractérisées par l'accumulation de matière organique peu décomposée. Leurs propriétés physico-chimiques permettent la conservation de différents proxys (pollens, charbons,

micro-organismes, etc.). Elles se révèlent être de véritables mines d'informations pour les études paléoécologiques et pour la reconstitution des paléoenvironnements (Manneville et al., 1999).

Cette étude est basée sur les données palynologiques et sédimentologiques d'une carotte de tourbe prélevée dans la tourbière de la Lande (Mont Caroux, Hérault). Cette tourbière s'est installée il y a plus de 6500 ans, dans un petit vallon alimenté par une source (Pulido Avila, 2006). Le développement d'une tourbière n'est cependant pas toujours homogène et différentes communautés végétales se sont succédées régionalement (Manneville, 1999). Aussi, il semble intéressant de se demander comment la tourbière de la Lande peut témoigner de l'histoire du Haut-Languedoc. L'objectif de cette étude est : (1) d'étudier l'histoire et le développement de la tourbière de la Lande, et (2) d'illustrer les changements de végétation du Mont Caroux à travers son contenu pollinique.

MATERIEL ET METHODES

1-Zone d'étude

Le parc naturel régional du Haut-Languedoc est situé au sud du Massif Central et couvre une surface de 306 ha. Il contient de nombreuses tourbières protégées par la charte Natura 2000 (Dunand et al., 2004). La tourbière de la Lande, située sur la ligne de partage des eaux, est alimentée par une source localisée en amont du site : elle reçoit à la fois des eaux de ruissellement et des eaux de pluie. Le substrat est imperméable et forme un petit vallon qui favorise la rétention d'eau (Pulido Avila, 2006). C'est une tourbière minérotrophe, fortement drainée, qui présente une forte concentration en minéraux et une acidité faible (Francez, 1991). Actuellement, plusieurs types de végétation sont présents autour de la tourbière (Annexe 1). Les Monts du Caroux et de l'Espinouse sont situés au sein de l'étage montagnard. Ils étaient couverts durant l'Holocène de hêtraies-sapinières à *Abies alba* et *Fagus sylvatica* (De Beaulieu, 1969), aujourd'hui détruites et remplacées par des formations ouvertes de callunes (*Calluna vulgaris*) et de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*). L'étage

supraméditerranéen est dominé par des chênes pubescents (*Quercus pubescens*), des châtaigniers (*Castanea sativa*) et comprend quelques chênes sessiles (*Q. petraea*). Enfin, l'étage mésoméditerranéen est caractérisé par un mélange de chênes verts (*Q. ilex*), de chênes pubescents et de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) (De Beaulieu, 1969).

2-Travail de Terrain

Le carottage a été effectué à la limite sud de la tourbière de la Lande (43°36'05.5"N, 2°59'07.1"E) (Fig. 1). La profondeur de la tourbière a été sondée en amont avec une tige de métal. La carotte a ensuite été prélevée à l'endroit le plus profond observé afin qu'elle soit la plus longue possible. A cet endroit, la tourbe était particulièrement meuble et humide. Le prélèvement a été effectué avec un carottier russe de 5 cm de diamètre et de 1 m de long.

3-Travail de Laboratoire

La carotte a été découpée tous les cm. A l'aide d'un emporte-pièce de 1 cm³, 8 échantillons de tourbe ont été prélevés tous les 10 cm à partir de la portion située à 2-3 cm du sommet. Le matériel obtenu a été nommé selon la profondeur de la carotte dont il provient : TDL 2-3, TDL 12-13, [...], TDL 72-73. Les traitements chimiques réalisés en laboratoire ont respecté la méthode de Berglung & Ralska-Jasiewiczowa (1986). Nous avons tous les trois été impliqués dans le comptage et la détermination des taxons polliniques. Aussi, pour chaque niveau étudié, trois lames ont été réalisées. Pour chaque lame, 25 µl de solution diluée à la glycérine ont été utilisés. Un minimum de 100 grains de pollen a été compté par chacun de nous pour obtenir un nombre significatif d'au moins 300 grains par niveau, et diminuer le biais lié aux différences de détermination des différents analystes. Une distinction a été faite entre les espèces locales, poussant à même la tourbière, et régionales, localisées aux alentours.

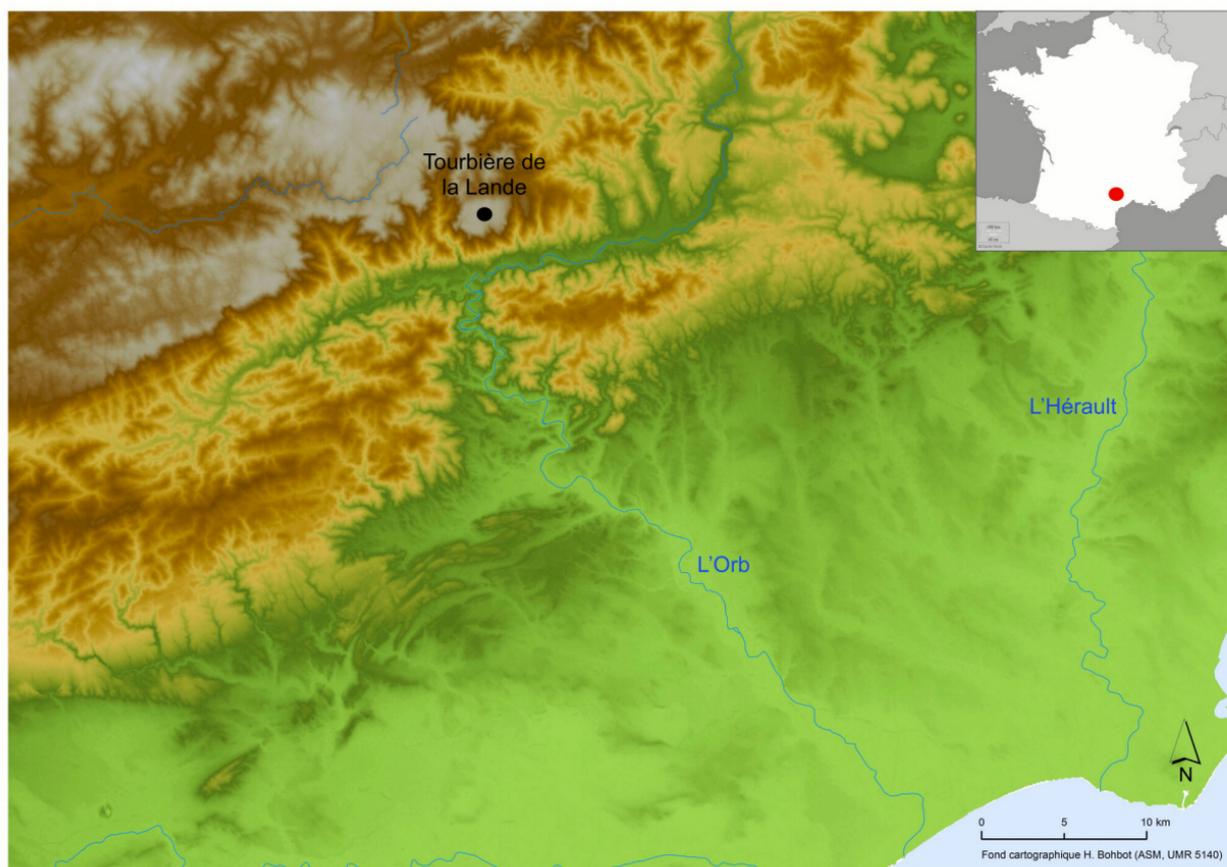


Figure 1. Localisation de la tourbière de la Lande (d'après Enjalbert et al., 2015).

4-Traitement des données

Le diagramme pollinique a été réalisé avec le logiciel Polpal 10.12 (Nalepka & Walanus, 2003). Le logiciel Past 3.01 (Hammer et al., 2001) a permis d'établir une classification hiérarchique ascendante (CHA), basée sur la distance de Chord, afin de délimiter les zones polliniques. Cette analyse a été complétée par une analyse factorielle des correspondances (AFC), effectuée avec le même logiciel. Les taxons *Abies*, *Drosera* et *Potentilla* qui présentent moins de 5 occurrences ont été exclus des traitements statistiques effectués, car leur impact était trop important sur ces analyses. Afin de construire un modèle d'âge, une comparaison a été faite entre le diagramme pollinique de cette étude et celui réalisé sur la même tourbière par Pulido Avila (2006). Les dates utilisées pour le modèle d'âge proviennent de corrélations avec l'étude de Pulido Avila (2006), et sont données en années étalonnées (cal. BP). L'étalonnage des dates radiocarbone a été réalisé à l'aide du logiciel Calib (Reimer et al., 2013).

Pour la reconstitution de la végétation du Mont Caroux, seuls les taxons polliniques régionaux ont été pris en compte. En effet, la distribution des taxons locaux n'est pas représentative de la végétation régionale. Enfin, l'outil web Géoportail a permis d'établir à partir de coordonnées GPS relevées sur le terrain, la distance et la topographie entre notre point de prélèvement (carotte ORPAM 2015 : 43°36'05.5"N, 2°59'07.1"E) et celui de l'étude de référence (carotte Pulido Avila (2006) : 43°35'58.4"N, 2°58'57.0"E).

RESULTATS

1-Composition de la carotte et macrorestes

La carotte étudiée est constituée de cinq types de tourbes distincts. La base de la carotte (74-41 cm) est faite de tourbe brune, mélangée à du sable et des graviers. De 40 à 28 cm, se trouve une tourbe noire, compacte et très homogène. La décomposition est forte dans le

niveau suivant (27-17 cm), avec une tourbe brun foncé, compacte et comportant des racines. Cette portion est suivie d'une couche de tourbe assez décomposée (16-12 cm), puis d'une autre peu décomposée (11-3 cm). Enfin, le sommet (3-0 cm) est couvert de végétaux, principalement de sphaignes (*Sphagnum capillifolium*).

Parmi les restes filtrés après les traitements chimiques effectués sur les pollens, deux espèces de sphaignes (*Sphagnum capillifolium* et *S. palustre*) ont été identifiées. Leur distribution n'est pas constante dans la carotte et elles semblent être absentes entre 53 et 32 cm. Certains niveaux comportent de la matière organique dégradée (12-13, 22-23, 32-33, 42-43 cm). De nombreux éléments racinaires sont présents entre 63 et 52 cm. Enfin, la présence d'une fleur de *Calluna vulgaris* à la base de l'échantillon confirme les relevés polliniques et indique la présence locale de ce taxon dès le début de l'enregistrement.

2-Composition pollinique

21 taxons ont été identifiés sur les lames : 1 Bryophyte *s.l.* (*Sphagnum*), 2 Pinophytes (*Abies*, *Pinus*), 17 Angiospermes (*Alnus*, *Castanea*...) et 1 champignon strictement lié à la présence des sphaignes (*Tilletia sphagni*; Van Geel, 1978) (Fig. 2). Le dendrogramme établi à partir des relevés polliniques et des profondeurs de la carotte comprend deux zones polliniques distinctes. La première zone pollinique (Z1) s'étend de 74 à 17 cm et comporte les niveaux suivants : 22-23, 32-33, 42-43, 52-53, 62-63 et 72-73 cm. Les pollens issus de cette zone proviennent pour 51,4 % d'arbres, et pour 48,6 % d'herbacées et de petits ligneux. Les taxons les plus abondants sont *Calluna vulgaris*, *Betula*, des Poaceae, *Quercus ilex/coccifera* et *Q. pubescens*-type. La deuxième zone pollinique (Z2), plus petite, s'étend de 17 à 2 cm, et comporte les niveaux d'étude du sommet de la carotte : TDL 2-3 et TDL 12-13. Les pollens présents dans cette

zone proviennent pour 62,4 % d'arbres, et pour 37,6 % d'herbacées et de petits ligneux. Les taxons majoritaires dans cette zone sont *Castanea*, *Calluna vulgaris*, Poaceae, *Quercus ilex/coccifera* et *Pinus*.

Parallèlement, l'analyse factorielle des correspondances réalisée (Fig. 3) a permis de cibler les taxons principalement impliqués dans la différenciation des profondeurs étudiées sur la carotte selon leur contenu pollinique. Les axes 1 et 2 expriment respectivement 74,9 % et 10,0 % de la répartition des espèces. L'axe 1 sépare les niveaux 2-3 et 12-13 cm des autres (22-23 à 72-73 cm). Ces niveaux sont caractérisés par la présence de *Castanea*. L'axe 2 oppose les niveaux 22-23 et 72-73 cm, ainsi que les *Cerealina* à *Tilia*. La partie négative de l'axe comporte plusieurs taxons synanthropiques (*i.e.* caractéristiques de la présence de l'homme) : *Cerealina*, *Plantago*, *Rumex* et Poaceae. La partie positive de l'axe présente, en revanche, des arbres caractéristiques de la zone d'étude (*e.g.* *Alnus*, *Betula*, *Castanea*, *Fagus*).

3-Estimation du modèle d'âge

Plusieurs courbes ont été réalisées pour estimer le modèle d'âge (Fig. 4). Dans son analyse du contenu pollinique de cette tourbière, Pulido Avila (2006) avait observé une hausse de *Calluna* aux alentours de 900 cal. BP. Cet événement n'apparaissant pas dans nos relevés polliniques, tous les modèles ont été réalisés en considérant l'enregistrement d'une période plus récente. Par ailleurs, le sommet de la carotte a été considéré comme actuel. La courbe A est caractérisée par une diminution progressive du taux d'accumulation avec la profondeur. Les profondeurs les plus importantes comportent ainsi un contenu pollinique plus dense dans une matrice de taille moins importante.

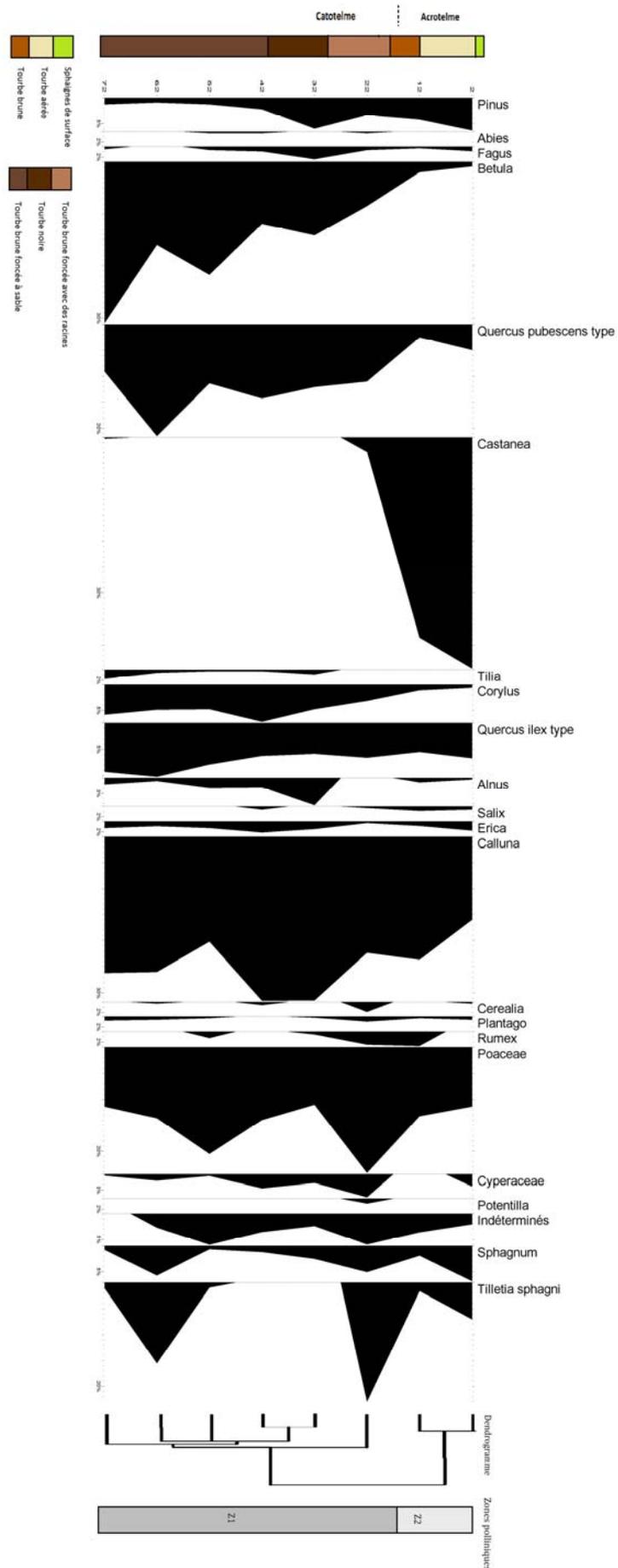


Figure 2. Diagramme pollinique en fréquences relatives de la tourbière de la Lande

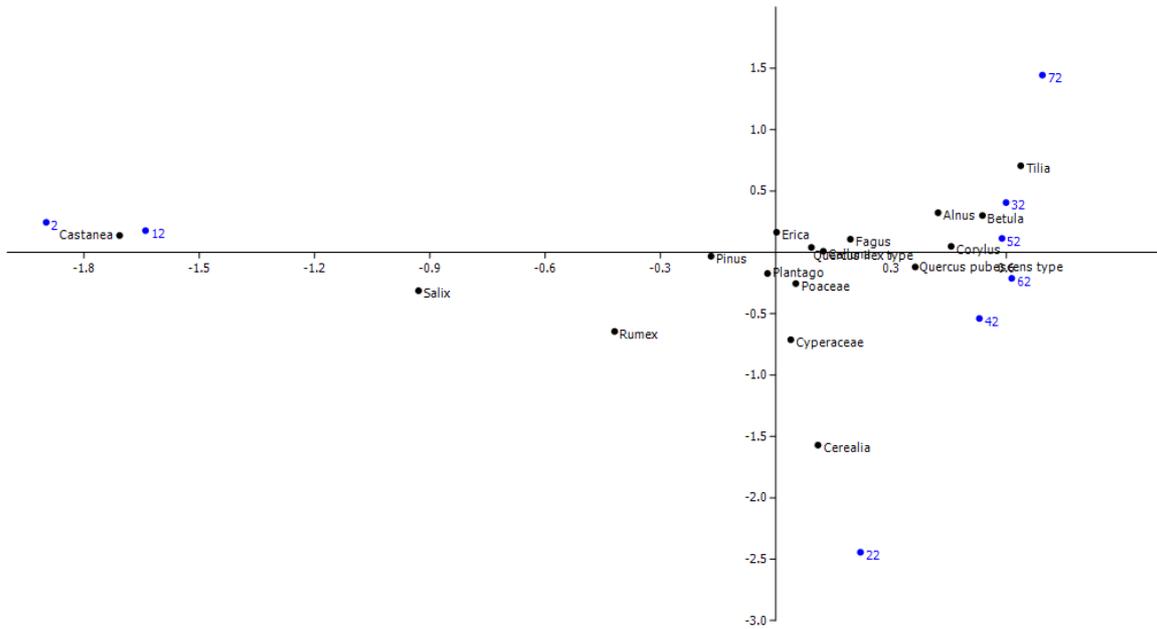


Figure 3. Plan 1/2 de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée à partir des comptages polliniques (8 niveaux et 17 taxons).

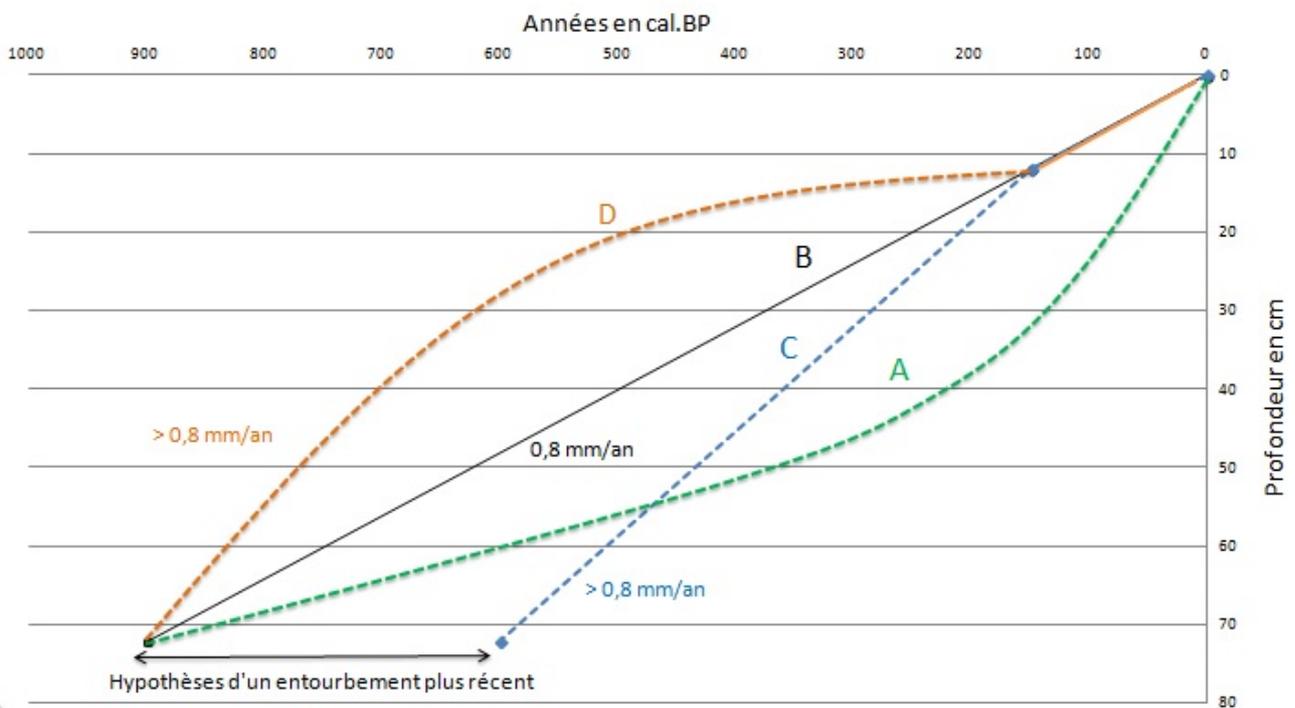


Figure 4 : Modèle d'âge proposé pour la carotte ORPAM 2015 (B) et modèles alternatifs (A, C, D). Voir explications dans le texte.

Ce modèle représente la courbe classique d'accumulation dans les tourbières, et prend en compte la compaction de la carotte (S. Muller, comm. pers.). Les courbes *B*, *C* et *D* utilisent l'enregistrement de l'expansion de *Castanea* comme point de référence. Cette opération est possible grâce à l'enregistrement de cet événement entre 22 et 12 cm sur la carotte étudiée, et à sa datation aux alentours de 1850 AD par Pulido Avila (2006). La droite *B* représente un taux d'accumulation constant de 900 cal. BP à l'actuel. Selon ce modèle, le taux d'accumulation de la séquence étudiée serait de 0,8 mm/an. Le modèle *C* traduit l'hypothèse d'un entourbement postérieur à 900 cal. BP. Il est constitué de deux parties : l'une, de 150 à cal. BP à aujourd'hui et présentant le même taux d'accumulation que la droite *C* (0,8 mm/an), et l'autre de 900 à 150 cal. BP (> 0.8 mm/an). Enfin, la courbe *D* prend en compte la présence de sable et de graviers dans la partie basale de la carotte (73-41 cm) et suggère un taux de sédimentation plus important autour de ces profondeurs.

DISCUSSION

1-Modèle d'âge

La courbe *A* représente le mode de compaction le plus généralement observé dans une tourbière (S. Muller, comm. pers.). Cette hypothèse ne semble toutefois pas en accord avec le profil stratigraphique observé. En effet, la présence de sable et de graviers à la base de la carotte (41-74 cm), qui traduit un apport détritique par ruissellement, laisse penser que le taux de sédimentation se trouvait plus élevé que ne le prédit ce modèle pour la mise en place de la tourbière. Contrairement à la courbe *A*, la courbe *D* estime le taux d'accumulation en fonction la sédimentologie observée. Elle a l'avantage de prendre en compte l'impact du ruissellement sur l'accumulation de matière organique dans la tourbière, mais induit des taux d'accumulation supérieurs à ceux proposés par le modèle linéaire (*B*). Le modèle *C* prend en compte la date estimée pour l'apparition du

châtaignier, et permet de calculer, pour l'accumulation postérieure à 900 ans, un taux d'accumulation supérieur à 0,8 mm/an. Les plus forts taux d'accumulation mesurés dans les tourbières du sud du Massif Central n'excèdent pas cette valeur (Pulido Avila, 2006) et l'un des plus fort taux d'accumulation au monde a été évalué à 1,67 mm/an dans une tourbière du Québec (Payette & Rochefort, 2001). Ainsi, un taux d'accumulation élevé semble très improbable dans la tourbière de la Lande, située dans des conditions climatiques limites. Bien qu'un taux d'accumulation constant soit peu plausible, le modèle *B* est le seul qui permette d'obtenir une valeur raisonnable de 0,8 mm/an.

2-Fonctionnement de la tourbière

L'hydrologie de la tourbière a été déterminée à partir de la nature de la tourbe dans les différentes zones de la carotte. La présence de sable et de graviers à la base du profil stratigraphique (entre 74 et 41 cm) indique que la zone carottée se situait, entre 900 et 500 cal. BP., dans une zone d'écoulement d'eau, au sein d'une tourbière minérotrophe (*i.e.* alimentée par les eaux de ruissellement). L'absence de fraction minérale grossière entre 41 cm et le sommet de la carotte (les 500 dernières années) semble indiquer un changement du mode d'alimentation de la tourbière. L'analyse des macrorestes et de certains taxons locaux a permis de reconstituer les changements au niveau de la tourbière. Dans un premier temps, la présence de deux espèces de sphaignes dans les macrorestes permet de vérifier les positions respectives de l'acrotelme et du catotelme (couches de tourbe respectivement situées au-dessus de la limite inférieure du battement de la nappe phréatique et immergées de manière permanente ; Payette & Rochefort, 2001). *Sphagnum palustre*, qui est une espèce de base de butte, est présente en profondeur dans le catotelme, tandis que *S. capillifolium*, qui constitue le sommet des buttes, se trouve plutôt à la surface de la tourbière (Manneville, 1999). Par ailleurs, l'absence de restes de

sphaignes entre 53 et 32 cm et de spores de *Tilletia sphagni* entre 62 et 27 cm confirme un changement de végétation, au moins local. La présence importante de radicules et de fragments de rhizomes à la base de la Z2, supporte cette hypothèse et suggère une végétation locale dominée par des Cyperaceae et des Poaceae. Enfin, la présence de tourbe noire dans une partie de cette zone indique également une végétation constituée de Cyperaceae (Manneville, 1999). On peut donc envisager un remplacement des sphaignes par des herbacées entre 790-650 et 400-340 cal. BP.

Ces résultats permettent de reconstituer la progression de la tourbière en fonction du temps (Fig. 4). L'initiation de la tourbière a probablement été réalisée par le développement de sphaignes directement sur un sol relativement imperméable (processus de paludification ; Manneville, 1999). Les sphaignes retiennent l'eau et provoquent l'anaérobiose du milieu, qui induit le ralentissement de la dégradation des débris organiques (Manneville, 1999). La tourbière de la Lande est une tourbière de pente alimentée par une source. La base de la carotte est marquée par la présence de sphaignes ayant directement contribué au processus d'entourbement. La présence de *S. palustre*, espèce de milieux relativement humides témoigne d'un apport d'eau phréatique minéralisée. La tourbière aurait donc été au début de sa formation à l'état de bas-marais détrempé avec une nappe phréatique affleurante (Manneville, 1999). Puis, les Cyperaceae et Poaceae auraient envahi la tourbière. Ces deux familles sont typiques des pelouses pseudo-tourbeuses acides et plus sèches (Manneville, 1999). La zone étudiée aurait vécu une période d'assèchement modéré entre 650 et 400 ans cal. BP (peut-être liée à la divagation latérale du ruisseau), avant d'être de nouveau colonisée par les sphaignes. L'analyse topographique indique que la carotte ORPAM 2015 se situe en contre bas de celle de l'étude de référence (Pulido Avila, 2006) et est donc plus éloignée de la source. En émettant l'hypothèse que le bas des deux carottes

enregistre la mise en place de la tourbière, il est possible de déterminer sa vitesse de progression : en 5500 ans, la tourbière aurait progressé de 184 m vers l'aval, ce qui correspond à une vitesse de 3,35 cm/an (Annexe 3).

3-Évolution de la végétation régionale

Bien que les zones Z1 et Z2 possèdent certaines espèces dominantes en commun, l'abondance du châtaignier, *Castanea*, les distingue catégoriquement : il est absent dans Z2 et abondant dans Z1. Cette différence radicale est très probablement liée au développement de sa culture dans les Cévennes entre 1750 et 1850 (Pulido Avila, 2006). On peut observer une diminution des chênes et des arbres des étages méditerranéens (supra- et mésoméditerranéen) durant la période où cette activité sylvicole s'est développée (e.g. *Q. pubescens*, *Tilia*). L'AFC réalisée (Fig. 3) oppose les niveaux 22-23 et 72-73 cm par la présence respective de céréales ou de tilleul. Ce dernier est en général distribué de manière hétérogène au sein de populations de chênes et de hêtres (CRPF, 2013). L'évolution de la distribution des espèces impactées par la culture du châtaignier est visible d'un point de vue pollinique. On peut constater une forte ouverture du milieu juste avant le développement du châtaignier. En effet, dans le niveau 22-23, le taux de pollen de ligneux est de 39 %, alors qu'il est en moyenne de 54 % sur l'ensemble de la carotte. L'enregistrement de pollen de céréales est probablement dû à cette ouverture du milieu, qui permet une meilleure perception de l'apport pollinique régional (Tauber, 1965).

D'autres événements régionaux d'ampleur moins importante peuvent également être mis en évidence. On peut notamment constater une légère augmentation des pins à partir de 12-13 cm de profondeur. Le modèle d'âge date cette profondeur de la carotte à environ 150 ans. Cet événement pourrait correspondre aux campagnes de reboisement ayant eu lieu dans les années 1850 à 1910 (Kalaora & Savoye, 1985). Par ailleurs, la présence assez constante de *Calluna* et *Plantago* durant les

900 ans enregistrés semble indiquer la présence d'une tradition pastorale de longue date au sein de cet environnement (Pulido Avila, 2006). Enfin, on peut noter la présence très ponctuelle du sapin (*Abies*) dont la faible abondance peut être expliquée par sa surexploitation au moyen-âge (Pulido Avila, 2006) et par sa faible dispersion pollinique (De Beaulieu, 1977).

CONCLUSION

Bien que notre point de prélèvement se situe dans une partie relativement récente de la tourbière, les recherches présentées dans cette étude contribuent à la compréhension de sa mise en place et de son développement, ainsi qu'à la reconstitution de l'évolution de la végétation régionale lors des 900 dernières années. D'une part, la mise en évidence du lent développement de ce milieu souligne l'importance des mesures de protection des tourbières. D'autre part, la présence continue de marqueurs anthropiques et le phénomène de déprise agricole avéré dans cette région peuvent amener le questionnement suivant : comment la tourbière de la Lande est-elle amenée à évoluer ?

La détermination d'un plus grand nombre de taxons et une analyse sédimentologique approfondie permettraient d'augmenter la résolution de cette étude et de retracer avec plus de précision l'histoire de ce milieu. Ces analyses complémentaires permettraient notamment d'étudier l'impact des paramètres climatiques sur ce milieu fragile.

RÉFÉRENCES

Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and diagrams. In: Berglund B.E. (éd.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, pp. 455-484. Wiley, New York.

Blanchet C., Champreux A. & Rouvière N. (2016). Croissance radiale du Pin sylvestre et du Pin noir d'Autriche en fonction des facteurs environnementaux du Mont Caroux (Massif de l'Espinouse – Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 17-30.

CRPF - Centres Régionaux de la Propriété Forestière (2013). Les tilleuls en Midi-

Pyrénées, écologie et sylviculture. *L'écho des forêts*, 65 : 1-4.

De Beaulieu J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les Monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et spores*, 11 : 83-96.

De Beaulieu J.-L. (1977). *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène des Alpes méridionales françaises*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 358 p.

De Beaulieu J.-L. & Reille M. (1978). Quelques moyens de sondage en usage chez les pollenanalystes : étude comparative de diagrammes. *Annales des Mines de Belgique*, 6 : 729-737.

DREAL - Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc Roussillon (2011). *La Zone de Protection Spéciale Montagne de l'Espinouse et du Caroux - Site Natura 2000 FR 911 20 19 - Inventaires et analyse de l'existant*. DOCOB du Caroux Espinouse, 93 p.

Durand P., Livet F. & Salabert J. (2004). *A la découverte de la Flore du Haut-Languedoc*. Les éditions du Rouergue / Parc naturel régional du Haut-Languedoc, Rodez, 382 p.

Enjalbert E., Laviano F. & Morarin J. (2016). Paléohydrologie de la Tourbière de la Lande (Mont Caroux) : reconstitution basée sur l'étude des assemblages de rhizopodes. *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 47-59.

Francez A.-J. (1991). *Production primaire et accumulation de matière organique dans les tourbières à sphaignes des Monts du Forez (Puy-de-Dôme)*. Influence des activités humaines sur leur fonctionnement et leur évolution. Thèse de doctorat, Université Paris VI, Paris, 320 p.

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.

Kalaora B. & Savoye A. (1985). *La restauration des terrains de montagne de 1882 à 1913, l'Aigoual et sa légende*. Protection de la Nature, Histoire et idéologie, de la nature à l'environnement,

- Editions l'Harmattan, 16 p.
- Manneville O. (1999). *Le monde des tourbières et des marais: France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. Delachaux & Niestlé, Paris, 319 p.
- Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.
- Parc National des Cévennes (1999). *Atlas du parc national des Cévennes*. Parc National des Cévennes, Florac, 74 p.
- Payette S. & Rochefort L. (2001). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Presses de l'Université Laval, Québec, 307 p.
- Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglacière de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne, Aix-Marseille, 308 p.
- 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., Haflidason 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.
- Tauber H. (1965). Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagram. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, Raekke 2* : 69.
- Van Geel B. (1978). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro-and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 : 1-120.

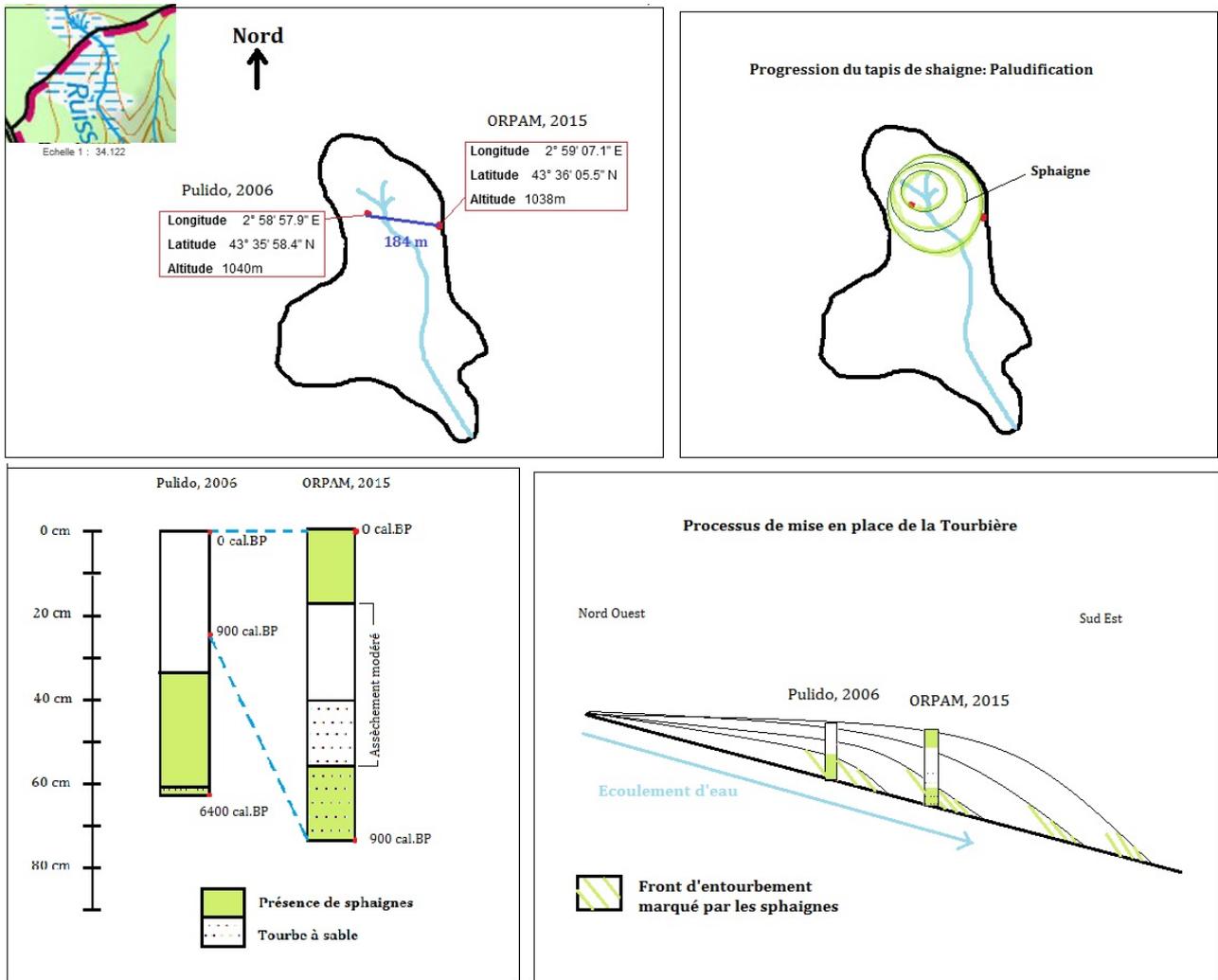
ANNEXE 1. Répartition des types de végétation sur les Monts de l'Épinouse et du Caroux (DREAL, 2011).

	Surface en ha	% brut	% par regroupement	
Pinèdes	405 ha	8,7	20,8	49,7 % de forêt
Autres résineux	562 ha	12,1		
Hêtraies	1 154 ha	24,8	28,9	
Châtaigneraies	63 ha	1,3		
Yeuseraies	3 ha	0,1		
Autres feuillus	129 ha	2,8		
Prés bois	122 ha	21,7	24,3 % de landes et prés bois	
Landes	1 011 ha	2,6		
Pelouses	410 ha	8,8	17,8 % de milieu ouverts	
Prairies	363 ha	7,8		
Cultures	56 ha	1,2		
Zones rupestres	348 ha	7,5	7,5 % de zones rupestres	
Zones humides	7 ha	0,2	0,2 % de zones humides	
Habitations	25 ha	0,5	0,5 % d'habitations	

ANNEXE 2. Macrorestes analysés dans les sédiments de la carotte ORPAM 2015.

	Prof. (cm)	Sphaigne	Radicelles	Rhizomes	Autre
Z2	2-3	+++ (<i>S.c</i>)	+++	+	akène de <i>Carex echinata</i> .
	12-13 *	+++ (<i>S.c. et S.p.</i>)	+++	+	–
Z1	22-23 *	+ (<i>Sc.p</i>)	+	++	–
	32-33 *	Ø	+	++	présence de charbon et écorces de rhizome
	42-43 *	Ø	+	++	–
	52-53	Ø	+++	+++	beaucoup de matière organique, écorces de rhizomes, débris divers
	62-63	+ (<i>S.p</i>)	+++	+++	–
	72-73	+ (<i>S.p</i>)	+	++	écorces, charbons, morceaux de bois, fleur de <i>Calluna vulgaris</i>

ANNEXE 3. Processus de mise en place et évolution de la Tourbière de la Lande en fonction de la distance à la source et de la topologie du terrain.



ANNEXE 4. Inventaire floristique de la tourbière de la Lande (5 septembre 2015).

- *Calluna vulgaris* (Ericaceae), Callune
- *Carex echinata* (Cyperaceae), Laîche étoilée
- *Cirsium palustre* (Asteraceae), Cirse des marais
- *Cytisus oromediterraneus* (Fabaceae), Genêt purgatif
- *Cytisus scoparius* (Fabaceae), Genêt à balais
- *Drosera rotundifolia* (Droseraceae), Rossolis à feuilles rondes
- *Fagus sylvatica* (Fagaceae), Hêtre
- *Molinia caerulea* (Poaceae), Molinie bleue
- *Pinus sylvestris* (Pinaceae), Pin sylvestre
- *Pinus uncinata* (Pinaceae), Pin à crochets
- *Pinus nigra* subsp. *nigra* (Pinaceae), Pinus noir d'Autriche
- *Plantago* sp. (Plantaginaceae), Plantain
- *Potentilla erecta* (Rosaceae), Potentille tormentille
- *Pteridium aquilinum* (Dennstaedtiaceae), Fougère aigle
- *Quercus ilex* (Fagaceae), Chêne vert
- *Quercus pubescens* (Fagaceae), Chêne pubescent
- *Rubus* sp. (Rosaceae), Ronce
- *Rumex* sp. (Polygonaceae), Oseille
- *Salix* sp. (Salicaceae), Saule
- *Sphagnum capillifolium* (Sphagnaceae)
- *Sphagnum palustre* (Sphagnaceae)
- *Viola palustris* (Violaceae), Violette des marais

ANNEXE 5. Relevé phytosociologique de la tourbière de la Lande (Serge Muller, 21 juillet 2009).

Recouvrement végétation (%)	90
Sol nu (%)	10
Richesse spécifique	39
Surface (ha)	5
Bryophytes	
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.	1
<i>Polytrichastrum formosum</i> (Hedw.) G.L.Sm.	+
<i>Sphagnum auriculatum</i> Schimp.	2
<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	1
<i>Sphagnum palustre</i> L.	+
<i>Sphagnum subsecundum</i> Nees	+
Pteridophytes	
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth.	1
<i>Dryopteris filix-mas</i> L.	1
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	1-2
Spermatophytes	
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	1
<i>Briza media</i> L.	+
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	4-5
<i>Carex demissa</i> Hornem.	1
<i>Carex echinata</i> Murray	3
<i>Carex hostiana</i> DC.	1
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	1-2
<i>Carex ovalis</i> Good.	1
<i>Carex panicea</i> L.	2
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	1
<i>Dactylorhiza</i> sp.	1
<i>Danthonia decumbens</i> (L.) DC.	+
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	+
<i>Digitalis purpurea</i> L.	1
<i>Drosera rotundifolia</i> L.	1
<i>Epilobium angustifolium</i> L.	+
<i>Epilobium palustre</i> L.	1
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	1
<i>Galium</i> sp.	1
<i>Genista anglica</i> L.	1
<i>Holcus lanatus</i> L.	2
<i>Hypericum elodes</i> L.	1
<i>Juncus acutiflorus</i> Ehrh. ex Hoffm.	3
<i>Juncus bulbosus</i> L.	1
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	2
<i>Lotus pedunculatus</i> Cav.	2
<i>Luzula multiflora</i> (Ehrh.) Lej.	+
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	4
<i>Narthecium ossifragum</i> (L.) Huds.	+
<i>Potamogeton polygonifolius</i> Pourr.	1
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rauschel	2
<i>Rubus idaeus</i> L.	+
<i>Salix aurita</i> L.	3
<i>Sambucus racemosa</i> L.	+
<i>Veronica scutellata</i> L.	1
<i>Viola palustris</i> L.	3

PALEOHYDROLOGIE DE LA TOURBIERE DE LA LANDE (MONT CAROUX) : RECONSTITUTION BASEE SUR L'ETUDE DES ASSEMBLAGES DE THECAMOEBIENS

Eric Enjalbert ¹, Fiona Laviano ², Julia Morarin ³

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

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

¹ eric.enjalbert@gmail.com, ² fiona.laviano@live.fr, ³ juliamorarin@gmail.com.

Encadrement : Laurent Brémond & Vincent Girard

Citation : Enjalbert E., Laviano F. & Morarin J. (2016). Paléohydrologie de la Tourbière de la Lande (Mont Caroux) : reconstitution basée sur l'étude des assemblages de rhizopodes. *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 47-59.

Résumé : Les assemblages de Thécamoebiens de la tourbière minérotrophe de la Lande, située sur le mont Caroux, ont été étudiés afin de reconstituer les changements paléohydrologiques des 900 dernières années. Le niveau inférieur du battement de la nappe phréatique (limite acrotelme-catotelme) a pu être identifié à 28 cm de profondeur de la tourbe. La comparaison entre l'assemblage actuel de l'acrotelme et les différents niveaux fossiles du catotelme par la méthode du *Mutual Range* suggère que les conditions hydrologiques de la tourbière ont peu varié au cours du dernier millénaire.

Mots clés : *Paléoenvironnement, Régime hydrologique, Nappe phréatique, Rhizopodes, Massif Central*

Abstract: *Palaeohydrology of the fen 'Tourbière de la Lande' (Mont Caroux): reconstruction based on the study of Testate Amoebae assemblages.* Testate amoebae assemblages of the fen "la Lande" (Mont Caroux) were studied in the aims to reconstruct the palaeohydrological changes since 900 years. The lowest water-table level (acrotelm-catotelm limit) is identified at 28 cm depth. The modern assemblage of the acrotelm is compared with the different fossil levels of the catotelm by the *Mutual Range* method. This suggests that the hydrology of the fen did not change significantly during the last millennium.

Keywords: *Palaeoenvironment, hydrological regime, water table, rhizopods, Massif Central*

Dans le cadre d'une étude écosystémique, le potentiel paléoécologique des tourbières permet la reconstitution des conditions environnementales et climatiques à l'échelle millénaire (Langdon et al., 2012 ; Van Bellen et al., 2014). La dynamique des tourbières est régulée en grande partie par leur régime hydrologique, qui varie en fonction de la nature du milieu, dans le temps et en fonction des saisons (Payette & Rochefort, 2001 ; Oris et al., 2013). Au sein de ces

écosystèmes, l'organisation des communautés végétales et celle des assemblages de Thécamoebiens (ou rhizopodes) sont étroitement liées à la dynamique hydrologique du milieu, et en particulier aux fluctuations de la nappe phréatique (NP) (Payette & Rochefort, 2001 ; Payne et al., 2011 ; Oris et al., 2013 ; Van Bellan et al., 2014). La morphologie des tests de Thécamoebiens est distincte pour chaque espèce, et présente une résistance à la décomposition en milieu anoxique (Charman et al., 2007 ; Booth et al., 2008 ; Mitchell et

al., 2008). Ces organismes unicellulaires se développent dans l'acrotelme, qui est la couche de tourbe située au-dessus du niveau inférieur de battement de la NP. Ils sont parmi les proxies les plus sensibles aux variations hydrologiques, car ils se répartissent dans la tourbe en fonction du niveau de la NP et de leur affinités écologiques, plus précisément selon leur tolérance hydrique (Booth, 2008 ; Mitchell et al., 2008 ; Lamarre et al., 2013). Ils constituent ainsi un outil largement utilisé dans la reconstruction paléohydrologique des milieux (Booth et al., 2008 ; Van Bellen et al., 2014). Les tests des Thécamoebiens sont ensuite conservés dans le catotelme, la couche de tourbe anoxique située au-dessous du niveau inférieur de battement de la NP. Cela permet d'appréhender l'hydrologie des paléoenvironnements à différentes périodes selon l'échelle temporelle établie pour l'analyse (Payette & Rochefort, 2001 ; Buttler, 2007 ; Charman et al., 2007).

L'objectif de cette étude est (1) d'identifier les taxons et les assemblages de Thécamoebiens de la Tourbière de la Lande sur le Mont Caroux (Hérault), (2) d'analyser leur répartition et leur concentration en fonction de la profondeur de la tourbe, (3) d'examiner le régime hydrologique actuel de la tourbière par l'analyse des communautés présentes dans l'acrotelme, permettant alors par comparaison (4) d'appréhender les successions des dynamiques hydrologiques de la NP à travers le temps, à travers l'analyse de la répartition des assemblages et de l'écologie des Thécamoebiens présent dans le catotelme. L'identification du niveau de transition entre acrotelme et catotelme a fait l'objet d'une attention particulière. Les grains de pollen et les charbons, issus du même échantillonnage, ont aussi été comparés avec ces résultats afin d'affiner les interprétations paléoenvironnementales.

MATERIEL ET METHODES

1- Contexte environnemental

La Tourbière de la Lande (43°36'06,2"N, 02°59'01,9"E, Fig. 1), située à 1000 m d'altitude sur le Mont Caroux, est soumise à un climat méditerranéen où la pluviosité annuelle dépasse en moyenne les 1200 mm sur l'ensemble du massif. Aussi, un déficit hydrique est constaté pour la période estivale (ORF, 1998). Cette tourbière minérotrophe est principalement alimentée par une source d'eau à son sommet et s'étend sur environ 300 m de pente douce. La zone de prélèvement se trouve dans la partie sud de la tourbière, une zone dominée par des tapis de sphaignes (*Sphagnum capillifolium* et *S. palustre* ; Kotarba et al., 2009 ; Lacand et al., 2016) et des touradons de molinie (*Molinia caerulea*). Le prélèvement de tourbe a été effectué à l'aide d'un carottier russe et a permis d'obtenir une carotte de 74 cm de long.

2- Echantillonnage et comptage

La carotte prélevée a fait l'objet d'une analyse sédimentologique, qui a permis de définir une zonation. Pour l'analyse des rhizopodes, 16 échantillons de 1 cm³ de tourbe ont été prélevés sur l'ensemble de la séquence. L'extraction des rhizopodes a été effectuée selon le protocole défini par Hendon & Charman (1997). Après ajout de glycérine et safranine, ils ont été observés à l'aide de microscopes optiques et identifiés à l'aide du livre de Lee et al. (2000), de la clé de détermination de Booth (2007) et des informations tirées du site Microworld (www.arcella.nl).

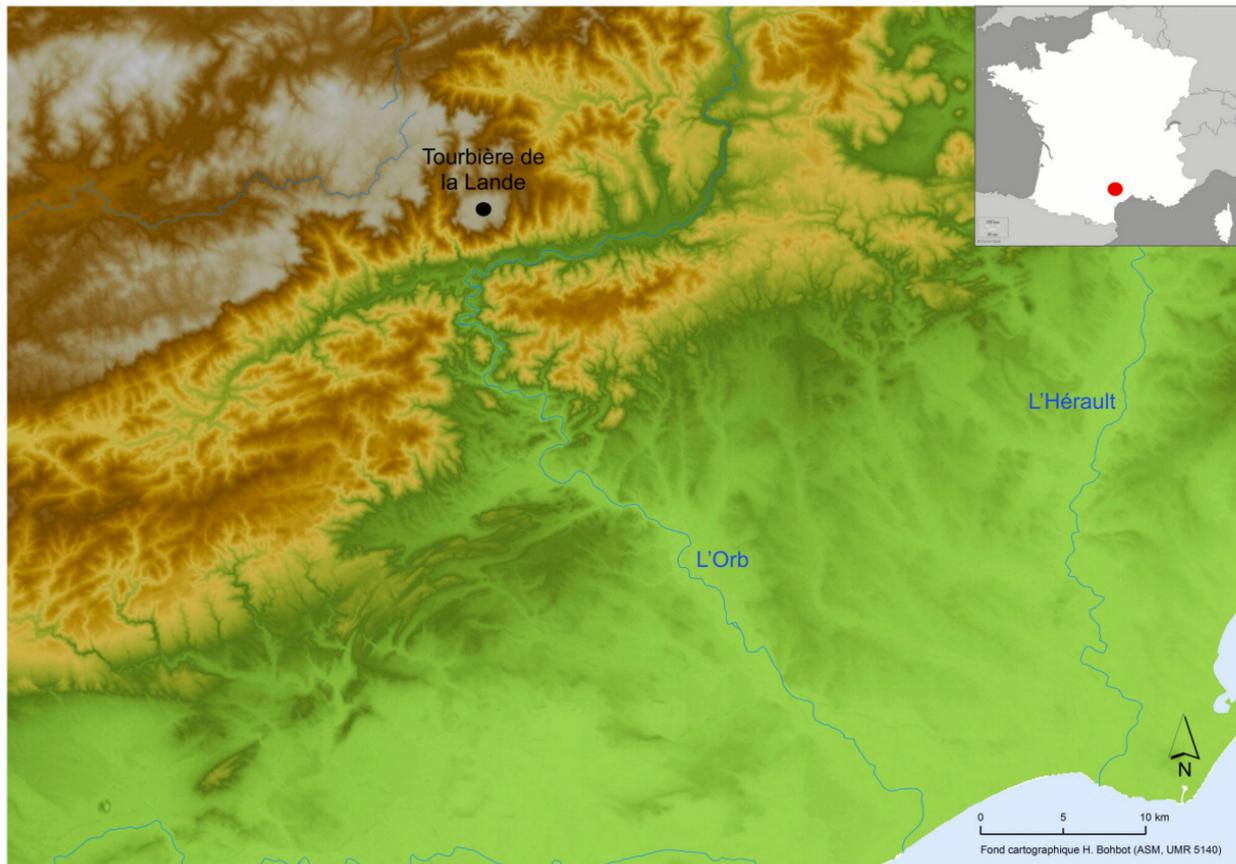


Figure 1. Localisation de la Tourbière de la Lande par rapport aux reliefs des Monts de l'Espinouse

3- Analyse des données

L'écologie des rhizopodes identifiés a été déterminée à partir de la littérature (Booth, 2007 ; Lamarre et al., 2013 ; Van Bellen, 2014). D'après ces auteurs, les tolérances hydriques moyennes et leurs amplitudes ont pu être calculées pour chaque espèce. Les résultats des comptages ont été mis en forme dans un diagramme simplifié de la répartition des rhizopodes en fonction de leur profondeur (logiciel POLPAL ; Nalepka & Walanus, 2003). La concentration en rhizopodes (exprimée en nombre d'individus par cm^3) et la richesse spécifique ont été calculées (Annexe 1). Les espèces les moins abondantes (*Amphitrema wrightianum*, *Arcella artocera*, *A. cantinus*, *A. discoïdes*, *A. hemispherica*, *Cryptodiffugia crenulata*, *C. sacculus*, *Difflugia briophila*, *D. globulosa*, *D. leydi*, *D. oblonga*, *Euglypha rotunda*, *E. strigosa*, *E. tuberculata*, *Habrotrocha angusticollis*, *Heleopera petricola*, *H. rosea*, *Hyalosphenia elegans*, *H. minuta*, *H. platystoma*, *H. subflava*, *Nebela tincta*, *N. tubulosa*, *N. vitreae*,

Placocista spinosa, *Pseudodiffugia facicularis*, *Trigonopyxis arcula*, *T. minuta*) ont été réunies dans un groupe « autres espèces ».

Les ressemblances entre les différents niveaux ont pu être étudiées à l'aide d'une classification hiérarchique ascendante contrainte (CHA, logiciel Past ; Hammer et al., 2001). Elle représente les degrés de similitude entre les niveaux en fonction de leur composition en rhizopodes.

La moyenne et l'amplitude de la niche hydrologique des différentes espèces, obtenues d'après Booth (2007), Lamarre et al. (2013) et Van Bellen (2014), ont été utilisées pour définir le niveau moyen annuel actuel de la nappe phréatique. La méthode du *Mutual Range* (Fauquette et al., 1999) a été utilisée afin de préciser, pour chaque niveau, les tolérances hydrologiques des assemblages de rhizopodes. Enfin, la méthode de Payette & Rochefort (2001) (Annexe 1) a permis de reconstituer les variations passées du niveau de la nappe phréatique. Les valeurs obtenues pour les profondeurs du catotélme ont été

comparées avec le niveau moyen de la nappe phréatique de l'acrotelme (niveau actuel).

RESULTATS

1- Répartition des rhizopodes

L'étude des Thécamoebiens de la Tourbière de Lande révèle la présence de 17 genres et de 45 espèces (Annexe 2). Le taux moyen d'individus indéterminés est de 13,5 % et varie selon la profondeur. Par ailleurs, les analogies écologiques entre les tolérances hydriques des Thécamoebiens issues de la littérature et celles de la Tourbière de la Lande ont permis de dégager deux tendances (Fig. 2). Premièrement, une majorité des taxons identifiés partagent des conditions hydrologiques similaires et peuvent ainsi cohabiter dans un même niveau de tourbe. Deuxièmement, l'amplitude écologique de l'ensemble des Thécamoebiens est importante (de 9 cm au dessus de la NP à 43 cm en dessous).

2- Répartition des Thécamoebiens

La répartition des taxons observés et les analogies écologiques effectuées permettent de délimiter quatre grandes zones dans la carotte et mettent en évidence des tendances hydrologiques (Fig. 3). Il est possible de comparer ces données au profil pédologique de la carotte (à gauche de la Fig. 3) :

- La zone A (73 à 59 cm), regroupe des espèces majoritairement hydrophiles, telles qu'*Amphitrema flavum* (75 %), *Assulina muscorum* ou *Centropyxis platystoma*.
- La zone B (59 à 26 cm) rassemble des Thécamoebiens ayant des optimums hydrologiques variables. Elle peut être subdivisée en trois sous-zones : B1 (36 à 26 cm) et B3 (59 à 46 cm) sont caractérisées par des assemblages à tendance xérophile, tandis que B2 (42 cm) est très appauvri en Thécamoebiens.
- La zone C (26 à 14 cm) est dominée par *Centropyxis platystoma* (30%), *Diffflugia pristis* (10%), *Pseudodiffflugia fulva* (30 %), indiquant un milieu plus humide. On

constate cependant dans cet assemblage la présence d'espèces ayant un optimum hydrologique à tendance plus sèche, comme *Pseudodiffflugia fulva*.

- Enfin, la zone D (14 à 2 cm) présente une majorité de taxons xérophiles, à savoir *Diffflugia pulex* (50 %), *Nebela* spp. (en particulier *N. militaris*, à 15 %) et *Cyclopyxis arcelloides* (5 %).

3- Analyses multivariées

La répartition des Thécamoebiens au sein des 16 échantillons (Fig. 3) suggère un découpage en deux grandes parties (72 à 56 cm, et 52 à 2 cm), écartant ainsi les niveaux de la zone A (73 à 59 cm). La deuxième partie peut être divisée en quatre sous-ensembles, montrant une plus grande confusion entre les zones B/C et isolant la zone D. Aussi, l'AFC suit ce même schéma. Elle suggère une répartition des Thécamoebiens par niveaux de profondeur et en fonction de l'écologie des espèces dominantes, à la fois sur l'axe vertical et sur l'axe horizontal. Elle participe ainsi au regroupement des assemblages de Thécamoebiens présents dans cette carotte.

4- Méthode du *Mutual Range*

La mise en relation des tolérances hydriques (minimales et maximales) des assemblages de Thécamoebiens par niveau de profondeur, à travers la méthode du *Mutual Range*, indique que leur variation au sein la carotte étudiée est faible (Fig. 4). L'amplitude de la profondeur de l'acrotelme est importante et constante. Elle se situe entre +9 cm (submersion de la tourbière) et 34 cm de profondeur de tourbe. En ce qui concerne le catotelme, l'amplitude de la profondeur de la NP est aussi importante et relativement constante. Elle est similaire à celle du l'acrotelme et se situe entre +3 cm et 36 cm de profondeur de tourbe tous niveaux confondus. Seuls les niveaux situés à 52, 56 et 66 cm semblent montrer des tolérances hydriques plus restreintes. L'analyse du niveau 42 cm révèle une absence de Thécamoebiens.

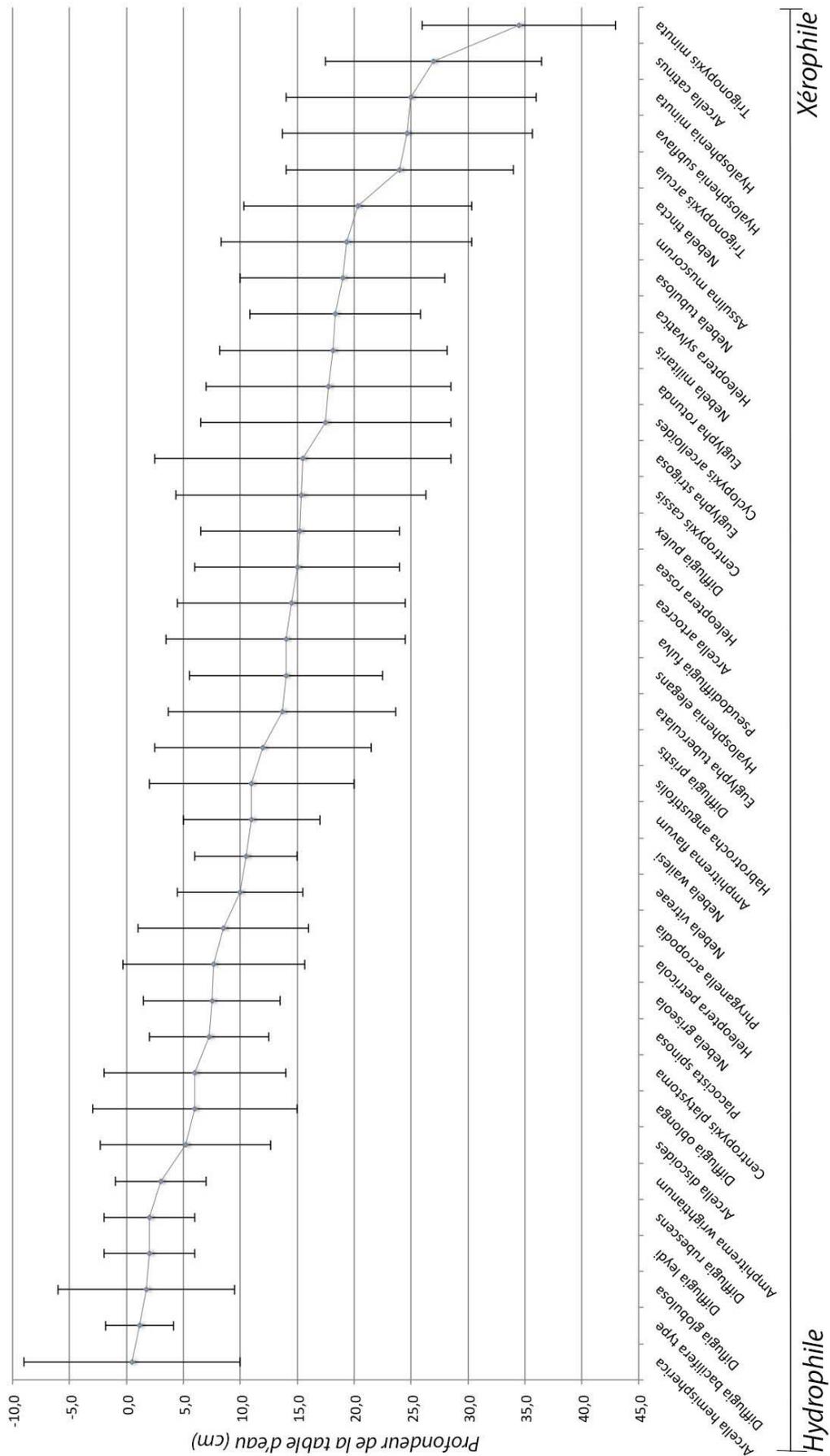


Figure 2. Estimation de la tolérance hydrique (minimale et maximale) des espèces de Thécamoebiens identifiés dans la tourbière de la Landes (Mont Caroux)

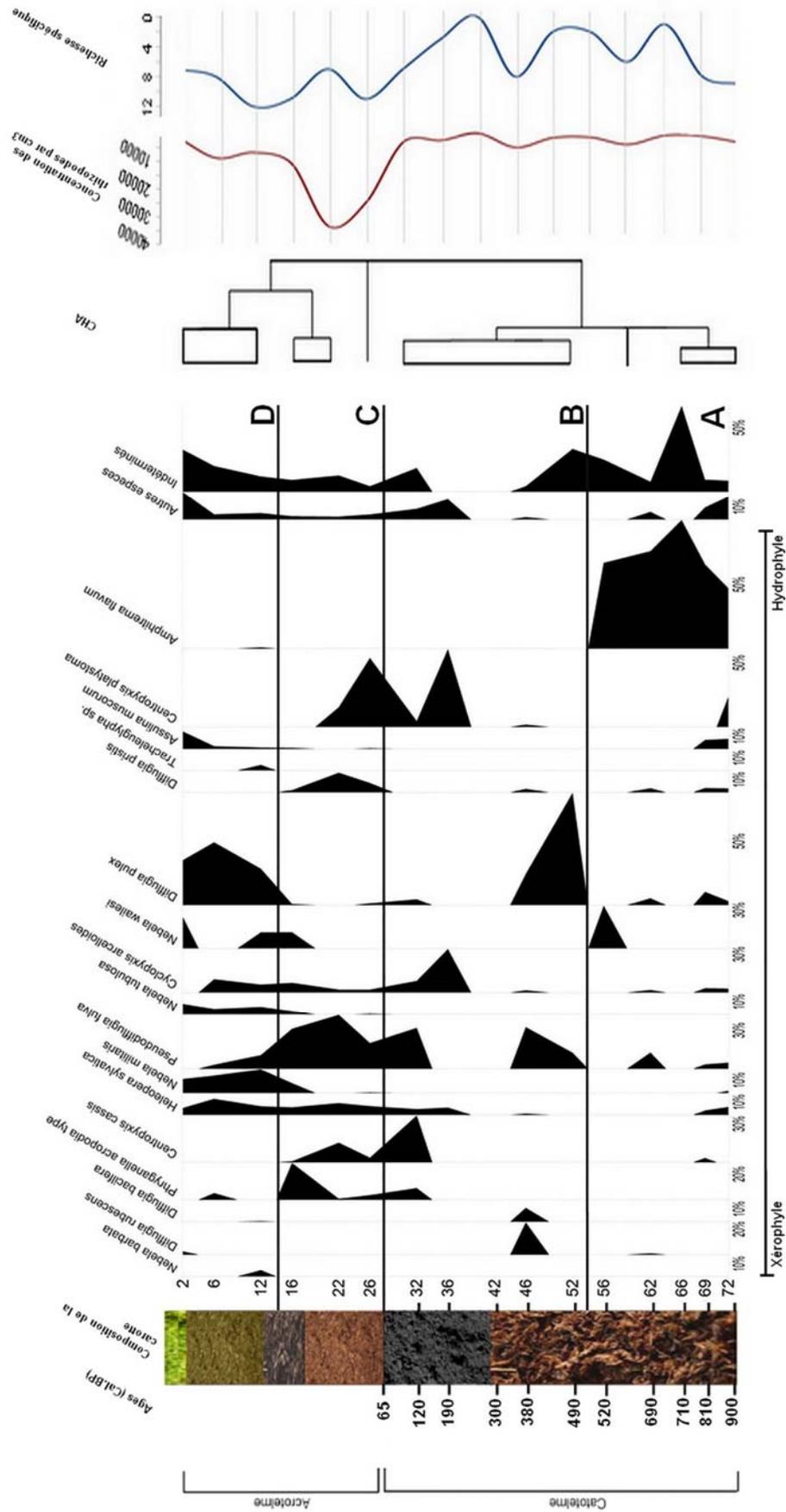
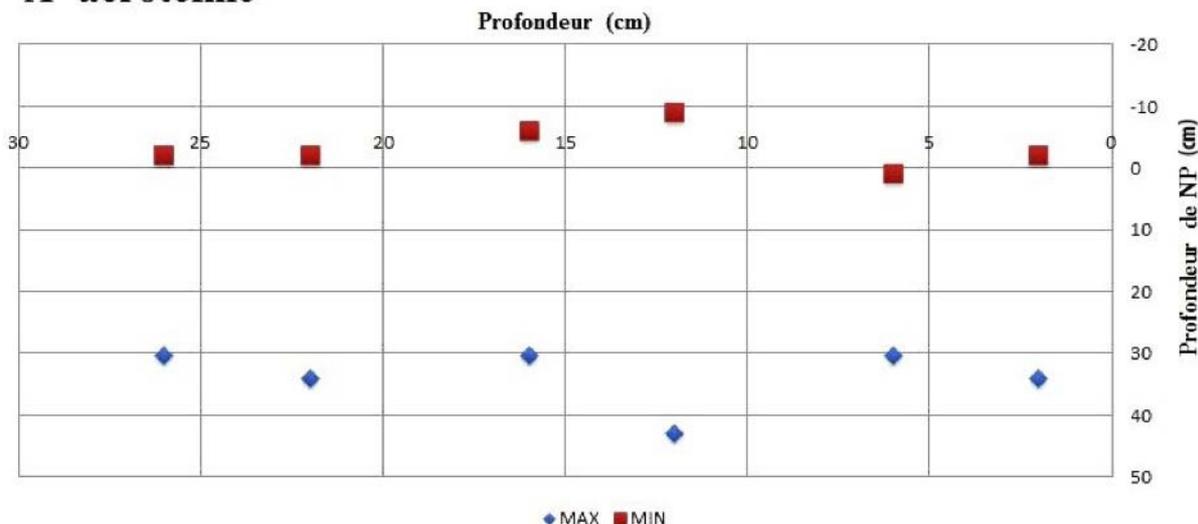


Figure 3. Diagramme simplifié des Thécamoébiens (au centre), classification hiérarchique ascendante (CHA contrainte, basée sur la distance de Chord), concentration et richesse spécifique des Thécamoébiens (à droite) et log stratigraphique (à gauche).

A- acrotelme



B- catotelme

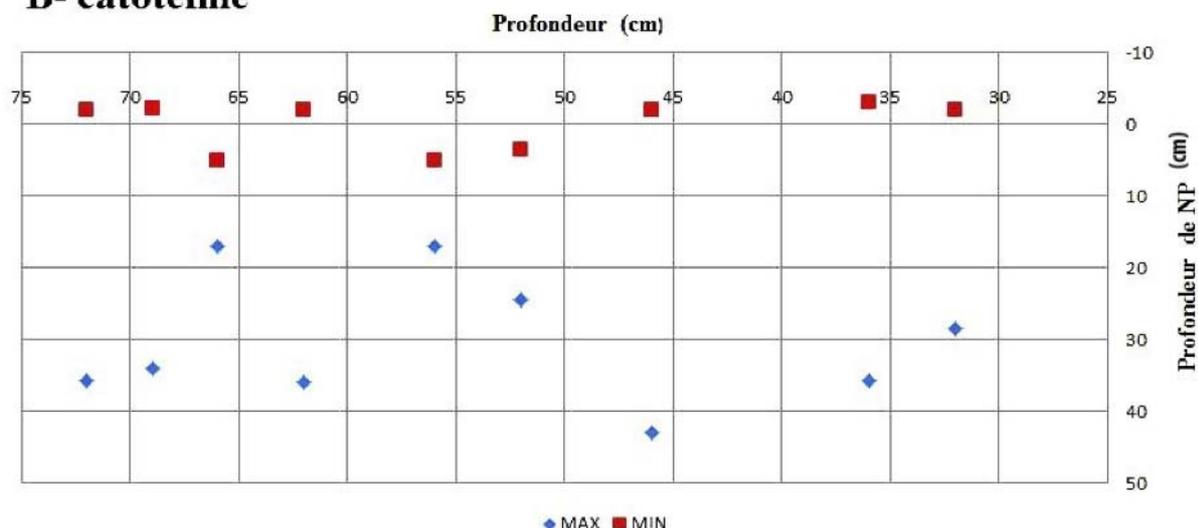


Figure 4. Profondeur minimum et maximum de la nappe phréatique par niveau échantillonné dans l'acrotelme et le catotelme

DISCUSSION

1- Définition du modèle d'âge

L'analyse pollinique effectuée sur la carotte que nous avons étudiée a permis de dater sa base à environ 900 ans cal. BP (Lacand et al., 2016). Dans sa partie sommitale, une transition importante semble avoir lieu entre l'acrotelme (la partie vivante) et le catotelme (la partie fossile). Le diagramme simplifié indique un changement de taxons dominants entre les niveaux 26 cm et 32 cm. De même, la concentration et la richesse spécifique des

Thécamoebiens montrent une bipartition au sein de la carotte. On constate qu'elles sont importantes au-dessus de 26 cm tandis qu'elles chutent en dessous de 32 cm, sous-entendant une activité de décomposition plus importante qui réduit ainsi le nombre de Thécamoebiens dans la tourbe (Oris, 2013 ; Payette & Rochefort, 2001). Aussi, la tourbe, fortement humidifiée et de couleur noire entre 41 cm et 28 cm (Fig. 3), témoigne d'une activité de fermentation produite par des bactéries (Payette & Rochefort, 2001). Elle succède à une tourbe brune plus claire, située de 28 cm à 17 cm, où la matière organique est

en décomposition. D'après ces éléments, la transition acrotelme/catotelme se situerait à 28 cm de profondeur, autorisant un réajustement du 0 BP à 28 cm (Annexe 3).

2- Caractérisation des assemblages actuels

L'acrotelme de la Tourbière de la Lande, zone dans laquelle la nappe phréatique fluctue, abrite actuellement des taxons à tolérance hydrologique variée. La cohabitation de ces espèces peut suggérer une adaptation relative des Thécamoebiens à des conditions écologiques changeantes ou encore un dynamisme hydrologique de la tourbière, permettant une succession de taxons sur un temps réduit. Plusieurs études (e.g. Booth, 2008 ; Lamarre et al., 2013 ; Van Bellen et al., 2014) ont mis en évidence la large tolérance hydrique que peuvent posséder de nombreux Thécamoebiens, leur permettant de s'adapter à diverses conditions et leur donnant probablement un avantage sélectif sur les espèces moins flexibles. Cette cohabitation et cette adaptation pourraient être le fait de fluctuation saisonnière relativement rapide de la nappe phréatique. En effet, les tourbières subissent une évapotranspiration et un déficit hydrique important durant l'été (Payette & Rochefort, 2001). L'importante concentration en Thécamoebiens observée dans la partie basse de l'acrotelme peut être ainsi expliquée par le fait que le carottage ait eu lieu en fin d'été. En effet, il est envisageable qu'avec la diminution de la NP, les Thécamoebiens aient migré à des niveaux inférieurs afin de suivre leur optimum. Par ailleurs, la diversité des taxons est, en ce sens, peut-être liée à l'amplitude des variations saisonnières du climat méditerranéen qui est très contrasté. Malgré certaines différences de tolérance hydrique entre les espèces identifiées, et de par leur tolérance, on peut considérer que les taxons de l'acrotelme constituent un assemblage unique. Ainsi, la comparaison entre cet assemblage actuel et les restes fossiles identifiés est susceptible de permettre la reconstruction des variations relatives de la nappe phréatique de la Tourbière de la Lande.

3- Dynamique hydrologique passée de la tourbière

La concentration et la diversité des Thécamoebiens sont globalement plus faibles dans le catotelme que dans l'acrotelme, peut-être en raison des processus de décomposition (Oris, 2013 ; Payette & Rochefort, 2001). On observe toutefois qu'elles varient en fonction des niveaux. Ceci peut s'expliquer par des variations du régime hydrologique dans le temps ou par une conservation différentielle selon le type de sédiment.

L'analyse des *Mutual Range* des taxons identifiés indique que la variabilité de profondeur de la NP est faible entre les 10 niveaux du catotelme étudiés. L'amplitude de cette variation est similaire à celle de l'acrotelme (entre +3 cm et 36 cm de profondeur pour le catotelme et entre +9 cm et 34 cm pour l'acrotelme, Fig. 4). Ceci suggère que le régime hydrologique de la Tourbière de la Lande a peu varié, montrant un état général proche de l'actuel durant le dernier millénaire, ce qui pourrait traduire une relative stabilité des conditions climatiques sur le Mont Caroux. En revanche, certains niveaux font exceptions : ceux situés à 52 cm (490 cal. BP), 56 cm (570 cal. BP) et 66 cm (775 cal. BP). Ces trois niveaux suggèrent des amplitudes de profondeur de la NP beaucoup moins importantes, bien que centrées sur la même moyenne globale que l'ensemble des échantillons. Ce resserrement peut toutefois être expliqué par la faible richesse spécifique de ces niveaux, liée plus aux conditions taphonomiques (Payette & Rochefort, 2001 ; Lamarre et al., 2013) qu'à de réelles variations hydrologiques. De plus, ces niveaux ne correspondent pas aux zonations par assemblages établies par l'étude de la répartition des taxons ; il est ainsi possible qu'il s'agisse d'événements ponctuels. Ainsi, dans l'étude anthracologique de Foy & Fruy (2016) réalisée sur le même carottage, un feu a été identifié à 42 cm de profondeur (305 cal. BP) et correspond à un niveau stérile en Thécamoebiens. Ainsi, la sensibilité des tourbières aux facteurs locaux (Payette & Rochefort, 2001) pourrait expliquer que des événements ponctuels de ce type aient

temporairement perturbé le fonctionnement de la tourbière et soient à l'origine de ces enregistrements divergents.

CONCLUSION

L'étude des assemblages actuels (acrotelme) et passés (catotelme) de Thécamoebiens de la Tourbière de la Lande, située sur le mont Caroux, a montré que les conditions hydrologiques de cette tourbière ont peu varié durant ces 900 dernières années. L'étude met en évidence une importante diversité d'espèces vivant actuellement dans la tourbière. Les successions d'assemblages de Thécamoebiens ne semblent pas indiquer de changement du régime hydrologique. Les variations de la concentration et de la richesse spécifique pourraient être expliquées par des événements très ponctuels comme des feux ou encore par différents processus de dépôt. Dans l'objectif de comprendre les facteurs de variations des assemblages et d'affiner cette étude, il serait intéressant de mettre en relation l'écologie des espèces identifiées, notamment les réseaux trophiques, pouvant affecter leur présence et leur répartition. Aussi, il est important de mieux connaître la résistance de leur test aux différents contextes de dépôt, encore peu connu. Par ailleurs, la réalisation d'un référentiel concernant la conservation et l'écologie des Thécamoebiens dans la région permettrait de mieux traiter ces données et de réaliser des restitutions paléohydrologiques plus précises.

REFERENCES

Booth R.K. (2007). Testate amoebae as proxies for mean annual water-table depth in *Sphagnum*-dominated peatlands of North America. *Journal of Quaternary Sciences*, 23 : 43-57.

Booth R.K., Sullivan M.E. & Sousa V.A. (2008). Ecology of testate amoebae in a North Carolina pocosin and their potential use as environmental and paleoenvironmental indicators. *Ecoscience*, 15 (2) : 277-289.

Buttler A., Warner B.G., Grosvernier P. & Matthey I. (2007). Vertical patterns of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda)

and peat-forming vegetation on cutover bogs in the Jura, Switzerland. *New Phytology*, 134 (2) : 371-382.

- Charman D.J., Blundell A. & Acrotelm Members (2007). A new European testate amoebae transfer function for palaeohydrological reconstruction on ombrotrophic peatlands. *Journal of Quaternary Science*, 22 (3) : 209-221.
- Fauquette S., Suc J.P., Guiot J., Diniz F., Feddi N., Zheng Z., Bessais E. & Drivaliari A. (1999). Climate and biomes in the West Mediterranean area during the Pliocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152 (1) : 15-36.
- Foy W. & Fruy A. (2016). Paléoincendies sur le Mont Caroux à l'Holocène récent. *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 9-15.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). Paleontological statistics software: Package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 9.
- Kotarba A., Moresco E. & Roux L., 2009. Inventaire et cartographie des sphaignes du Caroux. *Orpalm Synthesis*, 2 : 7-14.
- Hendon D. & Charman D.J. (1997). The preparation of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) samples from peat. *The Holocene*, 7 (2) : 199-205.
- Lacand M., Sampy T. & Toumoulin A. (2015). Évolution de la Tourbière de la Lande et de la végétation du Haut-Languedoc lors des 900 dernières années (étude palynologique). *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 31-44.
- Lamarre A., Magnan G., Garneau M. & Boucher É. (2013). A testate amoeba-based transfer function for paleohydrological reconstruction from boreal and subarctic peatlands in northeastern Canada. *Quaternary International*, 306 : 88-96.
- Langdon P.G., Brown A.G., Caseldine C.J., Blockley S.P.E. & Stuijts I. (2012). Regional climate change from peat stratigraphy for the mid-to late Holocene in central Ireland. *Quaternary International*, 268 : 145-155.
- Lee J.J., Leedale G.F. & Bradbury P. (2000). *An Illustrated Guide to the Protozoa*,

- Second edition. Society of Protozoologists, Lawrence Kansas U.S.A., 548 p.
- Mitchell E.A., Payne R.J. & Lamentowicz M. (2008). Potential implications of differential preservation of testate amoeba shells for paleoenvironmental reconstruction in peatlands. *Journal of Paleolimnology*, 40 (2) : 603-618.
- Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.
- ORF. (1998). La forêt et ses produits□; description et enjeux. *ORP Du Languedoc-Rousillon, Tome 1*.
- Oris F., Lamentowicz M., Genries A., Mourier B., Blarquez O., Ali A.A., Bremond L. & Carcaillet C. (2013). Holocene changes in climate and land use drove shifts in the diversity of testate amoebae in a subalpine pond. *Journal of Paleolimnology*, 49 (4) : 633-646.
- Payne R.J., Telford R.J., Blackford J.J., Blundell A., Booth R.K., Charman D.J., Lamentowicz L., Lamentowicz M., Mitchell E.A.D., Potts G., Warner B.G., Woodland W. & Swindles G.T. (2011). Testing peatland testate amoeba transfer functions: appropriate methods for clustered training-sets. *The Holocene*, 22 : 819-825.
- Payette S. et Rochefort L. (2001). Écologie des tourbières du Québec, Labrador. *Presse de l'Université Laval, Canada*.
- Van Bellen S., Mauquoy D., Payne R.J., Roland T.P., Daley T.J., Hugues P.D.M., Loader N.J., Street-Perrot A., Rice E.M. & Pancotto V.A. (2014). Testate amoebae as a proxy for reconstructing Holocene water table dynamics in southern Patagonian peat bogs. *Journal of Quaternary Science*, 29 (5) : 463-474.

ANNEXE 1. Formule du calcul de la concentration en rhizopodes (CR, exprimé en nombre d'individus par cm³) et du niveau moyen de la nappe phréatique (X_j).

Le nombre de rhizopodes dans la lame (NRI) est calculé en tenant compte du nombre de rhizopodes comptés par l'analyste (NRc), du nombre total de ligne compris sur une lame (NLt) et du nombre de ligne comptées par l'analyste (NLC) :

$$NRI = (NRc * NLt) / NLC$$

Le NRI est maintenant utiliser pour extrapoler le nombre de rhizopodes total dans le culot (NRt), en plus du volume de Culot (Vc) et du volume de gouttes (Vg) :

$$NRt = (NRI * Vc) / Vg$$

Enfin, pour obtenir la CR, il faut maintenant diviser le NRt par le volume initial de sédiment traité (Vi) :

$$CR = NRt / Vi$$

Soit :

$$CR = (NRc * NRt * Vc) / (NLC * Vg * Vi)$$

Formule permettant d'estimer un niveau moyen de la nappe phréatique :

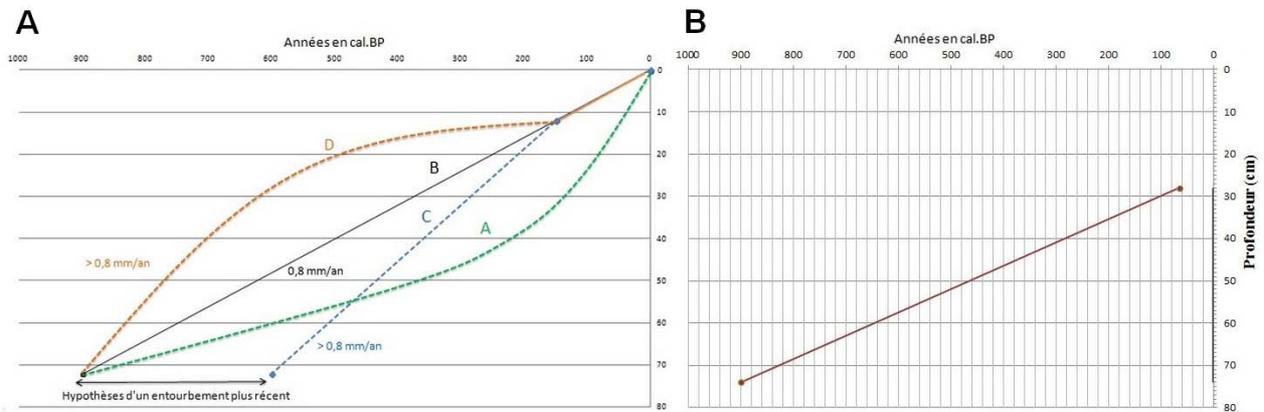
$$X_j = (S * W_{ai} * Y_{ij}) / 100$$

X_j correspond à la profondeur de la nappe phréatique de l'échantillon j, W_{ai} à la profondeur moyenne de la nappe phréatique de l'espèce i et Y_{ij} à l'abondance de l'espèce i dans l'échantillon j (Payette et Rochefort, 2001).

ANNEXE 2. Rhizopodes recensés le 5 Septembre 2015 dans la Tourbière de la Lande

Genres	Espèces
<i>Amphitrema</i>	<i>Amphitrema flavum</i> <i>Amphitrema wrightianum</i>
<i>Arcella</i>	<i>Arcella artocrea</i> <i>Arcella cantinus</i> <i>Arcella discoïdes</i> <i>Arcella hemispherica</i>
<i>Assulina</i>	<i>Assulina muscorum</i>
<i>Centropyxis</i>	<i>Centropyxis cassis</i> <i>Centropyxis platystoma</i>
<i>Cryptodifflugia</i>	<i>Cryptodifflugia crenulata</i> <i>Cryptodifflugia sacculus</i>
<i>Cyclopyxis</i>	<i>Cyclopyxis arcelloides</i>
<i>Difflugia</i>	<i>Difflugia bacilifera</i> <i>Difflugia briophila</i> <i>Difflugia globulosa</i> <i>Difflugia leydi</i> <i>Difflugia oblonga</i> <i>Difflugia pristin</i> <i>Difflugia pulex</i> <i>Difflugia rubescens</i> <i>Difflugia sp.</i>
<i>Euglypha</i>	<i>Euglypha rotunda</i> <i>Euglypha sp.</i> <i>Euglypha strigosa</i> <i>Euglypha tuberculata</i>
<i>Habrotrocha</i> (Rotifère)	<i>Habrotrocha angustifolis</i>
<i>Heleopera</i>	<i>Heleopera petricola</i> <i>Heleopera rosea</i> <i>Heleopera sylvatica</i>
<i>Hyalosphenia</i>	<i>Hyalosphenia elegans</i> <i>Hyalosphenia minuta</i> <i>Hyalosphenia platystoma</i> <i>Hyalosphenia subflava</i>
<i>Nebela</i>	<i>Nebela barbata</i> <i>Nebela griseola</i> <i>Nebela militaris</i> <i>Nebela tinctoria</i> <i>Nebela tubulosa</i> <i>Nebela vitreae</i> <i>Nebela wailesi</i>
<i>Phryganella</i>	<i>Phryganella acropodia</i>
<i>Placocista</i>	<i>Placocista spinosa</i>
<i>Pseudodifflugia</i>	<i>Pseudodifflugia facicularis</i> <i>Pseudodifflugia fulva</i>
<i>Tracheleuglypha</i>	<i>Tracheleuglypha sp.</i>
<i>Trigonopyxis</i>	<i>Trigonopyxis arcula</i> <i>Trigonopyxis minuta</i>

ANNEXE 3. Modèle d'âge issu de l'étude palynologique (Lacand et al., 2016) et modèle d'âge réajusté pour cette étude. A, modèle d'âge palynologique de référence ; B, modèle d'âge ajusté à l'acrotelme (28 cm) ; C, âges cal. BP et dates correspondant au modèle d'âge ajusté.



C

Profondeur (cm)	28	32	36	42	46	52	56	62	66	69	72
Age cal.BP	-65	-120	-190	-300	-380	-490	-520	-690	-710	-810	-900
Dates	1950	1830	1760	1650	1570	1460	1430	1260	1240	1140	1050