

Orpalm

Synthesis

2019
No 12 (1)



Monts de Lacaune (2)



ORPALM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléocologie
n°12 (1) - Année 2019

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

Editeurs associés
Laurent BRÉMOND^{1,3}
Benoît BROSSIER^{1,4}
Vincent GIRARD^{1,2}

¹ISEM,
²UM2, ³EPHE, ⁴CNRS

Auteurs

Guillaume BERTIN, Lewis
CELANIE, Jean DECORSIERE, Jeanne
DELAMARE-DEBOUTTEVILLE,
Thibault DURIEUX, Marine
JEANJEAN, Pierre LAPELLEGERIE,
Constant LECERF

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
3^e trimestre 2019
Université de Montpellier

ORPAM 2018-2019 : Le « Tar(n)diglaciale » des Monts de Lacaune

Après une édition 2017 très prometteuse¹, la horde de bûcherons sauvages a laissé place, du 5 au 7 septembre 2018, toujours sur la tourbière de Canroute (Le Margnès, Monts de Lacaune, Tarn), à une cohorte de sondeurs de tourbe aux prises avec une harde de *Highland Cattles* curieuses mais soucieuses pour leurs rejetons. Quelques étudiants sauvés par un garçon vacher de circonstance ont bien failli en faire les frais.

Lors de cette école de terrain, il ne s'agissait pas de faire émerger dans cette région forestière connue pour ses charcuteries et salaisons poivrées, une nouvelle économie fondée sur l'exploitation de la tourbe à des fins agricoles ou pour son utilisation comme matériau de construction ou comme combustible. Bien au contraire, il s'agissait de poursuivre les travaux initiés en juillet puis en septembre 2017 et de soutenir les actions de préservation, de gestion, de restauration, de valorisation et de pédagogie menées par le Conservatoire des Espaces Naturels (CEN).

Le long de transects parcourant la tourbière, les étudiants ont ainsi généralisé les sondages profonds pour mettre au jour les niveaux tourbeux les plus anciens. Cette mise au jour était un préalable indispensable à des carottages (extraction de tourbe à l'aide d'un carottier russe) et à des analyses en laboratoire (analyses sédimentologiques et des bioindicateurs écologiques).

C'est ainsi qu'à près de 160 cm de profondeur (figure 1), un fragment de matière organique fut daté au ¹⁴C par le *Poznan Radiocarbon Laboratory*. Cette datation révéla que la base de la tourbière avait été mise en place durant le Tardiglaciaire, dernière phase du Pléistocène, période marquée par la dernière glaciation (Würm) et précédant l'Holocène (période actuelle).

Ce Tardiglaciaire, dénommé localement « Tar(n)diglaciale » ou « Tardiglaciaire tarnais orpamien », très peu voire pas documenté dans le sud du Massif Central, constituait une réelle et belle découverte.

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

Un grand merci (1) au département Biologie-Ecologie (Faculté des Sciences, Université de Montpellier) et à

l'Institut des Sciences de l'Evolution-Montpellier (ISEM, UMR 5554) qui nous permet de développer, grâce à la mise à disposition de plateaux techniques, cet apprentissage par la recherche et pour la recherche ; (2) à Florence et Jérôme Moise pour leur accueil (gîte et couvert) au Roussinas (Anglès) ; (3) au Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc, au CEN, et en particulier à Frédéric Néri et à Francis Muller de nous avoir permis de travailler sur la tourbière de Canroute.

L'équipe pédagogique était cette année constituée de : Claire Blanchet (doctorante, ancienne Master Orpalienne, Karl Bader Henga Botsika Bobe (« Enter the Matrix », doctorant), Laurent Bremond, Vincent Girard, Serge Muller et Jean-Frédéric Terral.

Jean-Frédéric Terral
Editeur en chef d'ORPALM Synthesis

¹ https://www.biologie-ecologie.com/ORPAL/Orpalm-Synthesis-2018_1.pdf

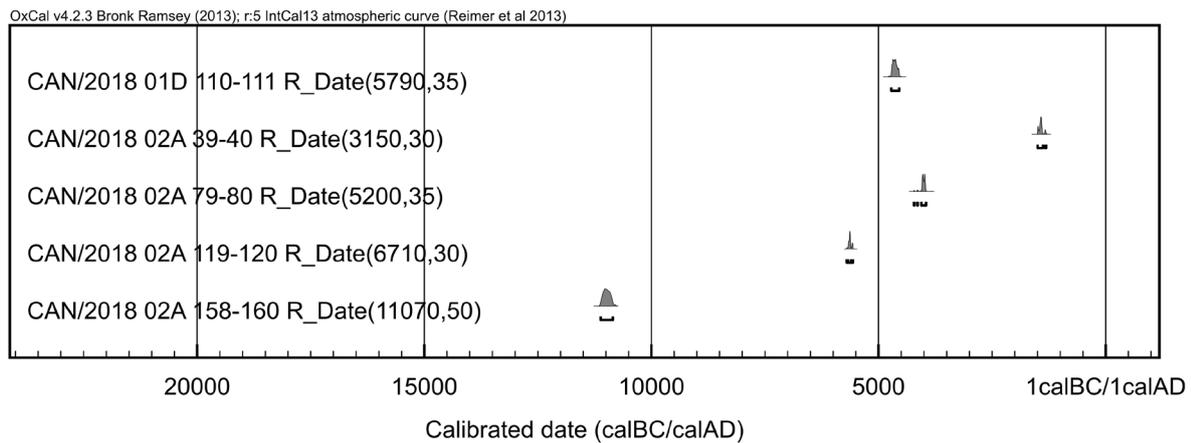


Figure 1. Synthèse des datations réalisées à Canroute (cf. Muller et al., 2019, ci-dessous)



Petit jeu : une gilette jaune s'est glissée dans l'équipe des Orpamiens 2019. Saurez-vous la repérer ?

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

ORPAL & ORPAM en bref

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

Contenu pédagogique

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

Apport pour les étudiants

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

Organisation des modules

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

Déroulement d'ORPAL-ORPAM

Etape 1/5 : Briefing méthodologique

La reconstruction des paléoenvironnements : pourquoi et comment ? Organisation des modules, objectifs pédagogiques, méthodes.

Etape 2/5 : Stage de terrain

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

Etape 3/5 : Stage en laboratoire

Sous la responsabilité d'un encadrant, travail de laboratoire, analyse des données, travail bibliographique. Une journée par semaine.

Etape 4/5 : Rédaction et présentation orale

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

Etape 5/5 : Evaluation et publication

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

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

ORPAL : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements – Licence ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2006-2007.

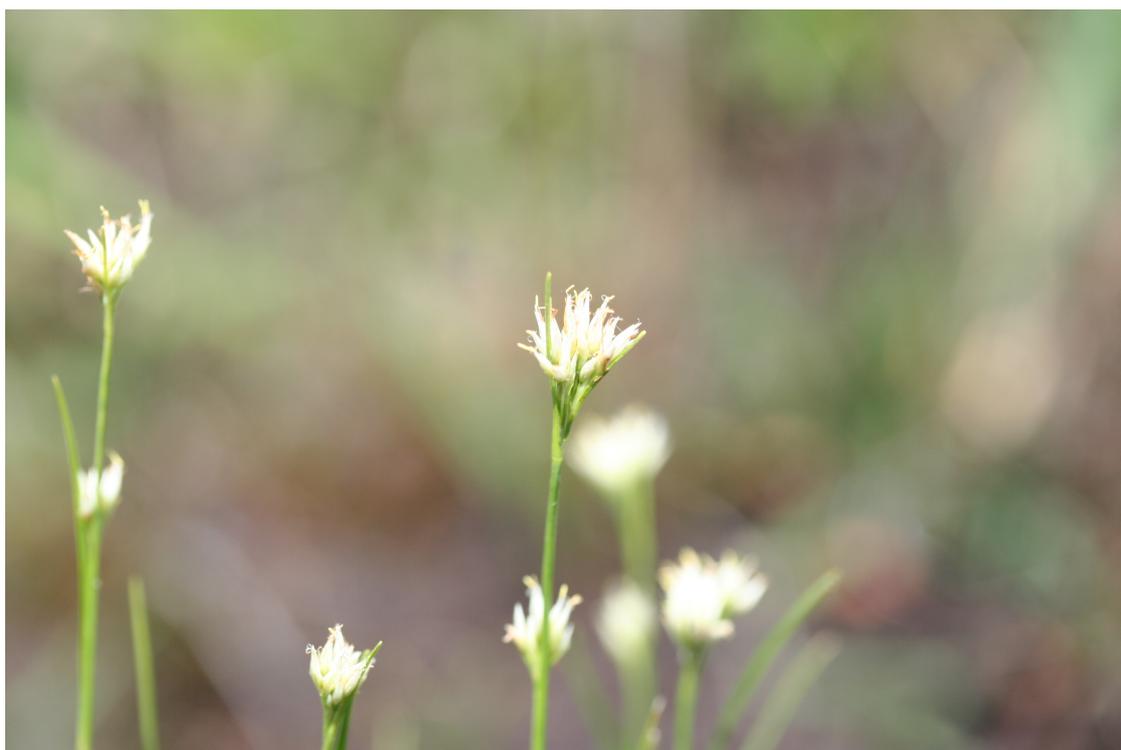
ORPAM : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements – Master ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2015-2016.

ORPALM Synthesis. Revue bisannuelle, créée en 2008 sous le nom *ORPAL Synthesis* pour publier les travaux réalisés dans le cadre de l'UE ORPAL, et rebaptisée en prévision de l'intégration, en 2015-2016, des travaux de l'UE ORPAM.

ORPAM 2018-2019

Monts de Lacaune (2)

Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. : <i>Age des tourbières de la marge méridionale du Massif Central</i>	9
Celanie L., Jeanjean M. & Lapellegerie P. : <i>Âges et paléoenvironnements de l'initiation de la tourbière de Canroute (Tarn, France)</i>	17
Decorsière J., Delamare-Deboutteville J. & Lecerf C. : <i>Reconstitution de 13 500 ans d'histoire d'une tourbière dans le sud de la France</i>	29
Bertin G. & Durieux T. : <i>Variation des conditions environnementales de la tourbière de Canroute (France) au cours des 7700 dernières années : apport de l'étude des rhizopodes</i>	41



Rhynchospora alba, une délicate Cyperaceae des tourbières bombées sous influence océanique
(photo : S. Muller)

AGE DES TOURBIERES DE LA MARGE MERIDIONALE DU MASSIF CENTRAL

Serge D. Muller¹, Laurent Bremond², Vincent Girard³, Jean-Frédéric Terral⁴

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

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

¹ serge.muller@umontpellier.fr, ² laurent.bremond@umontpellier.fr,

³ vincent.girard@umontpellier.fr, ⁴ jean-frederic.terral@umontpellier.fr

Citation : Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2019). Age des tourbières de la marge méridionale du Massif Central. *Orpalm Synthesis* 12 (1) : 9-15.

Résumé : Les datations radiocarbone, obtenues après la clôture de l'UE ORPAM, révèlent que la tourbière de Canroute s'est initiée il y a 13 000 ans environ. Cet âge en fait la plus ancienne tourbière du sud du Massif Central, et la seule connue à ce jour à avoir enregistré la fin du Tardiglaciaire. La compilation de toutes les datations disponibles dans la région permet d'identifier 4 périodes d'initiation des tourbières : 13000, 8000, 6500-5200 et 2000-1700. L'âge des tourbières semble être en lien avec leur altitude, la plus ancienne étant la moins élevée.

Mots clés : datation radiocarbone, chronologie, Méditerranée, tourbigenèse

Abstract: *Age of peatlands of the southern margin of French Massif Central.* Radiocarbon dates, obtained after the end of UE ORPAM, reveal that the Canroute peatland initiated about 13,000 years ago. It is the most ancient peatland of the south of Massif Central, and the only one known to have recorded the end of Lateglacial. The synthesis of all ages available in the region allows identifying 4 periods of initiation of peatlands : 13,000, 8000, 6500-5200 and 2000-1700. The age of peatlands seems to be related to their altitude, since the most ancient is the less elevated.

Keywords: radiocarbon dating, chronology, Mediterranean, peat accumulation

À la suite des travaux pionniers de Firbas (1932) et Braun-Blanquet (1933), de nombreuses études palynologiques ont été conduites sur les reliefs siliceux de la marge méridionale du Massif Central. A partir des années 1960, J.-L. de Beaulieu a réalisé un remarquable travail sur le territoire compris entre le Mont Lozère à l'est et la Montagne Noire à l'ouest (de Beaulieu, 1967, 1969, 1974, 1981; de Beaulieu & Evin, 1972 ; de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu & Pons, 1979), complété sur le Mont Lozère par une étude de M. Reille (Reille, 1988). Ces travaux, qui ont défini toute l'histoire postglaciaire de la région et y ont précisé le rôle passé de l'homme et du

climat, présentent toutefois d'importantes lacunes en terme de chronologie. La plupart des diagrammes présentés ne sont pas datés, et lorsqu'ils le sont, les dates sont peu nombreuses et peu précises. Pour pallier ce problème et obtenir des chronologies plus robustes, de nouvelles études ont été conduites depuis les années 2000. La première et la plus complète est la thèse de M. Pulido Avila (Pulido Avila, 2006), qui s'est intéressée aux conséquences de l'anthropisation sur l'ensemble du territoire précédemment étudié par J.-L. de Beaulieu. Enfin, quelques travaux plus récents, comme ceux de Bottollier-Curtet & Muller (2009) sur l'Aigoual, de Servera Vives (2014) sur le Lozère et de Lacand et al. (2016) sur le

Caroux, se sont focalisés sur la dynamique locale des tourbières.

L'enseignement de la paléocécologie dans le cadre du module ORPAM nous a conduits depuis deux années dans une tourbière des Monts de Lacaune, la tourbière de Canroute (Terral & Muller, 2018). Cette tourbière présentait pour nous un double intérêt : elle constitue la plus remarquable tourbière à sphaignes du département du Tarn (CEN Midi-Pyrénées, 2007) et elle a étonnamment été « oubliée » par J.-L. de Beaulieu, qui a pourtant étudié la quasi-totalité des tourbières de la région.

L'objectif de la présente note est de compléter les travaux des étudiants d'ORPAM 2018 en présentant les datations radiocarbone d'une des séquences étudiées, obtenues après la clôture de l'UE. Une synthèse des données chronologiques et chronostratigraphiques disponibles pour le Parc naturel régional du Haut Languedoc permet de discuter l'intérêt de ces

nouvelles données dans le contexte géographique régional.

MATERIEL ET METHODES

1- Région et site d'étude

La tourbière de Canroute est située dans les Monts de Lacaune, dans le département du Tarn et le parc naturel régional du Haut-Languedoc (CEN Midi-Pyrénées, 2007). La géologie complexe de la marge méridionale du Massif Central est dominée par des reliefs siliceux, témoins de l'orogénèse hercynienne paléozoïque, de phases d'érosion au Mésozoïque et au Cénozoïque et de la surrection alpine au Tertiaire. Le climat subit une double influence, méditerranéenne et océanique, avec des précipitations importantes. Ces caractéristiques géologiques et climatiques expliquent la relative abondance des tourbières dans le parc du Haut-Languedoc (Table 1).

Table 1. Tourbières du Parc régional du Haut-Languedoc ayant fait l'objet d'études palynologiques

Site	Code	Long. N	Lat. E	Alt. (m)	Références
<i>Monts de Lacaune</i>					
Canroute	CAN	43°38'48"	02°34'35"	790	Terral & Muller, 2018 ; ce volume
Lacaune D	LAC	43°41'21"	02°40'25"	990	De Beaulieu & Evin, 1972
Pansières = Montroucouis	PAN	43°40'01"	02°37'48"	1055	De Beaulieu, 1981
Piquetalen	PIQ	43°41'34"	02°40'15"	985	De Beaulieu, 1981
<i>Mont Caroux</i>					
Font-Salesse	FSA	43°36'06"	02°58'44"	1060	De Beaulieu, 1967, 1969
La Lande	LAN	43°36'05"	02°58'59"	1045	Pulido Avila, 2006 ; Lacand et al., 2016
<i>Massif du Somail, Lac de Vézoles</i>					
Baissesecure	BAI	43°33'31"	02°48'08"	1000	De Beaulieu, 1967, 1969, 1974
Gatimort	GAT	43°34'31"	02°47'08"	1000	Pulido Avila, 2006
Somail	SOM	43°34'37"	02°42'03"	980	De Beaulieu, 1967
<i>Massif de l'Espinouse</i>					
La Peyroutarie	PEY	44°27'36"	03°36'16"	1050	Pulido Avila, 2006
La Planésie	PLA	43°38'27"	02°50'51"	960	De Beaulieu, 1967
La Salverguette	SAL	43°38'27"	02°54'22"	1070	De Beaulieu, 1967

2- Travail de terrain

Trois campagnes de terrain ont permis de réaliser des mesures de profondeur et des prélèvements de tourbe (Figure 1) :

Le 13 juillet 2017, un carottage et un inventaire botanique ont été réalisés lors d'une visite préliminaire faite par les

enseignants. Deux carottes ont été prélevées à l'aide d'un carottier russe au centre de la tourbière (à proximité de grands saules, dans une zone à *Molinia caerulea* et *Sphagnum papillosum*) : CAN01-2017A (0-100 cm) et CAN01-2017B (15-115 cm).

Du 5 au 7 septembre 2017 (premier stage), des mesures de profondeur ont été réalisées.

Enfin, du 5 au 7 septembre 2018 (second stage), de nouvelles mesures de profondeur ont été réalisées le long de plusieurs transects et 8 séquences de tourbe ont été prélevées dans 3 secteurs :

- secteur 1, correspondant à la zone carottée en 2017. 4 nouvelles carottes ont été prélevées dans le but d'obtenir la base de la carotte CAN01-2017A : CAN01-A, B, C et D.
- secteur 2. Deux séquences prélevées : CAN02-A et B.
- secteur 3. Deux séquences prélevées : CAN03-A et B.

RESULTATS

1- Datations radiocarbone dans les tourbières du Haut-Languedoc

Sur les 12 tourbières du PNR du Haut-

Languedoc étudiées pour la palynologie (Table 1), 7 ont fait l'objet de datations radiométriques (Table 2). Les âges étalonnés (cal. BP, i.e. années calendaires *before present*) ont été calculés à l'aide de Calib 7.0.4 (Stuiver & Reimer, 1993), en utilisant le référentiel IntCal13 (Reimer et al., 2013). Les âges obtenus permettent d'estimer, soit directement, soit par extrapolation, soit encore par corrélation palynostratigraphique, un âge ou un intervalle d'âge pour l'initiation des différents dépôts tourbeux (Table 3).

2- Modèle âge-profondeur dans la tourbière de Canroute

Le modèle âge-profondeur de la séquence CAN-02 est présenté Figure 1. Le taux d'accumulation moyen est de 0,12 mm/an. Un maximum d'environ 0,27 mm/an est atteint entre 8000 et 6000 cal. BP.

Table 2. Datations radiocarbone des tourbières du Haut-Languedoc

Site	Carotte	Code Labo	Prof. (cm)	Age BP	Age cal.BP	Référence
Baissesecure		Ly-1137	92,5	3700 ± 130	4410-3710	EPD
-		Ly-777	102,5	4720 ± 150	5840-4970	De Beaulieu, 1974
-		Ly-778	122,5	6010 ± 160	7250-6500	De Beaulieu, 1974
-		Gif-1104	140	6000 ± 250	7410-6320	EPD
-		Ly-779	162,5	7250 ± 190	8400-7700	De Beaulieu, 1974
Canroute	CAN01-2017A	Poz-96640	39-40	2620 ± 30	2780-2720	Terral & Muller, 2018
-	CAN01-2017A	Poz-96632	79-80	5360 ± 40	6280-6000	-
-	CAN01-2017B	Poz-94944	115-116	3210 ± 35	3550-3360	-
-	CAN01-D	Poz-109171	110-111	5790 ± 35		Cet article
-	CAN02-A	Poz-109171	39-40	3150 ± 35	3450-3250	-
-	CAN02-A	Poz-109172	79-80	5200 ± 35	6170-5900	-
-	CAN02-A	Poz-109174	119-120	6710 ± 30	7650-7510	-
-	CAN02-A	Poz-109175	158-160	11070 ± 50	13060-12800	-
Font-Salesse		nd	93	1960 ± 50	2040-1740	De Beaulieu, 1969
Gatimort		Poz-6100	35	700 ± 30	690-560	Pulido Avila, 2006
-		Poz-6101	61	1470 ± 30	1400-1300	-
-		Poz-6102	84	5700 ± 40	6630-6400	-
-		Poz-6179	110	6870 ± 40	7790-7620	-
La Lande		Ly-2521	15	340 ± 30	480-310	Pulido Avila, 2006
-		Ly-2478	29	1215 ± 55	1280-990	-
-		Ly-2479	36	2405 ± 45	2700-2340	-
-		Ly-2522	57	4160 ± 40	4830-4570	-
-		Poz-86249	89-90	1945 ± 35	1990-1820	Lacand et al., 2016
La Peyrouarié		Ly-10514	75-80	1560 ± 35	1530-1380	Pulido Avila, 2006
Lacaune D		Ly-543	50	1750 ± 110	1410-1920	De Beaulieu & Evin, 1972
-		Ly-544	70-80	2790 ± 110	2730-3210	-
-		Ly-545	105	5480 ± 140	5930-6550	-

Table 3. Profondeurs maximales et dates basales des tourbières du Haut-Languedoc

Site	Code	Prof. basale (cm)	Age basal (cal. BP)	Référence
<i>Monts de Lacaune</i>				
Canroute	CAN	160	13060-12800	Cet article
Lacaune D	LAC	105	6550-5930	De Beaulieu & Evin, 1972
Pansières = Montroucous	PAN	145	env. 6000	De Beaulieu, 1981
Piquetalen	PIQ	125	env. 6000	De Beaulieu, 1981
<i>Mont Caroux</i>				
Font-Salesse	FSA	93	2040-1740	De Beaulieu, 1969
La Lande	LAN	63	5440-5210	Pulido Avila, 2006
<i>Massif du Somail, Lac de Vézoles</i>				
Baissescure	BAI	163	8400-7700	De Beaulieu, 1974
Gatimort	GAT	114	7980-7810	Pulido Avila, 2006
Somail	SOM			De Beaulieu, 1967
<i>Massif de l'Espinouse</i>				
La Peyroutarié	PEY	94	1870-1680	Pulido Avila, 2006
La Planésie	PLA			De Beaulieu, 1967
La Salverguette	SAL			De Beaulieu, 1967

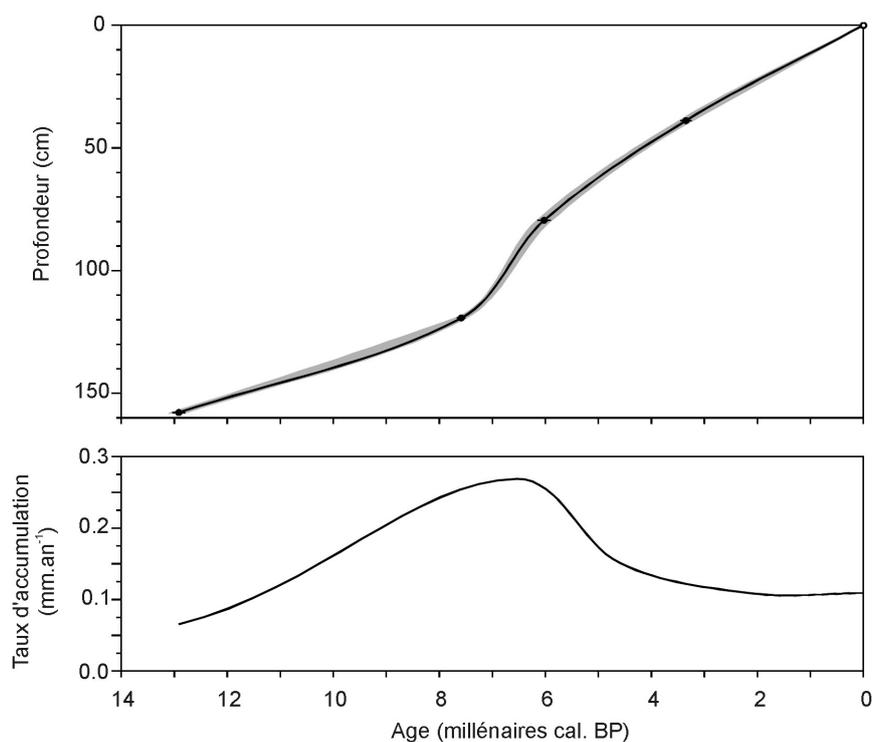


Figure 1. Modèle âge-profondeur et dynamique du taux d'accumulation de la séquence CAN-02

DISCUSSION

1- Origine et développement de la tourbière de Canroute

L'accumulation débute dans la tourbière de Canroute il y a environ 13000 ans. Le modèle

âge-profondeur (Fig. 1) présente un profil atypique par rapport à la dynamique de l'accumulation classique dans les tourbières. La séquence débute généralement avec de forts taux d'accumulation, liés aux sédiments basaux généralement minéraux et donc peu compressibles et réfractaires à la

décomposition. La transition entre sédiments minéraux et dépôt organique s'accompagne d'un ralentissement de l'accumulation, lié à l'ancienneté de la matière organique, décomposée et comprimée par les dépôts sus-jacents. Le taux d'accumulation remonte progressivement jusqu'à la surface, où les dépôts récents sont non décomposés et non comprimés. Ici, le modèle âge-profondeur présente un profil complètement opposé, avec de faibles taux d'accumulation à la base et au sommet de la séquence, et des taux d'accumulation maximaux en milieu de séquence, entre 8000 et 6000 cal. BP. Cette originalité du profil traduit des changements importants de conditions locales (hydrologie, végétation, etc.) susceptibles d'avoir engendré une forte accumulation durant l'Holocène ancien, et un ralentissement important au cours de l'Holocène récent. Ces conditions peuvent être identifiées grâce aux études palynologiques et sédimentologiques. Les résultats préliminaires obtenus par Sirejacob

& Thomas-Clément (2018), qui montrent des pourcentages plus importants de Cyperaceae, de Poaceae et de *Sphagnum* à la base de leur séquence, entre 7600 et 6100 cal. BP, suggèrent que la tourbière était plus développée à cette époque, au moins à l'endroit du prélèvement. Cela pourrait être dû soit à des conditions locales (hydrologie interne de la tourbière, importance des ruissellements, etc.) ou à des conditions climatiques favorables (précipitations plus élevées et/ou évapo-transpiration plus faible).

2- Dynamique de la tourbigenèse en Haut-Languedoc

Les âges basaux estimés pour les différentes tourbières du PNR du Haut-Languedoc (Table 3) permettent d'identifier 4 périodes principales d'initiation des tourbières : 13000, 8000, 6500-5200 et 2000-1700 (Fig. 2).

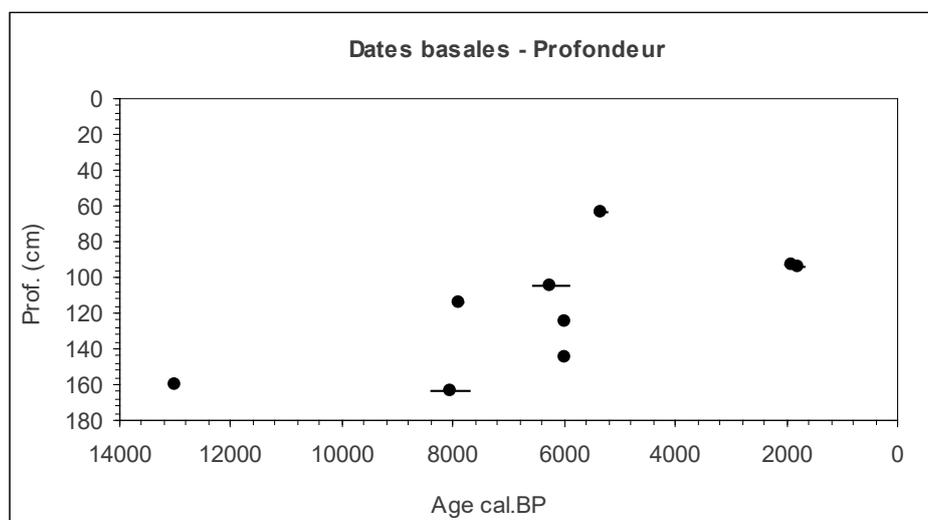


Figure 2. Dates basales en fonction de la profondeur pour les tourbières du PNR du Haut-Languedoc

Ces périodes peuvent correspondre à des phases climatiques favorables ou à des modifications hydrologiques locales engendrées par les activités anthropiques. La Figure 2 révèle en outre que la profondeur de tourbe est globalement en lien avec l'âge du dépôt, bien que les taux d'accumulation varient assez fortement. Curieusement, les valeurs extrêmes sont identifiées sur les deux tourbières du Mont Caroux : 0,12 (tourbière

de la Lande ; Pulido Avila, 2006) et 0,49 mm/an (tourbière de Font-Salesse ; De Beaulieu, 1969). L'altitude presque identique de ces deux sites (1045 et 1060 m ; Table 1) suggère que l'altitude n'influence pas la dynamique d'entourbement. En revanche, la Figure 3 montre clairement qu'elle a joué un rôle prépondérant sur la date d'initiation de la tourbigenèse.

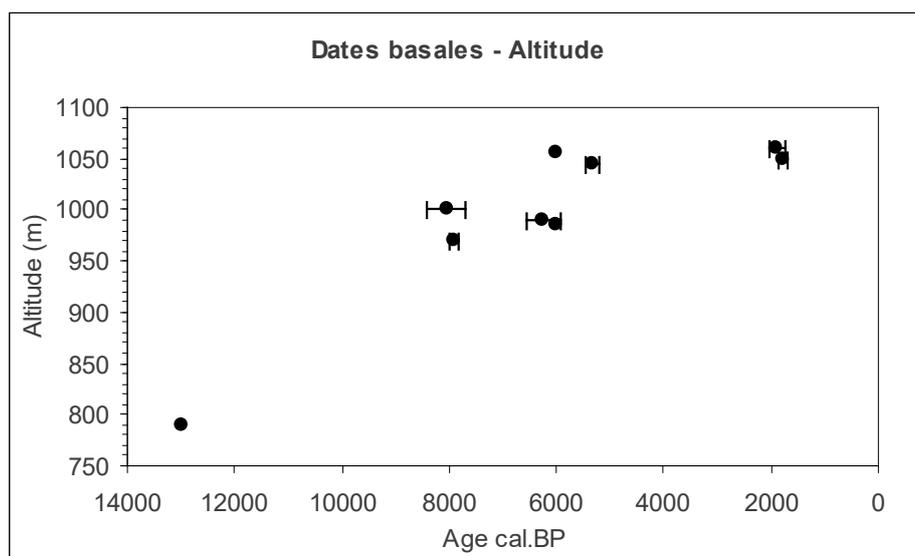


Figure 3. Dates basales en fonction de l'altitude pour les tourbières du PNR du Haut-Languedoc

CONCLUSION

Les travaux réalisés depuis plusieurs années sur la tourbière de Canroute ont levé un voile sur l'histoire de ce milieu, en révélant notamment son âge canonique, qui en fait à ce jour la plus ancienne tourbière du sud du Massif Central. Ils ont toutefois soulevé d'importantes questions concernant la dynamique de ces milieux patrimoniaux, en limite d'aire de répartition. En particulier, l'accroissement du taux d'accumulation durant l'Holocène ancien pourrait révéler des conditions climatiques particulières. Le fait que la tourbière de Canroute se développe à basse altitude en climat méditerranéen la rend peut-être plus sensible aux variations climatiques fines que les tourbières situées à plus haute altitude, dans des conditions climatiques non-limitantes ? Il est clair à ce stade que les réponses ne pourront être apportées que par de nouvelles analyses des sédiments. Nous n'en avons pas encore fini avec la tourbière de Canroute !

REFERENCES

- Bottollier-Curtet M. & Muller S.D. (2009). Dynamique et contexte passés du développement d'une tourbière méditerranéenne (Massif de l'Aigoual, France). *Comptes Rendus Biologies*, 332 : 69-82.
- Braun-Blanquet J. (1933). Analyse pollinique et « période xéothermique » dans les Cévennes méridionales. *Communications de la Station internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine*, 23 : 327-341.
- CEN Midi-Pyrénées (2007). *La tourbière de Canroute*. Fiche descriptive, Conservatoire des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées, 2 p.
- de Beaulieu J.-L. (1967). *Recherches pollenanalytiques sur les tourbières des Monts de l'Espinouse (Hérault)*. Diplôme d'Etudes Supérieures (Sciences Naturelles), Université d'Aix-Marseille, Marseille.
- de Beaulieu, J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et Spores*, 11 (1) : 83-96.
- de Beaulieu J.-L. (1974). Évolution de la végétation sur la bordure montagnaise cévenole au postglaciaire, d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.
- de Beaulieu, J.-L. (1981). Analyse pollinique de tourbières sur la marge occidentale et septentrionale des Causses. *Paléobiologie continentale*, 12 (1) : 117-130.
- de Beaulieu, J.-L. & Evin, J. (1972). Analyses polliniques et datages ¹⁴C dans les Monts de Lacaune (Tarn). *Comptes Rendus de*

- l'Académie des Sciences de Paris*, Série D, 274 : 3531-3534.
- de Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, Série D, 274 : 1641-1644.
- de Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Les peuplements peu productifs du Parc National des Cévennes, Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc National des Cévennes. *Annales du Parc National des Cévennes*, 1 : 101-128.
- Firbas F. (1932). Contribution à l'Histoire postglaciaire des Forêts des Cévennes Méridionales. *Communications de la Station internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine*, 15 : 9-16.
- Lacand M., Sampsy T. & Toumoulin A. (2016). 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.
- Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, Marseille.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la Tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif-Central, France) ; réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Brown D.M., Buck C.E., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M. & Van Der Plicht J. (2013). Selection and treatment of data for radiocarbon calibration: An update to the International Calibration (IntCal) criteria. *Radiocarbon*, 55 : 1923-1945.
- Servera Vives G. (2014). *Dynamique holocène du paysage et mobilités des pratiques territoriales au mont Lozère (Massif central, France) : approche paléoenvironnementale multi-indicateurs à haute résolution spatio-temporelle*. Thèse de doctorat, Université de Limoges et Universitat de Barcelona.
- Sirejacob C. & Thomas-Clément T. (2018). Histoire de la végétation depuis 7000 ans dans les Monts de Lacaune. *Orpalm synthesis*, 11 (1) : 27-37.
- Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- Terral J.-F. & Muller S.D. (éds.) (2018). *Monts de Lacaune*. *Orpalm synthesis*, 11 (1), Université de Montpellier.

AGES ET PALEOENVIRONNEMENTS DE L'INITIATION DE LA TOURBIERE DE CANROUTE (TARN, FRANCE)

Lewis Celanie ¹, Marine Jeanjean ², Pierre Lapellegerie ³

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

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

¹ lewis.celanie@etu.umontpellier.fr, ² jeanjean.marine01@etu.umontpellier.fr,

³ lapellegerie.pierre@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Serge Muller

Citation : Celanie L., Jeanjean M. & Lapellegerie P. (2019). Âges et paléoenvironnements de l'initiation de la tourbière de Canroute (Tarn, France). *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 17-28.

Résumé : Une nouvelle étude pollinique a été réalisée sur la tourbière de Canroute (Tarn) dans le but d'estimer les âges basaux en fonction de la profondeur des carottes et d'étudier la dynamique végétale. Des taux d'accumulation variables sont relevés sur les différentes zones échantillonnées. Une reconstitution de la végétation a été faite sur les derniers 12 000 ans, et plusieurs hypothèses ont été émises concernant les différences d'accumulation sur la tourbière

Mots clés : Palynologie, paléoclimats, accumulation pollinique, Dryas, dynamique végétale

Abstract: *Ages and palaeoenvironments of the initiation of the peatland of Canroute (Tarn, France)*. A new pollen study was carried out on the Canroute peatland (Tarn) in order to estimate the basal ages according to the depth of the cores and to study the vegetal dynamic. Variable accumulation rates are recorded for the different areas of the studied peatland. A vegetation reconstruction was proposed for the last 12,000 years, and several hypotheses have been made about differences in peatland accumulation.

Keywords: Palynology, palaeoclimates, pollen accumulation, Dryas, vegetation dynamics

Les derniers 2,6 millions d'années ont été marqués par des glaciations répétées dans l'hémisphère nord (Svenning et al., 2015). La dernière, appelée glaciation würmienne, a duré environ 100 000 ans et s'est terminé au début de l'Holocène, il y a 11 700 ans (Monjuvent & Nicoud, 1988). Durant cette période, la calotte glaciaire recouvre le nord de l'Europe, tandis que la majeure partie de la végétation européenne forme une toundra. Cette glaciation se termine par une série de fluctuations climatiques constituant le Tardiglaciaire entre -18 000 et -12 000 ans (Muller, 2005). Deux refroidissements

importants, les Dryas ancien et récent, marquent cette période et permettent le retour des paysages steppiques. Suite au retrait de la calotte polaire, les espèces s'étant réfugiées dans le sud de l'Europe ont recolonisé les territoires du nord (Muller, 2005). La toundra a donc progressivement disparu, laissant place aux pinèdes durant le Tardiglaciaire et le début de l'Holocène, puis aux chênaies et aux hêtraies-sapinières au cours des derniers 10 000 ans.

Le réchauffement marquant le début de cette époque a permis l'apparition de tourbières dans des zones présentant des eaux stagnantes

privant d'oxygène les décomposeurs (Manneville, 2001 ; Manneville et al., 2006). L'accumulation de la tourbe est la résultante de deux processus antagonistes : la production de matière organique végétale, et sa décomposition, limitée par l'acidité et l'anoxie du milieu (Muller, 2002). Celle-ci permet d'expliquer la conservation du pollen et des spores utilisées pour la reconstitution des paléoenvironnements (Reille & Lowe, 1993). Les analyses polliniques, combinées à des datations radiocarbone permettent la reconstitution des dynamiques végétales durant le fonctionnement de la tourbière (De Beaulieu et al., 1985).

La mise en place et la dynamique de la végétation depuis le Tardiglaciaire, dans le sud de la France, entre le Massif Central et les Pyrénées, a été bien étudiée. Une steppe aride caractérisée par la présence de d'armoises, d'Amaranthaceae et de Poaceae aurait laissé place à des milieux plus fermés à partir de 15 000 cal. BP (Reille & Lowe, 1993). Les pinèdes tardiglaciaires furent remplacées, il y a 10 000 ans, par des chênaies riches en noisetiers, elles-mêmes supplantées en altitude par des hêtraies-sapinières vers 4 000 cal. BP (Reille, 1988 ; Reille & De Beaulieu, 1988). À partir de cette période, qui correspond à la fin du Néolithique, les actions humaines furent de plus en plus présentes, réduisant la couverture forestière (Reille & Lowe, 1993).

La tourbière de Canroute a fait l'objet d'une étude en 2017. Les carottes prélevées présentaient une stratigraphie perturbée (Sirejacob & Thomas-Clément, 2018). Les auteurs ont émis plusieurs hypothèses pouvant expliquer les différences d'âges, comme la présence d'une rivière ou d'une excavation réalisée par l'Homme. L'étude réalisée ici s'inscrit dans la suite logique de cet article, dans le but d'étudier l'âge basal de la tourbière, grâce à la palynologie, et d'envisager l'origine de la perturbation des dépôts sédimentaires. Cette analyse permet d'étudier les variations spatiales du dépôt de pollen, son accumulation, la mise en place de la tourbière, ainsi que l'analyse de la dynamique végétale. Cette étude permettra de

fournir un cadre temporel à d'autres analyses telles que les assemblages de rhizopodes (Bertin & Durieux, 2019) et la sédimentologie de la tourbière de Canroute (Decorsière et al., 2019).

MATERIELS ET METHODES

1- Site d'étude

L'étude s'est déroulée sur la commune du Margnès, près des Monts de Lacaune, dans le Tarn (Fig. 1a). Le site d'étude est la tourbière de Canroute, qui s'inscrit dans une zone humide bien plus large (Fig. 1b). Cette tourbière est un site protégé, avec les statuts Natura2000 et ZNIEFF (CEN Midi-Pyrénées, 2012) avec la présence de faunes protégées, telles que des chauves souris ou encore des amphibiens. Pour éviter le reboisement, des vaches ont été introduites en 1982 (Muller et al., 2018). La tourbière présente une flore variée, avec notamment 8 espèces de sphaignes (Muller et al., 2018). Cette tourbière est dite soligène (Bernard, 2016), la nappe d'eau affleurante ne stagnant pas, mais ruisselant sur de faibles pentes

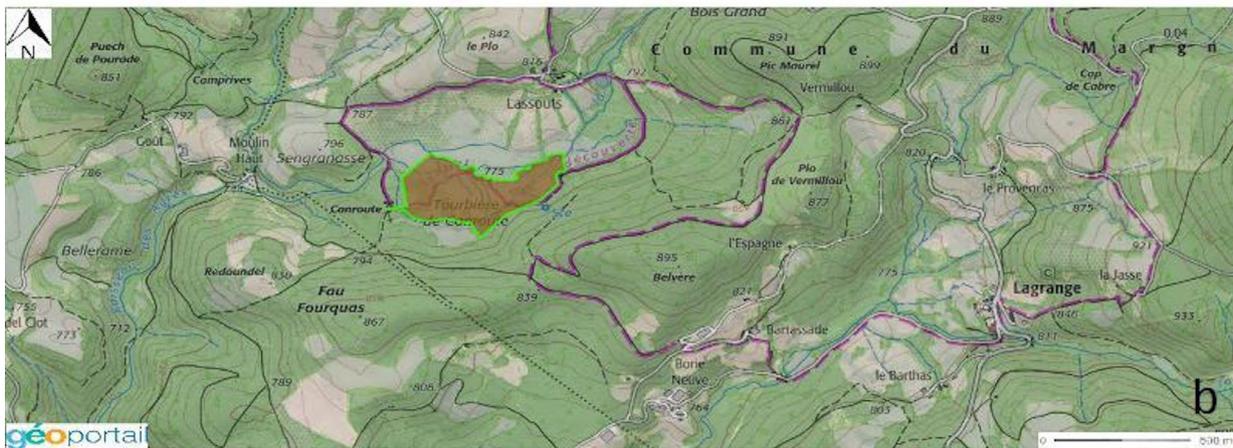
2- Travail de terrain

La présence de sphaignes a servi d'indicateur pour la délimitation de la zone d'étude puisque leur écologie est particulièrement bien adaptée à ce type d'écosystèmes (Rhizobiome, 2007). La parcelle a été quadrillée à l'aide de transects espacés de 20 m (Fig. 1.c). Sur chaque transect la profondeur de tourbe a été mesurée tous les 20 m, chaque mesure étant associée à un point GPS, afin d'établir : la topographie du site, l'épaisseur de tourbe et de repérer les zones les plus profondes. Deux zones présentaient une profondeur supérieure à 180 cm. Un quadrillage plus précis a été réalisé autour de ces deux points afin d'obtenir une meilleure cartographie de l'épaisseur de tourbe. Deux carottes ont été réalisées, aux endroits les plus profonds, dans ces deux zones. Quatre carottes ont également été prélevées dans la zone étudiée l'année dernière (Sirejacob & Thomas-Clément, 2018).

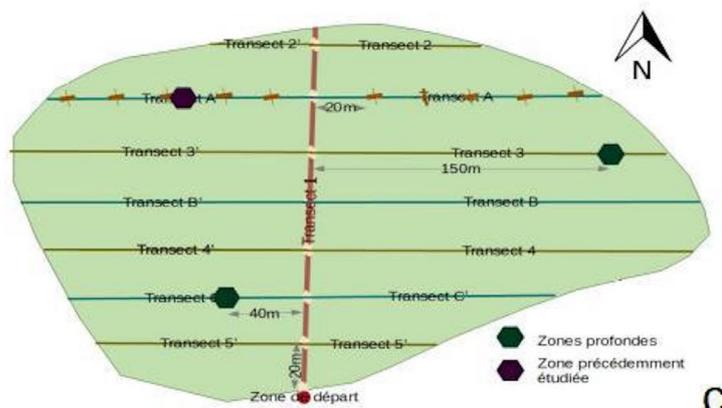


- ◆ Cheylade (Cantal)
- ◆ Bonnacombe (Aubrac)
- ◆ Laubies (Lozère)
- ◆ Nassettes (Lozère)
- ◆ Gatimort (Montagne Noire)
- ◆ Baissescure (Montagne Noire)
- ◆ Lacaune D (Montagne Noire)
- ◆ La Chaumette (Aubrac)
- ◆ Zone étudiée Canroute (Montagne Noire)

a



b



c

Figure 1. Cartographie. Localisation de la tourbière de Canroute et des autres tourbières (a) ; Localisation de la tourbière de Canroute sur la carte IGN (b) ; transects et zones de carottages (c)

3- Travail de laboratoire

Dans un premier temps, une description de la carotte a été effectuée, en tenant compte des types de sédiments et des débris végétaux. Afin d'estimer l'âge de la tourbière, un prélèvement d'environ 1 cm³ a été réalisé à la base de chaque carotte. Le volume exact de ces échantillons a été mesuré par déplacement d'eau, avant qu'ils soient soumis à des traitements chimiques (Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986). Plusieurs attaques chimiques ont permis de nettoyer et de colorer l'exine : l'acide chlorhydrique a été utilisé pour éliminer les carbonates, l'hydroxyde de potassium pour défloculer et détruire la matière organique, l'acide fluorhydrique pour éliminer la silice, et l'anhydride acétique mélangé à l'acide sulfurique pour détruire la cellulose. De la glycérine a enfin été ajoutée aux culots, dont 25 µl ont été prélevés et montés entre lame et lamelle.

4- Analyse pollinique

Comptage et identification

Le comptage et l'identification du pollen ont été réalisés sous microscope optique (x400). Pour chaque lame réalisée, un minimum de 300 grains de pollen a été compté (hors spores), afin d'avoir un échantillon représentatif (Argant, 2016). Afin de réaliser un travail rapide, efficace, et d'homogénéiser les erreurs d'identification, les 300 pollens ont été comptés par 3 analystes, soit au moins 100 grains de pollens pour chacun. L'identification a été réalisée à l'aide de la collection de référence de l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM), et des atlas de Reille (1992, 1998). Les pollens trop dégradés pour être identifiés ont été classés en tant qu'indéterminés. La concentration pollinique (CP, en grains/cm³) a été déterminée par la méthode volumétrique, selon la formule suivante :

$$CP = \frac{\text{Somme pollinique} \times \text{Nbre de lignes totales} \times V_{\text{culot}}}{\text{Nbre lignes comptées} \times V_{\text{goutte}} \times V_{\text{sédiment}}}$$

Estimation des âges

L'âge basal de chaque carotte a été estimé sur la base des palynozones régionales, définies d'après la littérature. La mise en évidence de caractéristiques communes entre les diagrammes polliniques de cette étude et des précédentes, a permis de déduire des intervalles d'âges estimés à l'aide de datations radiocarbone. Les intervalles d'âges ont été basés sur des caractéristiques majeures des dynamiques régionales, comme l'apparition ou l'essor des taxons importants.

À partir de ces intervalles d'âge, un taux d'accumulation sédimentaire (TAS, mm/an) a été calculé pour chaque carotte :

$$TAS = \frac{\text{Profondeur}}{\text{Age}}$$

RESULTATS

1- Concentration pollinique

La **Figure 2** montre les concentrations polliniques (CP) obtenues pour les différentes carottes effectuées sur la tourbière. L'ensemble des carottes présente des CP très variables, comprises entre 60 000 et 540 000 grains/cm³.

Pour le premier groupe de carottes (CAN 01), deux possèdent des CP proches de 500 000 grains/cm³. Les deux autres possèdent des CP environ deux fois plus faibles, autour de 200 000 grains/cm³. Un même résultat est retrouvé pour le groupe de carottes CAN 02, dans lequel la carotte CAN 02 A1 a une CP d'environ 50 000 grains/cm³ alors que la carotte CAN 02 B1 a une CP d'environ 110 000 grains/cm³. En revanche, pour le dernier groupe (CAN 03), un facteur 10 différencie les CP des deux carottes puisque CAN 03 A1 a une CP proche de 50 000 grains/cm³, contre 510 000 grains/cm³ pour CAN 03 B1.

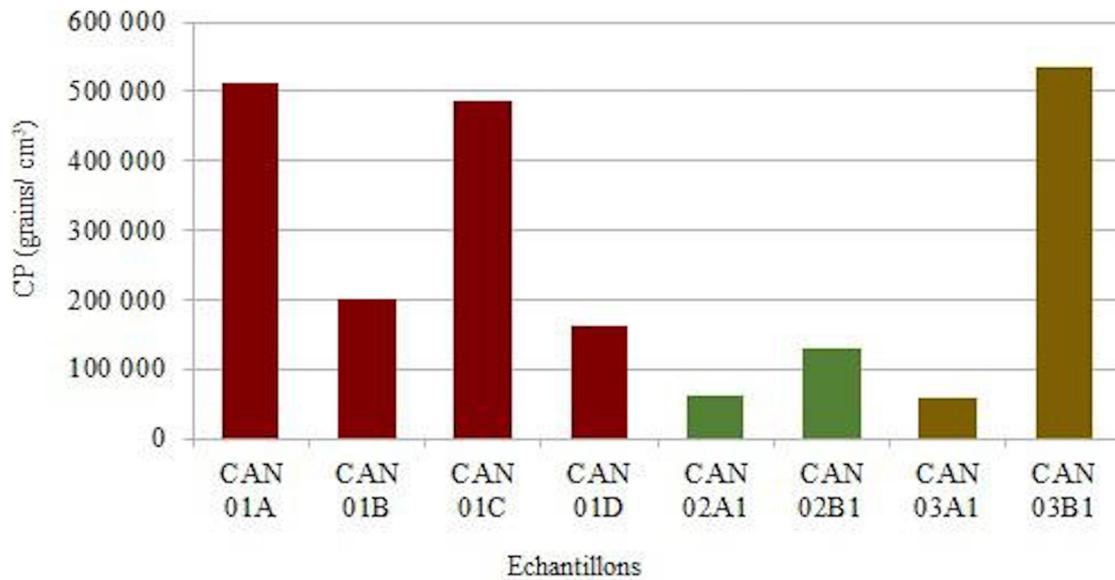


Figure 2. Concentrations polliniques des différentes carottes échantillonnées sur la tourbière de Canroute

2- Diagramme pollinique

Le diagramme pollinique des niveaux basaux des différentes carottes prélevées est présenté Figure 3. Les carottes CAN 01 et CAN 03 montrent une forte similarité, avec une présence importante de *Corylus* et *Quercus*. CAN 01 a un fort taux de *Corylus*, avoisinant les 30%. Les Poaceae sont présentes, mais moins abondantes, autour de 10%.

CAN 03 a des caractéristiques proches de CAN 01. *Corylus* et *Quercus* sont ici aussi dominants. *Corylus* se retrouve dans des proportions autour de 20%, alors que *Quercus* a des proportions variant de 20 à 30% selon les carottes. Les Poaceae sont également dans des proportions autour de 10%. Ces carottes se caractérisent surtout par la présence d'*Abies* et de *Fagus*, qui représentent chacun environ 3% de l'ensemble des grains.

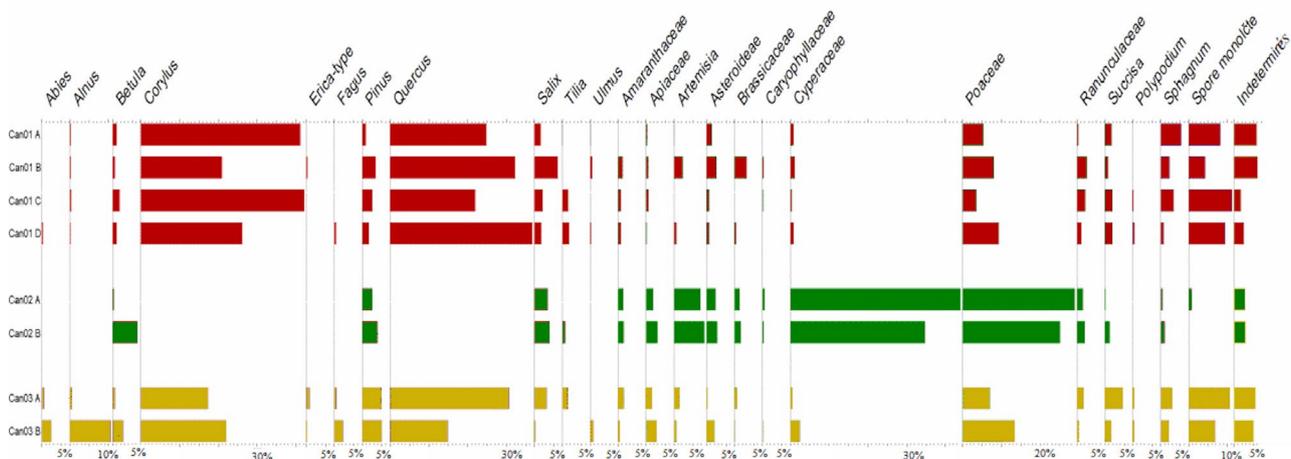


Figure 3. Diagramme pollinique en pourcentage des niveaux basaux des différentes carottes

Les échantillons basaux des carottes CAN 02 sont quant à eux complètement différents. Les pollens de *Corylus* et *Quercus* sont absents, et plus généralement les espèces ligneuses sont en faible proportion. CAN 02 est dominé par les Cyperaceae, qui représentent près de 40% des assemblages polliniques. Les Poaceae représentent également une part importante de la végétation de cette époque, puisqu'ils se retrouvent à 30%. La présence d'*Artemisia* et des Amaranthaceae est également visible : elles atteignent respectivement 5 et 3%.

À partir des âges estimés (Table 1), il est possible de représenter l'âge des carottes en fonction de la profondeur de tourbe (Fig. 4a). En effet, dans un premier temps, 7 carottes semblent suivre une même tendance : 2 carottes de 2017, ainsi que les carottes CAN 01 et CAN 02. En revanche, une carotte de

2017 et les carottes CAN 03 s'écartent des autres points.

Il a été possible de calculer des taux d'accumulation moyens pour chaque carotte. La Figure 4b permet de comparer le taux moyen d'accumulation pour chaque échantillon étudié. Il est possible de voir que des différences apparaissent entre les zones de la tourbière. Les carottes prélevées en 2017 et les CAN 01 ont été extraites d'un même site. Or, la carotte 2 de 2017 semble avoir un taux d'accumulation plus important que les autres : en moyenne 0,34 mm/an, alors que les autres accumulent entre 0,10 et 0,15 mm/an. Ce taux est semblable pour CAN 02, avec environ 0,12 mm/an. Les carottes CAN 03 montrent des taux supérieurs, de 0,60 (A) et 0,50 mm/an (B).

Table 1. Estimation de datations des différentes carottes, d'après De Beaulieu & Evin, 1972 (BE72) ; De Beaulieu & Gilot., 1972 (BG72) ; De Beaulieu, 1974 (DB74) ; Reille & De Beaulieu, 1981 (RB81) ; De Beaulieu et al., 1985 (DB85) ; Reille, 1988 (R88) ; Pulido Avila, 2006 (PA06)

Pollen	Carotte	Age min. (cal. BP)	Age max. (cal. BP)	Référence	Site
<i>Artemisia</i>	CAN 02	15 600	11 500	RB81	Cheylade (Cantal)
Amaranthaceae		-	11 500	DB85	Bonnecombe (Aubrac)
Cyperaceae		17 470	13 100	DB85	La Chaumette (Aubrac)
Poaceae					
	CAN 01	10 000	7 500	RB81	Cheylade (Cantal)
<i>Quercus</i>		9 500	-	BG72	Laubies (Lozère)
<i>Corylus</i>		10 000	8 000	R88	Nassettes (Lozère)
		-	8 000	PA06	Gatimort (Montagne Noire)
		10 300	7 700	DB85	Bonnecombe (Aubrac)
	CAN 03	6 000	1 500	RB81	Cheylade (Cantal)
<i>Fagus</i>		5 800	1 000	DB74	Baissescure (Tarn)
<i>Quercus</i>		5 000	1 000	BE72	Lacaune D (Tarn)
<i>Corylus</i>		4 500	-	BG72	Laubies (Lozère)
		5 600	2 800	R88	Nassettes (Lozère)
	6 000	800	PA06	Gatimort (Montagne Noire)	

DISCUSSION

1- Reconstitution de la végétation et estimation des âges basaux

Des taux de *Quercus* et *Corylus* particulièrement faibles, comme la plupart des ligneux,

ainsi que la présence abondante de Poaceae, Amaranthaceae et d'*Artemisia* sont des indicateurs permettant de dater les carottes CAN 02. Il y a 15 000 cal. BP, les forêts laissent place à des steppes froides et arides (Reille & De Beaulieu, 1981), avec la présence d'*Artemisia* et d'Amaranthaceae. Néanmoins, la dominance de la végétation

steppique peut être masquée par des taxons locaux (De Beaulieu et al., 1985), comme les Cyperaceae, qui sont dominantes dans CAN 02. De tels assemblages polliniques sont enregistrés par De Beaulieu et al. (1985), avec l'apparition d'*Artemisia* notée il y a environ 17 000 cal. BP dans le Massif Central. Une telle flore est caractéristique des steppes, développées durant les périodes froides du Tardiglaciaire (Reille & De Beaulieu, 1981). Le Tardiglaciaire correspond au début d'un réchauffement progressif du climat, marqué

par la succession *Juniperus*, *Betula*, *Pinus* (De Beaulieu et al., 1985). Ce réchauffement est ponctué de refroidissements (Muller, 2005). Ces périodes froides sont appelées Dryas ancien et Dryas récent, la reforestation étant temporairement stoppée lors de ce dernier (Williams et al., 2002). Pendant ces deux périodes, les taxa steppiques s'étendent. Le réchauffement définitif du climat n'intervient qu'au début de l'Holocène, il y a environ 11 500 cal. BP (Reille & De Beaulieu, 1981 ; De Beaulieu et al., 1985).

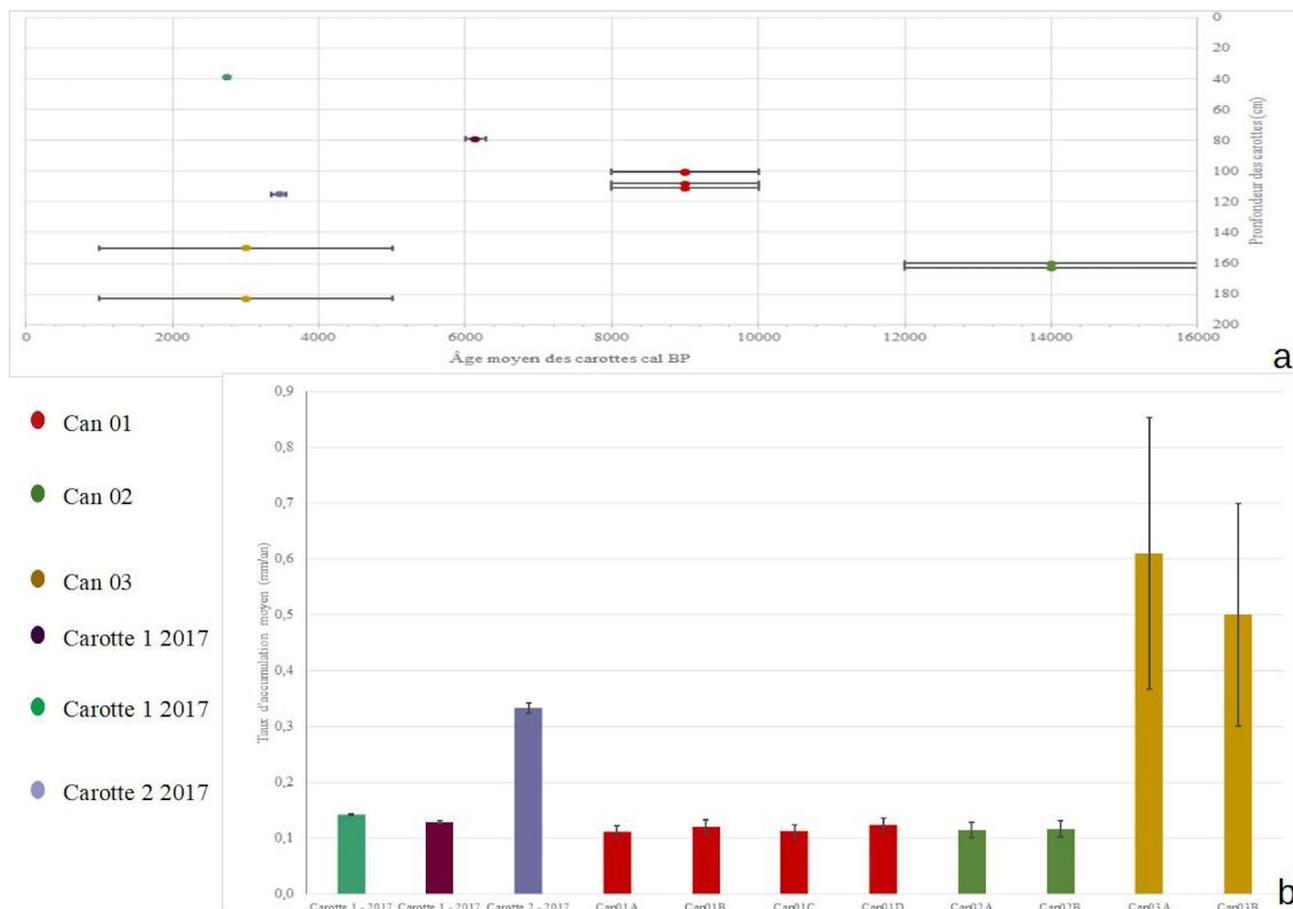


Figure 4. Représentation graphique de l'âge basal des carottes en fonction de leur profondeur (a) et taux d'accumulation (b) à partir des différentes carottes

L'essor de *Quercus* et *Corylus* est daté d'environ 10 000 cal. BP (De Beaulieu & Gilot, 1972 ; Reille & De Beaulieu, 1981 ; Reille, 1988), pendant les palynozones Préboréal/Boréal. Le Préboréal débute par un réchauffement (Pulido Avila, 2006). C'est à cette période qu'une augmentation de la proportion pollinique de taxons ligneux est

enregistrée, remplaçant graduellement le pollen herbacé. Cette dominance est retrouvée dans les carottes CAN 01. Cette période correspond à un climat très favorable, avec l'optimum climatique daté vers 9000 cal. BP, permettant aux espèces ligneuses de s'étendre (Muller, 2005). La fin de l'optimum climatique est caractérisée par le déclin de

Quercus et *Corylus* (Muller, 2005), et une diversification des forêts (Reille & Lowe, 1993). Cette diminution est enregistrée il y a environ 8000 cal. BP (Reille & De Beaulieu 1981 ; De Beaulieu et al., 1985 ; Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006) et est suivie par l'apparition de *Fagus* et *Abies*. Les carottes CAN 01 seraient donc comprises entre 10 000 et 8000 cal. BP.

La présence d'*Abies* et *Fagus* caractérise les carottes CAN 02. Le sapin est présent dans toute la France depuis 7000 ans (Muller, 2005). Ce dernier doit probablement son essor à un léger refroidissement à partir du milieu de l'Atlantique (Bezinge, 1976 ; Muller, 2005), alors que le hêtre apparaît plus tard, entre 6800 cal. BP (De Beaulieu, 1969) et 5000 cal. BP (De Beaulieu & Evin, 1972). De tels enregistrements sont également retrouvés dans la Montagne Noire. Pulido Avila (2006) y date l'apparition de *Fagus* et *Abies* vers 6000 cal. BP, et note la fin de l'essor de *Quercus* et *Corylus* vers 800 cal. BP. Des proportions semblables à celles retrouvées dans cette étude ont été observées dans le Massif Central entre 6000 et 1000 cal. BP (De Beaulieu, 1974 ; Reille & De Beaulieu, 1981). L'âge de la base des carottes CAN 03 correspondrait à l'intervalle entre les palynozones Atlantique et Subatlantique (Pulido Avila, 2006). En effet, au début du Subboréal, les populations humaines de plus en plus nombreuses entraînent la régression des écosystèmes forestiers au profit des milieux ouverts (Muller, 2005). L'accroissement des activités anthropiques bénéficie à *Fagus* au détriment d'*Abies* (Reille & Lowe, 1993).

2- Variation spatiale des taux d'accroissement à l'échelle de la tourbière

Les taux d'accumulation et les carottes, ne suivant pas une même distribution (Fig. 4), semblent confirmer l'hypothèse de dépôts tourbeux perturbés proposée par Sirejacob & Thomas-Clément (2018). Les taux d'accumulation apparaissent en effet variables à l'échelle de la tourbière.

L'accumulation de tourbe relève de deux processus que sont la production de matière organique et sa décomposition (Muller, 2002). Le rapport entre ces deux paramètres est conditionné par des facteurs intrinsèques au site, comme l'hydrologie ou la végétation, et par des paramètres extrinsèques comme le climat. Afin d'expliquer ces différences, plusieurs hypothèses sont envisageables.

Hypothèses locales

Les premières hypothèses à envisager sont propres au site. En effet, l'hydrologie et la végétation influent directement sur l'accumulation de tourbe. Selon la végétation présente, la tourbière va plus ou moins accumuler de matière organique. La présence de bois, et particulièrement de lignine, entraîne une décomposition plus lente. Un boisement serait ainsi plus réfractaire à la dégradation qu'une steppe. Il semble que la tourbière ait été boisée dès l'Atlantique, comme le montre la présence de morceaux de bois trouvés dans plusieurs carottes entre 130 et 60 cm de profondeur (Sirejacob & Thomas-Clément, 2018 ; Decorsière et al., 2019). Or, l'accumulation de bois peut engendrer une forte accumulation de tourbe (Muller, 2002). Cette période de boisement aurait alors pu correspondre à la forte accumulation observable sur les carottes CAN 03, expliquant alors la différence lors de la comparaison des différents sites. Les grains de Cyperaceae retrouvés dans les carottes CAN 02 traduirait une profondeur et une humidité plus importantes par rapport aux CAN 01. Ces taxons caractérisent en effet dans une tourbière canadienne des phases de forte productivité et de faible décomposition, donc de forte accumulation de tourbe (Muller, 2002).

La tourbière est soligène, c'est à dire qu'elle s'est formée grâce à un écoulement lent et continu le long d'une faible pente, ralentissant la minéralisation de la matière végétale (Manneville, 2001). Cet écoulement, bien que lent, rend plus humide les zones basses de la tourbière. Les tourbières ont une grande capacité à absorber de l'eau, mais une faible capacité de transmission de celle-ci

(Wastiaux, 2008). Lors de précipitations, un écoulement plus important vers les zones basses a lieu (Wastiaux, 2008). Les carottes CAN 01 et CAN 03 ont été prélevées dans les zones basses, plus humides, tandis que les carottes CAN 02 ont été prélevées dans la partie haute, plus sèche. L'eau devrait être moins stagnante dans les zones hautes de la tourbière. Or, c'est la présence d'une eau stagnante et donc pauvre en oxygène, qui induit une faible activité des bactéries et de la microflore sur la décomposition de la matière organique (Manneville et al., 2006). La décomposition et le déplacement de matière organique devraient alors être élevée pour les carottes CAN 02, et l'accumulation de tourbe devrait être faible. Néanmoins, les carottes CAN 01 étant encore sur une zone de pente, il est possible que ces dernières n'aient pas bénéficiées de ces conditions d'eau stagnante, mais plutôt d'un léger écoulement.

Facteurs externes

D'autres facteurs ont pu intervenir sur l'accumulation de tourbe, comme la présence d'une rivière ou l'intervention de l'Homme. En effet, la présence d'une rivière ou d'un écoulement d'eau le long de la pente aurait pu empêcher les grains de pollens de se déposer (Richelot & Streel, 1985) à l'endroit où les carottes ont été prélevées. Les pollens auraient alors été transportés depuis le bassin versant vers l'aval où ils se seraient accumulés (Richelot & Streel, 1985). Si cette hypothèse est correcte, les enregistrements polliniques devraient être plus riches à l'aval qu'à l'amont, notamment dans des rivières à faibles débits (Hopping, 1967). Les carottes CAN 03 (amont) présentent à la fois la concentration pollinique la plus élevée et la plus faible. Néanmoins, le transport par ruissellement du pollen peut engendrer en amont une faible diversité taxonomique, une concentration pollinique peu importante ainsi que la présence de fragments de pollen de conifères, comme cela est le cas pour la carotte CAN 03 A, présentant à la fois la plus faible concentration pollinique, ainsi que la présence de pollen d'*Abies*. Cet ensemble de caractéristiques laisse supposer qu'il y aurait eu altération du sédiment, avec un

remaniement des grains de pollen (Clet & Occhietti, 1995).

Une seconde hypothèse d'origine anthropique est à prendre en compte pour la variation spatiale des taux d'accumulation (Marambat, 1997 ; Richard, 2004). De nombreuses traces attestent la présence de l'Homme, notamment dans des grottes, présentant des vestiges d'art rupestres dans l'Albigeois (Tarn), datant d'il y a 12 000 ans (Bétirac, 1954). De nombreux menhirs, datés entre 6500 et 1000 cal. BP, sont recensés dans la région (Lautier, 1981). Ils témoignent de la présence régionale de l'Homme depuis la préhistoire (Giraud, 1994 ; Giraud et al., 2002). La tourbière a pu être utilisée, notamment pour la production agricole. Le drainage a souvent été utilisé pour assécher les tourbières (Muller et al., 2008). Cette méthode permet d'augmenter la productivité du sol et de transformer ces zones humides en zones cultivables (Landry & Rochefort, 2011). Les céréales n'ayant pas été comptées dans notre travail, cette hypothèse ne peut pas être confirmée. Il est également possible que l'Homme ait creusé pour récupérer la tourbe et s'en servir comme combustible (Hoyois, 1949). L'ensemble de ces perturbations a alors pu interférer avec l'accumulation de matière organique effectuée durant des centaines d'années, et fausser l'âge des carottes (Muller, 2008).

Néanmoins, puisqu'aucune hypothèse ne peut être validée ou rejetée, il est nécessaire pour les études suivantes de prendre en compte les hypothèses formulées ici. Il serait par exemple intéressant de cibler la zone se trouvant entre les trois points où les taux d'accumulation ne sont pas constants. Ainsi une étude approfondie de cette zone par la réalisation de transects plus précis, avec des carottes plus nombreuses permettrait d'affirmer ou d'infirmer la présence d'un ruisseau qui aurait empêché la sédimentation, modifiant ainsi les taux d'accumulation. En effet, si la présence d'un ruisseau est la véritable explication, alors des taux d'accumulation similaires à ceux observés pour CAN 03 pourront être trouvés.

CONCLUSION

Nos résultats révèlent que divers paysages se sont succédés depuis plus de 12 000 ans, avec les steppes du Tardiglaciaire, les chênaies caducifoliées du Boréal, et les hêtraies-sapinières de l'Holocène récent. Néanmoins, l'étude pollinique soulève des questions, notamment sur les mécanismes d'accumulation de la tourbière. Ces derniers pourraient être liés à des facteurs locaux, tels que l'hydrologie de la tourbière et la végétation locales, ou à des facteurs externes naturels ou anthropiques.

REFERENCES

- Argant J. (2016). *Atelier paysage de la haute gartempe: première opération palynologique sur les tourbières de Masforeau (Commune de Saint-Christophe, Creuse)*. Rapport de recherche, Conseil départemental de la Creuse - Maison départementale des Patrimoines, 50 p.
- Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, 455 : 484 - 486.
- Bernard G. (2016). Panorama des services écosystémiques des tourbières en France Quels enjeux pour la préservation et la restauration de ces milieux naturels ?. *Pôle-relais Tourbières, Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels*, 45 : 1-47.
- Bertin G. & Durieux T. (2019). Variation des conditions environnementales de la tourbière de Canroute (France) au cours des 7700 dernières années : apport de l'étude des rhizopodes. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 41-52.
- Bétirac B. (1954). Les Vénus de la Magdeleine. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 51 : 125-126.
- Bezinge A. (1976). Troncs fossiles morainiques et climat de la période holocène en Europe. *Bulletin de la Murithienne*, 93 : 93-111.
- Clet M. & Occhietti S. (1995). Palynologie des sédiments de la fin de l'optimum climatique de l'interglaciaire sangamonien, île aux Coudres, estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 49 : 291-304.
- CEN Midi-Pyrénées (2012). *La tourbière de Canroute*. Rapport d'activité, Conservatoire d'espaces naturels Midi-Pyrénées, 24 p.
- De Beaulieu J.L. (1969). Analyses polliniques dans les Monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et Spores*, 11 : 83-96.
- De Beaulieu J.L. & Evin J. (1972). Analyses polliniques et datages 14C dans les Monts de Lacaune (Tarn). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 : 3531-3534.
- De Beaulieu J.L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère: analyses polliniques et datages. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 : 1641-1644.
- De Beaulieu J.L. (1974). Evolution de la végétation sur la bordure montagnaise cévenole au postglaciaire, d'après les pollens. *Bulletin de la société Languedocienne de Géographie*, 8 : 347-358.
- De Beaulieu J.L., Pons A. & Reille M. (1985). Recherches pollen analytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Monts d'Aubrac (Massif Central, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 44 : 37-80.
- Decorsiere J., Delamare-Deboutteville J. & Lecerf C. (2019). Reconstitution de 13 500 ans d'histoire d'une tourbière dans le sud de la France. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 29-39.
- Giraud J.P. (1994). Les nécropoles du Toulousain, de l'Agenais et du Tarn au Bronze final et au premier Age du fer. *Documents d'archéologie méridionale*, 17 : 59-64.
- Giraud J. P., Pons F. & Janin T. (2002). *Nécropoles protohistoriques de la région de Castres (Tarn)*. Le Causse, Gourjade, Le Martinet. Éditions de la Maison des sciences de l'homme, Paris, 775 p.
- Hopping C.A. (1967). Palynology and the oil industry. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2 : 23-48.
- Hoyois G. (1949). *L'Ardenne et l'Ardennais : L'évolution économique et sociale d'une*

- région*. Editions universitaires - J. Duculot, Bruxelles, 948 p.
- Landry J. & Rochefort L. (2011). *Le drainage des tourbières: impacts et techniques de remouillage*. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec, 53 p.
- Lautier J. (1981). *Les mégalithes du département du Tarn in Cartes archéologiques du département du Tarn*. Mémoire, Fédération Tarnaise de Spéléo Archéologie, 97 p.
- Manneville O. (2001). La diversité des tourbières en France et leur prise en compte dans les politiques de conservation. *Outils pour la conservation de la biodiversité dans les domaines néomoraux et boréonémoraux européens*, 1 : 35-41.
- Manneville O., Vergne V. & Villepoux O. (2006). *Le monde des tourbières et des marais, France, Suisse, Belgique*. Editions Delachaux et Niestlé, Luxembourg, 320 p.
- Marambat L. (1997). Environnement du cromlech Méatsé 11. *Quercus*, 4 : 3-74.
- Monjuvent G. & Nicoud G. (1988). Modalités et chronologie de la déglaciation würmienne dans l'arc alpin occidental et les massifs français : synthèse et réflexions. *Bulletin de l'association française pour l'étude du Quaternaire*, 25 : 147-156.
- Muller S.D. (2002). Influence de la végétation sur l'accumulation de la tourbe au Québec méridional. *Comptes rendus biologiques*, 325 : 629-640.
- Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.
- Muller S.D., Richard P.J.H. & Talon B. (2008). Impact of disturbance on the Holocene development of a temperate peatland (Southern Québec). *Vegetation history and archaeobotany*, 17 : 713-721.
- Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2018). Végétation de la tourbière de Canroute, dans les Monts de Lacaune (Le Margnès, Tarn). *Orpalm Synthesis*, 11(1) : 9-13.
- Poirier V. (2004). *La dégradation biochimique de la lignine*. Mémoire de Master, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 27 p.
- Pulido Avila M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse de Doctorat, Université de Aix Marseille 3, 308 p.
- Reille M. & De Beaulieu J.L. (1981). Analyse pollinique de l'étang de Cheylade (Massif Central, France) : histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la plaine de Saint-Flour. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 292 : 243-246.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la Tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif Central, France) ; réponse à quelques réponses biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.
- Reille M. & De Beaulieu J.L. (1988). History of the Würm and Holocene vegetation in western Velay (Massif Central, France): A comparison of pollen analysis from three corings at Lac du Bouchet. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 54 : 233-248.
- Reille M. (1992). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille, 543 p.
- Reille M. & Lowe J.J. (1993). A re-evaluation of the vegetation history of the eastern pyrenees (France) from the end of the last glacial to the present. *Quaternary Science Reviews*, 12 : 47-77.
- Reille M. (1998). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de botanique historique et palynologie, Marseille, 530 p.
- Rhizobiome (2007). Les sphaignes, éponges des tourbières. *Réseau SAGNE*, 8 : 1-2.
- Richard H. (2004). *Néolithisation précoce: premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon, 221 p.
- Richelot C. & Streel M. (1985). Transport et sédimentation du pollen par les courants aériens, fluviaux et marins à Calvi (Corse). *Pollen et spores*, 27 : 349-364.
- Sirejacob C. & Thomas-Clément T. (2018). Histoire de la végétation depuis 7000 ans dans les Monts de Lacaune. *Orpalm*

synthesis, 11 : 27-37.

Svenning J. C., Eiserhardt W. L., Normand S., Ordonez A. & Sandel B. (2015). The influence of paleoclimate on present-day patterns in biodiversity and ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46 : 551-572.

Wastiaux C. (2008). Les tourbières sont elles

des éponges régularisant l'écoulement. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 50 : 57-66.

Williams J.W., Post D.M., Cwynar L.C., Lotter A.F. & Levesque A.J. (2002). Rapid and widespread vegetation responses to past climate change in the North Atlantic region. *Geology*, 30 : 971-974.

RECONSTITUTION DE 13 500 ANS D'HISTOIRE D'UNE TOURBIERE DANS LE SUD DE LA FRANCE

Texte modifié par L. Bremond

Jean Decorsiere ¹, Jeanne Delamare-Deboutteville ², Constantin Lecerf ³

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

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

¹ jean.decorsiere@etu.umontpellier.fr, ² jeanne.delamare-deboutteville@etu.umontpellier.fr,

³ constantin.lecerf@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Laurent Bremond

Citation : Decorsiere J., Delamare-Deboutteville J. & Lecerf C. (2019). Reconstitution de 13 500 ans d'histoire d'une tourbière dans le Sud de la France. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 29-39.

Résumé : L'étude de la topographie de la tourbière de Canroute, ainsi que l'analyse sédimentologique de carottes prélevées à différents sites de cette tourbière permettent une caractérisation de sa formation et de son évolution. A l'aide d'analyses de macrorestes et de perte au feu, nous avons mis en évidence que la tourbière a dû être partiellement immergée à une époque. D'autre part, nous avons pu caractériser et identifier l'importance de la pente dans les modalités de son extension.

Mots clés : Paléoécologie, sédimentologie, carottage, topographie

Abstract: *Reconstruction of 13,500 years of history of a peatland in the South of France.* The study of the topography of Canroute peatland, as well as the core drilling of different places of the peatland allow the characterization of its formation and evolution. With an analysis of macroremains and loss on ignition, it has been shown that this peatland had a lacustrine phase long ago. Furthermore, we have established the importance of the slope in its extension.

Keywords: Paleoecology, sedimentology, coring, topography

Parmi les lieux qui nous en apprennent sur le passé, les tourbières sont particulièrement intéressantes (Turunen & Turunen, 2003). L'acidité de ces milieux humides limite le développement des organismes saprophytes et entraîne donc l'accumulation de matière organique (Küster & Locci, 1963). Ainsi, les éléments peu dégradés comme les graines, les pollens, les débris végétaux, et les amibes sont des exemples de sujets à étudier qui sont susceptibles de nous apporter de nombreuses informations (Sirejacob & Thomas-Clément,

2018). D'autre part, Gorham (1991) a estimé que 20 à 30% du carbone terrestre est stocké dans les sols tourbeux, soit sur 3% de la surface de la Terre. Cela signifie que les tourbières sont des puits de carbone très importants. En raison des changements climatiques futurs (Cox et al., 2000), les tourbières pourraient relâcher du CO₂ dans l'atmosphère, accélérant ainsi le réchauffement global (Gorham, 1991).

La tourbière de Canroute, située dans le Tarn fait partie de l'ensemble tourbeux du

Margnès. Les dépôts de charbons sédimentaires et les grains de pollen de cette tourbière ont été abordés en 2018 dans le cadre de l'unité d'enseignement ORPAM (Muller et al., 2018; Piau & Bensid, 2018; Sirejacob & Thomas-Clément, 2018). L'étude de cette année vise à cartographier précisément cette tourbière et analyser les milieux de dépôt.

L'âge de la tourbière, originellement évalué à 3000-4000 ans dans la fiche technique du conservatoire d'espaces naturels Midi-Pyrénées (CEN Midi-Pyrénées, 2007), a depuis été remis en cause (Sirejacob & Thomas-Clément, 2018) sur la base de la datation des dépôts les plus profonds à près de 13500 cal. BP (*calibrated before present*). De plus, la région présente assez peu d'études de ce type, ce qui apporte un intérêt supplémentaire pour l'étude de cette tourbière.

Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la naissance de ce système, dans le but de préciser quand et selon quelles modalités la tourbière s'est mise en place. Pour tenter d'apporter des éléments de réponses à ces questions d'ordre fonctionnel, nous avons mené une étude sédimentologique de la tourbière de Canroute. Nous avons

étudié les dépôts et leur répartition dans l'espace afin de détailler la mise en place de la tourbière, son fonctionnement et sa paléoécologie. Pour cela, nous avons étudié neuf carottes: huit que nous avons prélevées cette année et une prélevée l'année dernière dans la même zone.

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

La tourbière étudiée, tourbière de Canroute, est située sur la commune de Margnès (Tarn, France; Fig. 1) au sein des Monts de Lacaune. Elle est soumise à un climat aux influences montagnardes (située à une altitude d'environ 790 m) et océaniques (les précipitations moyennes annuelles fluctuent entre 1400 et 1800 mm/an réparties uniformément sur l'année (Source : Météo France). C'est une tourbière de pente située dans une zone d'intérêt écologique de 20 hectares (CEN Midi-Pyrénées, 2007). La tourbière couvre une surface d'environ 4,2 ha selon les relevés effectués lors de la mission de terrain des 5-7 septembre 2019 (la limite de la tourbière a été définie comme étant les endroits où se développent des sphaignes).



Figure 1. Localisation, transects, et profondeurs de la tourbière

2- Étude topographique

Les épaisseurs de tourbe ont été relevées à l'aide d'un fer à béton gradué. Ces mesures ont été réalisées selon un transect nord-sud et 4 transects Est-Ouest comme indiqués sur la figure 1. Les mesures d'épaisseurs ont été relevées tous les 20 m le long de ces transect. Ensuite, pour cartographier le relief de la zone, nous avons pris un point de référence (à savoir le premier point du transect Sud-Nord) qui nous a servi à estimer une altitude relative de la surface de la tourbière. Ce point de référence constitue le niveau zéro d'altitude. Les altitudes (positives ou négatives) de tous les points suivants sont notées en cm par rapport à ce zéro à l'aide d'une mire et un niveau à bulle placés sur des supports afin de mesurer l'altitude visuellement. Les distances entre le point de référence et chaque point de mesure ont été établies à l'aide d'un télémètre. Les informations de profondeur de la tourbière et d'altitude ont permis de produire les profils de la tourbière (Fig. 2).

3- Observation et description des carottes

Pour les carottages, 3 sites (1, 2 et 3) ont été sélectionnés en raison de leur forte accumulation de sédiments (Fig. 1). Sur le site 1 (site du carottage 2017; Sirejacob & Thomas-Clément, 2018) 4 nouvelles carottes (site 1 A, B, C et D) ont été prélevées. Quatre autres carottes ont été prélevées sur le site 2 (site 2 A et B) et 3 (site 3 A et B). Les carottes prélevées pour cette étude ont été nommées selon la nomenclature suivante : CAN-[n° du site]-[lettre de la carotte] ou [année de la carotte].

Chaque carotte prélevée a été décrite en prenant en compte les variations de composition des carottes, les changements de couleur, de type de dépôt et les résidus ligneux assez gros pour être observés sans microscope (Fig. 3).

4- Étude des macrorestes

Quelques grammes de tourbe ont été prélevés tous les 10 cm sur la carotte CAN-02-A et tous les 16 cm sur la carotte CAN-01-2017. Pour la carotte de 2017, la quantité de matière entre 0 et 3,5 cm de profondeur était insuffisante, le premier échantillon a donc été prélevé à 3,5 cm de profondeur. Quelques échantillons ont été ajoutés à 100, 105 et 110 cm de profondeur pour préciser les raccords entre les différents tronçons, qui présentent des fois de fortes différences dans le log stratigraphique.

Les échantillons de macrorestes ont été placés dans des boîtes de pétri remplies d'eau distillée, puis observés à la loupe binoculaire. Nous avons étudié les huit éléments suivants, d'après la méthode de Troels Smith (1955) : l'élasticité (écrasement sous les doigts), la couleur (plus ou moins sombre), le degré de dégradation (humification), la proportion de *turfa* (tous les restes végétaux les plus gros, relativement bien conservés), la proportion de détritits (tous les résidus végétaux de tige ou de racine bien dégradés), la proportion de *substantia humosa* (sh) (tous les résidus végétaux trop dégradés pour être identifiables), la proportion de sable (tout ce qui est minéral, notamment le quartz), la proportion de matière en suspension (MES) (degré d'opacité de l'eau dû à des particules en suspension).

Pour chacun de ces éléments on a utilisé une notation de 0 à 4, comme suit :

- La couleur : 0 étant très clair et 4 très noir.
- L'élasticité : 0 étant très rigide et 4 très élastique.
- L'humification : 0 étant peu dégradé et 4 très dégradé.
- Les proportions de chaque élément : 0 étant une absence totale de l'élément et 4 une présence abondante.

Pour l'identification des macrorestes, seuls des éléments bien conservés ont été prélevés et identifiés à l'espèce, au genre ou à la famille selon les cas. Pour cela, nous avons sollicité l'aide de Serge Muller.

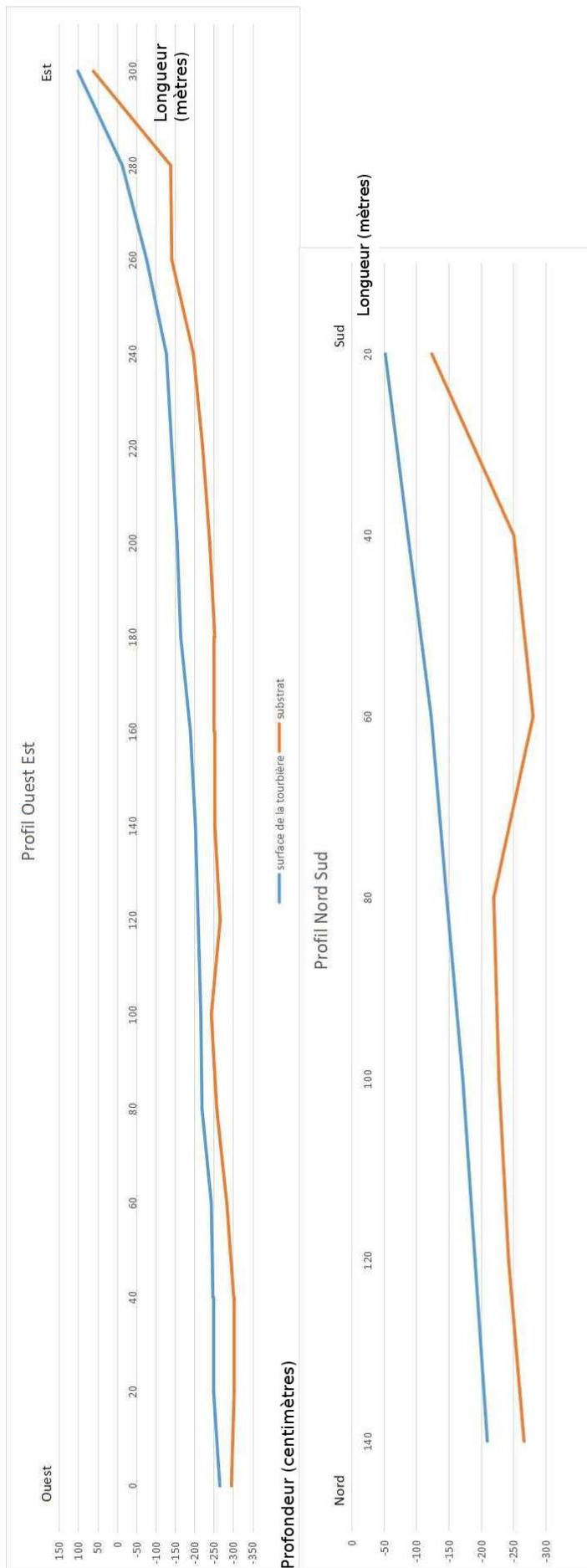


Figure 2 - Profils Topographiques Ouest-Est et Nord-Sud de la tourbière

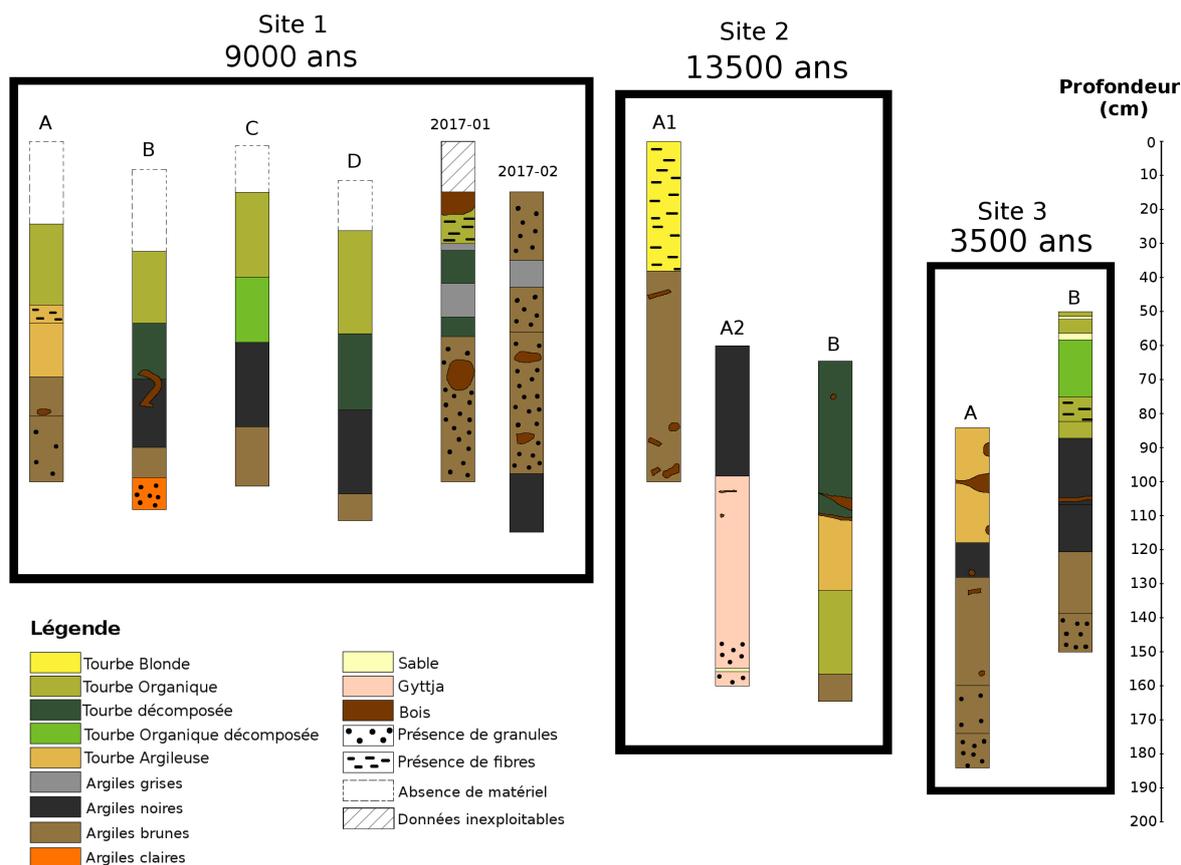


Figure 3. Description des carottes. Les âges proviennent d'estimations faites par [Celanie et al. \(2019\)](#). "Données inexploitables" signifie que cette partie de la carotte n'a pas été décrite.

5- Perte au feu

La méthode de la perte au feu permet d'estimer la fraction de matières carbonatées et de matières organiques dans un échantillon de sédiments par calcination de ce dernier ([Dean, 1974](#) ; [Bengtsson & Enell, 1986](#)). La calcination à 550°C nous permet d'éliminer le carbone organique présent dans l'échantillon, et celle à 950°C enlève le carbone inorganique ([Heiri et al., 2001](#)). Il ne reste alors que les résidus minéraux non carbonatés comme du sable, de l'argile ou encore des limons.

Nous avons prélevé les échantillons sur chaque carotte avec un emporte-pièce de 1 cm³. Sur la carotte de 2018, les prélèvements ont été faits aux mêmes niveaux que pour l'étude des macrorestes, sauf pour le dernier qui a dû être échantillonné à 157,5 cm, faute de matière aux niveaux plus profonds. Nous

avons prélevé tous les 6 cm sur la carotte de 2017 de 15,5 à 93,5 cm et d'eux échantillons à 3,5 et 8,5 cm ont aussi été prélevées (par manque de matériel, seuls ces 2 niveaux ont été pris dans la partie supérieure de la carotte).

Les échantillons ont été placés dans les creusets, préalablement séchés, puis pesés pour avoir le poids humide. Nous les avons ensuite mis au four à mouffles à 105°C pendant 12 heures pour obtenir le poids sec, puis à 550°C pendant 5 heures et finalement à 950°C pendant 2 heures.

Les échantillons ont été à chaque fois déposés au dessiccateur après passage au four à mouffles afin de les préserver de l'humidité, puis pesés.

Toutes ces données nous ont permis de calculer un indice LOI (Loss On Ignition) de perte au feu pour chaque échantillon, à 550°C

et 950°C (Heiri et al., 2001) grâce aux formules suivantes :

- $LOI_{550} = ((DW_{105} - DW_{550}) / DW_{105}) \times 100$
- $LOI_{950} = ((DW_{550} - DW_{950}) / DW_{105}) \times 100$

Où DW (Dry Weight) est le poids sec et LOI est la perte au feu.

Les résultats obtenus sont donc des pourcentages.

RESULTATS

1- Topographie

La tourbière de Canroute de type soligène est située sur une pente irrégulière descendant d'Est en Ouest. La pente est de 3,75% à l'Est de la zone, et de 0,75% dans sa partie Ouest (Fig. 2). La tourbière est aussi en pente selon la direction Sud-Nord avec une valeur uniforme de 1,4% (Fig. 2). Cette configuration place les trois carottages à trois altitudes différentes de la tourbière. Les profils du fond de la tourbière nous ont permis d'identifier une dépression en bas de la pente de la tourbière dans les zones des carottes CAN-02-A et CAN-01-2017 (Figs. 1 et 2). Elle est d'une profondeur de 75 cm à un mètre et constitue le point le plus bas de la tourbière. Une autre dépression, linéaire cette fois, d'une profondeur d'un mètre et large d'une soixantaine de mètres est également visible sur les Figures 1 et 2. Elle traverse la zone étudiée sur son axe Est-Ouest dans le tiers Sud de la tourbière et rejoint la zone du carottage CAN-02-A. D'autres dépressions irrégulières et d'importance moindre sont visibles, notamment sur la Figure 1 au niveau du site 3.

2- Observation macroscopique des carottes

Les successions sédimentologiques sont assez semblables pour les carottes du site 1 d'une part, et les carottes du site 3 d'autre part

(Fig. 4). Pour le site 1 les carottes B, C et D présentent en surface une couche de 20 à 30 cm de tourbe organique, puis une couche de tourbe décomposée d'environ 20 cm. La carotte de 2017 est très différente des autres carottes du site 1, on y observe notamment beaucoup plus d'argile (Fig. 4).

Toutes les carottes présentent une épaisseur d'argile à leur base variant de 10 à 100 cm, sauf la carotte CAN-02-A2 qui est constituée à sa base d'une couche de gyttja (de 100 à 160 cm de profondeur) (Fig. 4). La carotte CAN-02-B, prélevée juste à côté de la carotte CAN-02-A2, ne présente aucune trace de gyttja, mais de l'argile et de la tourbe à la place bien que ces carottes soient éloignées de moins de 10m.

Les restes ligneux semblent être répartis de manière aléatoire le long de toutes les carottes (Fig. 4), même s'ils sont moins nombreux dans les carottes A, B, C et D du site 1.

3- Macrorestes et perte au feu

Analyse des échantillons de macrorestes

La carotte CAN-02-A présente une diminution de la proportion de turfa au profit de la *substantia humosa* depuis la surface vers les niveaux les plus bas (Fig. 4). On observe une élasticité et une humification à peu près constante tout le long de la carotte, ainsi que des macrorestes répartis de manière assez uniforme (Fig. 4). A la base de la carotte, on retrouve du sable et de la matière en suspension en abondance (Fig. 4).

La carotte CAN-2017-01 possède elle aussi du sable à sa base (Fig. 4), mais les macrorestes sont répartis de manière spécifique : la sphaigne n'est présente qu'en surface, tandis que les joncs sont également présents au niveau le plus profond. On notera une absence totale d'aiguilles de sapin et la présence d'ostracodes à 80 et 96 cm de profondeur (Fig. 4).

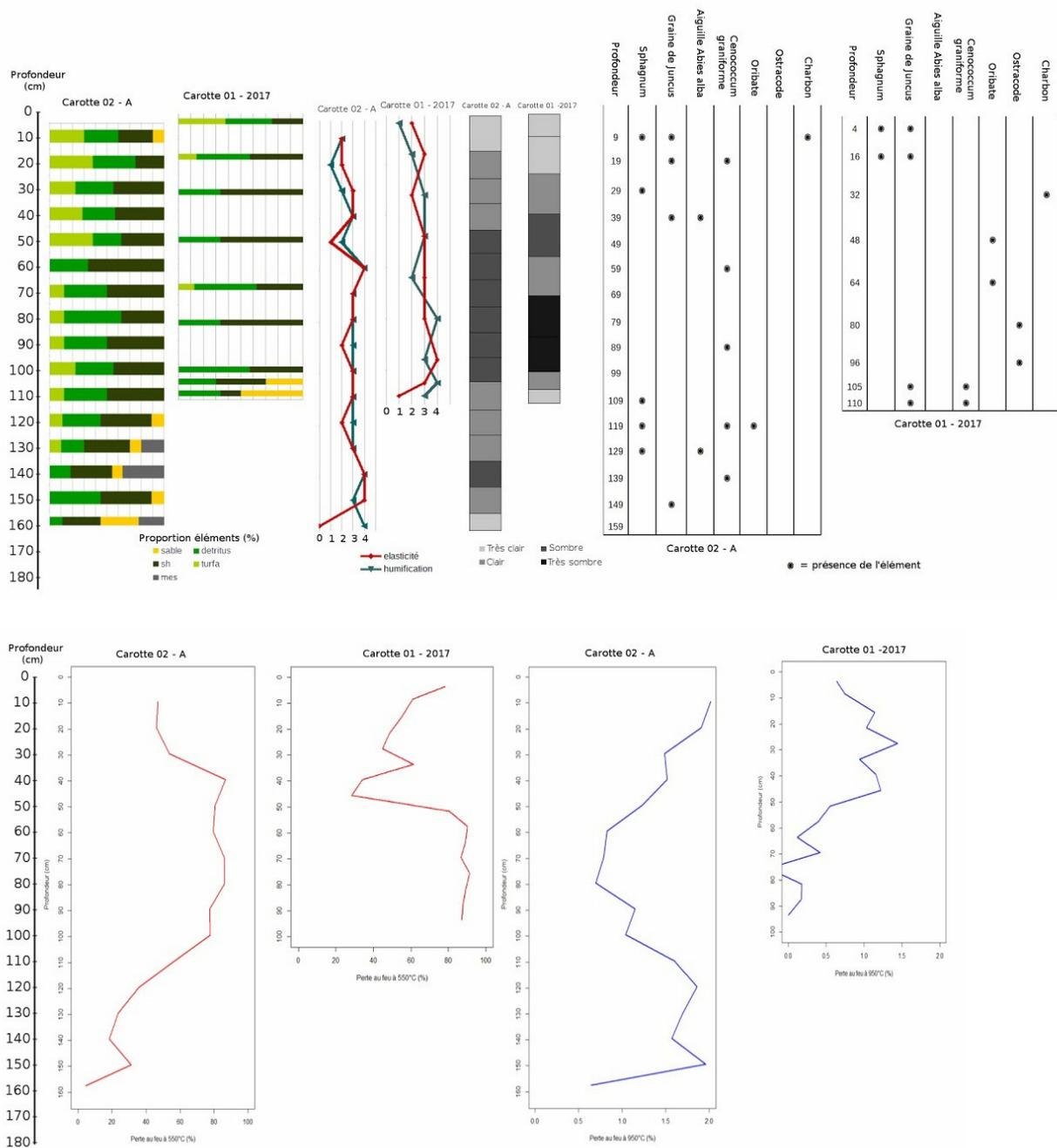


Figure 4. Résultats de perte au feu et de macrorestes pour les carottes CAN-01-2017 et CAN-02-A

Perte au feu

Nous notons que la perte de masse à la première calcination à 550°C est bien plus importante qu'à la seconde à 950°C (Fig. 4). Le sommet de la carotte CAN-02-A (Fig. 4) est composé de 50% de carbone organique en moyenne pour une calcination à 550°C. Néanmoins une forte augmentation de la proportion en matière organique est observée à ~40 cm de profondeur et reste assez élevée

(85% en moyenne) jusqu'à 100 cm. Ensuite, la proportion de matières organique diminue progressivement jusqu'à une valeur très faible (5%) pour la profondeur 160 cm (Fig. 4).

Sur la carotte CAN-01-2017 (Fig. 4), la calcination à 550°C met aussi en évidence une zone plateau située entre 50 cm de profondeur et notre dernier point à 93,5 cm (LOI₅₅₀=90 % en moyenne). La LOI₅₅₀ dans la partie supérieure de la carotte (jusqu'à 45 cm) a une

valeur faible à moyenne puisqu'elle varie entre 30% et 60%, sauf à 3,5 cm où la LOI₅₅₀ est de 80%. Nous observons que les tendances de LOI₅₅₀ sont inversement corrélées à celles de la LOI₅₅₀ (Fig. 4). Les variations de LOI₅₅₀ sont très faibles puisque les valeurs n'excèdent pas 2%. Sur CAN-02-A, nous observons des valeurs légèrement plus fortes de LOI₅₅₀ pour les points les plus proches de la surface (2% à 9,5 cm) puis une diminution avec la profondeur jusqu'à atteindre un plateau de 1% en moyenne entre 50 cm et 100 cm. Ensuite, le LOI₅₅₀ augmente jusqu'à la valeur de 2% à 149,5 cm de profondeur. Le dernier échantillon, à 157,5 cm, marque la valeur la plus faible avec 0,6 % de carbone inorganique.

Le sommet de CAN-02-A (Fig. 4) est aussi la partie qui contient le plus de matières carbonatées (~1,1% en moyenne sur les 50 premiers cm). Sous cette limite, la fraction de carbone inorganique dans les sédiments est en moyenne de 0,3%.

DISCUSSION

1- Hypothèse sur la mise en place de la tourbière

La gyttja présente dans la carotte A2 du site 2 est un sédiment aquatique constitué de boues organiques et minérales issues du dépôt et de la décomposition partielles des matières en suspension. Ces sédiments sont présents sur les rives ou au fond des lacs ou des mares d'eau calmes et eutrophes (Łachacz et al., 2009). Ils s'accumulent également dans les cuvettes sans flot entrant ou sortant (Łachacz et al., 2009). Dans le cas de la tourbière de Canroute, il s'agit de gyttja argileux ou sablo-argileux comme le montre la mise en relation du gyttja et les résultats de perte au feu qui nous permettent d'en déterminer le type, selon la méthode de Łachacz et al. (2009).

Sa présence dans la dépression en cuvette suggère une période de pleine eau ouverte dans cette dépression à la fin du Tardiglaciaire, estimée à 13 500 cal. BP par analyse pollinique (Celanie et al., 2019). La période estimée de dépôt de ce sédiment

coïncide avec le même type de dépôts dans de nombreuses tourbières européennes (Vasari, 1977 ; Łachacz et al., 2009).

La dépression identifiée en bas de la pente de ruissellement est connectée dans sa partie Sud-Est à la dépression linéaire profonde qui parcourt la tourbière dans son axe Est-Ouest, ce qui en fait un lieu idéal pour une étendue d'eau. Le contexte climatique du Tardiglaciaire favorise d'importantes précipitations dues à la fonte des glaces (Renssen, 2002). C'est un contexte climatique et topographique idéal pour la création d'écosystèmes humide. De plus, le réchauffement qui débute au Tardiglaciaire est un facteur décisif dans la formation des systèmes de tourbières (Morris et al., 2018).

La présence d'argile à la base de la plupart des carottes étudiées (Fig. 1) pourrait être une conséquence d'une érosion plus importante au début de la formation de la tourbière (Guiguet-Covex et al., 2011). Deux conditions environnementales peuvent permettre un fort taux d'érosion : faible couvert végétal à cette époque (Guiguet-Covex et al., 2011), ou bien de forte précipitations (Guiguet-Covex et al., 2011). Dans ce dernier cas, cela pourrait être lié à la période : au début de l'Holocène, à cause du réchauffement, le climat était particulièrement humide (Renssen, 2002).

Ces dépôts d'argile ont dû favoriser la mise en place de zones d'eau libre depuis le site 2 jusqu'au site 1 (Anderson et al., 2003). D'autre part, la présence d'ostracodes et l'absence de bois résiduels dans le site 1 (Figs. 3 et 4) indiquent que ce site a probablement été totalement immergé pendant un temps plus ou moins long (Carbonel et al., 1988).

Les deux milieux aquatiques ont ensuite été lentement refermés par de la tourbe, laissant ainsi place à une tourbière de la même façon que l'ont montré Anderson et al. (2003) dans leur étude sur le développement latéral de tourbières en milieu tempéré.

2- Hypothèse sur l'expansion de la tourbière

La topographie du site 3 nous laisse penser

que ce site était en périphérie de la tourbière dans ses premières phases de formation. Cette hypothèse est appuyée par la présence de morceaux de bois dans les carottes du site 3 (Fig. 3) qui attestent de la présence d'arbres à proximité (Robichaud & Bégin, 2009).

Les sédiments se sont accumulés progressivement dans la tourbière de pente, augmentant ainsi sa surface (Anderson et al., 2003 ; Robichaud & Bégin, 2009). Lorsque la pente était plus importante, comme au niveau du site 3, la tourbière a mis plus de temps à progresser, puisque il y avait plus d'espace à remplir. Ceci explique que la base de la carotte du site 3 soit bien plus récente que dans les autres sites, à savoir 3500 ans seulement (Celanie et al., 2019).

3- Limites de l'étude

Notre étude comporte plusieurs biais, dont les principaux sont les différences d'analyses effectuées entre les deux carottes. La carotte de 2017 (CAN-2017-01) ayant été prélevée une année avant la CAN-02-A (2018), elle avait été décrite par différents auteurs et il est possible que certains termes descriptifs soient différents.

Les résultats de topographie sont assez peu précis d'une part à cause des outils utilisés qui restent rudimentaires, et d'autre part les transects établis ont subi des déviations, de par les obstacles rencontrés ou l'éloignement avec le point de départ du transect (Fig. 1).

Sans que ce soit réellement un limite à l'étude, l'interprétation de la brusque variation de la quantité de carbone organique à respectivement ~50 cm et ~40 cm pour CAN-2017-01 et CAN-02-A (Fig. 4) pourrait marquer la limite entre l'acrotelme et la catotelme (Clymo, 1984; Delarue, 2010) et non pas un changement de dépôt. En effet, la décomposition dans les tourbières se fait principalement dans l'acrotelme, partie supérieure de la tourbe, aérée et peu compacte, et qui s'étend sur 10 à 50 cm de profondeur (Clymo, 1984; Delarue, 2010), tandis que la catotelme forme une couche plus compacte et dense formant un milieu anaérobie et où il y a très peu de

décomposition, si bien qu'elle peut être considérée comme négligeable (Clymo, 1984).

CONCLUSION

Nous pouvons émettre l'hypothèse que ce milieu de dépôt, au début de type palustre puis tourbeux ait débuté au début de l'Holocène, grâce à la réunion de trois facteurs environnementaux, à savoir des conditions climatiques plus favorables qu'à la période glaciaire (Morris et al., 2018), la présence d'une étendue d'eau et une topographie adaptée. Le développement de la tourbière se serait effectué en différentes phases. Tout d'abord la présence d'un milieu aquatique et le climat du début de l'Holocène ont produit les conditions favorables à sa mise en place. Ensuite, l'apport d'argile lui a permis de s'étendre sur toute la surface de la dépression du bas de pente. Enfin, la tourbe s'est accumulée, permettant l'expansion de la tourbière sur le relief environnant. C'est donc dans cette dernière phase que la tourbière prend ses caractéristiques de tourbière soligène.

On peut dater la naissance de la tourbière à sphaignes aux environs de 9000 cal. BP, comme la base des carottes du site 1 (Celanie et al., 2019). En effet la carotte CAN-02-A présente à sa base un fonctionnement plus proche du milieu aquatique que de la tourbière. La tourbière atteindra un état proche de l'actuel dès 3500 cal. BP comme en atteste la présence de tourbe à cette date sur le site 3, à l'est de notre zone d'étude.

En revanche, il serait pertinent d'étudier en détail la carotte CAN-02-B, qui malgré sa proximité avec la carotte CAN-02-A a une succession sédimentaire très différente. Elle ne possède notamment pas de gyttja, mais de la tourbe au même niveau.

Grâce à nos résultats de perte au feu nous avons pu calculer le volume de carbone organique contenu dans la zone de notre étude. Nous avons calculé la profondeur moyenne de tourbe (0,91 m) que nous avons multipliée par la surface couverte par l'étude (42 000 m²) pour obtenir le volume de tourbe

étudié (38 000 m³). Puis nous avons multiplié par le pourcentage moyen de carbone organique le long des carottes (62,67 %). Nous avons trouvé que la masse de tourbe étudiée comprend actuellement 23 952 m³ de carbone organique. Ces calculs, bien qu'approximatifs, nous montrent l'importance du stock de carbone de la tourbière de Canroute, et pourraient donner lieu, dans les années à venir, à des études plus approfondies sur le sujet, afin de rendre une idée de l'ampleur potentielle de l'impact des changements climatiques futurs sur cette tourbière.

REFERENCES

- Anderson R., Foster D.R. & Motzkin G. (2003). Integrating lateral expansion into models of peatland development in temperate New England. *Journal of Ecology*, 91 : 68-76.
- Bengtsson L. & Enell M. (1986). Chemical analysis. In : Berglund, B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Paleoecology and Paleohydrology*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp. 423-451.
- Carbonel P., Colin J.P., Danielopol D.L., Löffler H. & Neustrueva I. (1988). Paleocology of limnic ostracodes: A review of some major topics. In : Gray, J. (ed.), *Paleolimnology: aspects of freshwater Paleocology and Biogeography*. Elsevier, Amsterdam, pp. 413-461.
- Celanie L., Jeanjean M. & Lapellegerie P. (2019). Âges et paléoenvironnements de l'initiation de la tourbière de Canroute (Tarn, France). *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 17-28.
- CEN Midi-Pyrénées (2007). *La tourbière de Canroute*. Fiche descriptive, Conservatoire des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées, 2 p.
- Clymo, R.S. (1984). The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 303 : 605-654.
- Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A. & Totterdell I.J. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Macmillan Magazines Ltd*, 408(9) : 184-187.
- Delarue F. (2010). *Dynamique des matières organiques labiles et récalcitrantes dans la tourbière de Frasnè (Jura) : impact des conditions hydriques et d'un réchauffement simulé in situ*. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 212 p.
- Dean W.E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44(1) : 242-248.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climate warming. *Ecological Applications*, 1(2) : 182-195.
- Guiguet-Covex C., Poulenard J., Arnaud F., Delhon C. (2011). Changes in erosion patterns during the Holocene in a currently treeless subalpine catchment inferred from lake sediment geochemistry (Lake Anterne, 2063 m a. s. l., NW French Alps): The role of climate and human activities. *The Holocene*, 21 : 651-665.
- Heiri O., Lotter A.F., & Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25 : 101-110.
- Küster E. & Locci R. (1963). Studies on peat and peat microorganisms. *Archiv für Mikrobiologie*, 45 : 188-197.
- Łachacz A., Nitkiewicz M., Pisarek W. (2009). Soil conditions and vegetation on gyttia lands in the Masurian Lakeland. *Contemporary problems of management and environmental protection*, 2 : 61-94.
- Morris P., Swindles G., Valdes P., Ivanovic R., Gregoire L., Smith M., Tarasov L., Haywood A., Bacon K. (2018). Global peatland initiation driven by regionally asynchronous warming. *PNAS*, 115(19) : 4851-4856.
- Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2018). Végétation de la tourbière de Canroute, dans les Monts de Lacaune (Le Margnès, Tarn). *Orpalm Synthesis*, 11(1) : 9-13.

- Piau G. & Bensid N. (2018). Etude comparée de l'accroissement radial de trois espèces de Pinaceae en contexte sylvicole dans le Parc Naturel du Haut-Languedoc. *Orpalm synthesis*, 11(1) : 15-26.
- Renssen H., Goosse H., Fichet T. (2002). Modeling the effect of freshwater pulses on the early Holocene climate: the influence of high-frequency climate variability. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 17 : 10-16.
- Robichaud A. & Bégin Y. (2009). Development of a raised bog over 9000 years in Atlantic Canada. *Mires and Peat*, 5 : 1-19.
- Sirejacob C. & Thomas-Clément T. (2018). Histoire de la végétation depuis 7000 ans dans les Monts de Lacaune. *Orpalm synthesis*, 11(1) : 27-37.
- Troels-Smith J. (1955) *Characterization of unconsolidated sediments*. Geological Survey of Denmark, 3(10), Kobenhavn, 73 p.
- Turunen C. & Turunen J. (2003). Development history and carbon accumulation of a slope bog in oceanic British Columbia, Canada. *The Holocene*, 13(2) : 225-238.
- Vasari Y. (1977). Radiocarbon dating of the Lateglacial and early Flandrian vegetational succession in the Scottish Highlands and the Isle of Skye. In: J.M. Gray & J.J. Lowe (éds), *Studies in the Scottish Lateglacial environment*, pp. 143-163. Pergamon Press, Exeter.

VARIATION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DE LA TOURBIERE DE CANROUTE (FRANCE) AU COURS DES 7700 DERNIERES ANNEES : APPORT DE L'ETUDE DES RHIZOPODES

Texte relu et corrigé par V. Girard

Guillaume Bertin ¹, Thibault Durieux ²

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

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

¹ guillaume.bertin@etu.umontpellier.fr, ² thibault.durieux@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Vincent Girard

Citation : Bertin G & Durieux T. (2018). Variation des conditions environnementales de la tourbière de Canroute (France) au cours des 7700 dernières années : apport de l'étude des rhizopodes. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 41-52.

Résumé : L'étude d'une carotte sédimentaire prélevée dans la tourbière de Canroute a permis de réaliser un inventaire des assemblages de rhizopodes et d'évaluer leur abondance par rapport à la profondeur. Une méthode de coexistence a été menée afin d'évaluer les variations de pH et de profondeur de nappe d'eau sur les 7700 dernières années. La carotte étudiée est caractérisée par une diminution marquée de la répartition des rhizopodes en fonction de la profondeur. Ces variations ne semblent pas seulement être expliquées par la profondeur, mais d'autres facteurs doivent intervenir, comme le changement des caractéristiques physico-chimiques du milieu sédimentaire ou la composition des thèques engendrant des problèmes de conservation.

Mots clés : Massif Central, thécamoebiens, pH, nappe d'eau

Abstract: *Variations in environmental conditions of the Canroute peatland (France) over the last 7,700 years: contribution of the study of rhizopods.* The study of Canroute peatland allows to achieve an inventory of the rhizopod assemblages and to assess their abundances in relation to depth. A coexistence approach was carried out to assess changes in pH and water-table depth over the last 7,700 years. The studied core shows a decrease in rhizopod distribution according to depth, but other factors may be involved such as changes of physicochemical characteristics of the sedimentary environment or the composition of tests leading to conservation problems.

Keywords: Massif Central, testate amoebae, pH, water table

Les tourbières sont de véritables réservoirs de données fossiles sur les environnements passés grâce auxquels des études paléoécologiques peuvent être menées. La présente étude porte sur les Rhizopodes (ou

thécamoebiens) représentant un groupe polyphylétique d'Eucaryotes unicellulaires amoeboides phagotrophes et principalement hétérotrophes. Les Rhizopodes appartiennent à la microfaune, comme les Nématodes et d'autres groupes méconnus, tels que les

Rotifères, les Tardigrades et les Gastrotriches. Les études morphologiques et moléculaires récentes ont montré qu'ils sont constitués de trois groupes distincts : les *Arcellinida*, les *Euglyphida* et les *Amphitremidae* (Edward et al., 2013). Ces micro-organismes sont caractérisés par une coquille résistante appelée thèque ou test, de taille, de forme et de composition variable (substances organiques, silice, calcaire, élément exogènes...). Cette thèque qui abrite la cellule est percée d'un ou de deux orifices par lesquels l'organisme peut émettre des pseudopodes (Gilbert et al., 2000). A leur mort, la partie cellulaire se dégrade tandis que leur thèque peut être préservée et s'accumuler dans le milieu de dépôt, expliquant pourquoi elles peuvent être retrouvées dans les sédiments. Ainsi, les rhizopodes peuvent servir d'indicateur sédimentaire et environnemental (Delaine, 2016), et ainsi être utilisé comme proxy paléocéologique complémentaire à d'autres, tels que les pollen, les spores et les macrofossiles (Mitchell et al., 2008). Ils sont présents dans le monde entier dans divers habitats terrestres, marécageux et dulcicoles. Leurs milieux de prédilection sont des contextes sédimentaires humides et acides, à forte teneur en matière organique et à faible renouvellement des éléments nutritifs comme certains sols et les tourbières (Smith et al., 2008).

L'analyse des rhizopodes a été utilisée dans diverses études paléocéologiques menées à partir de sondages de tourbières, en particulier ombrotrophes dans le but de reconstruire leur paléohydrologie (Payne & Mitchell, 2009). L'abondance et la composition de chaque taxon de rhizopodes dans les tourbières seraient contrôlées par un ensemble de facteurs environnementaux qui sont principalement la profondeur de nappe d'eau et le pH du sol (Lamentowicz & Mitchell, 2005). En analysant les changements de communautés de rhizopodes, il est possible de reconstituer les conditions environnementales récentes et anciennes (au cours du Quaternaire) dans les tourbières et notamment les variations passées du niveau de la nappe phréatique. Leur étude peut ainsi fournir des données paléohydrologiques et paléoclimati-

ques pertinentes (Wall et al., 2010).

Cette étude a pour objectif de reconstituer la dynamique locale de la communauté de rhizopodes au cours du temps au sein de la tourbière de Canroute, afin d'appréhender et de reconstituer les variations de pH ainsi que la profondeur de nappe d'eau au cours des 7700 dernières années. Pour ce faire, la répartition et la concentration en rhizopodes en fonction de la profondeur de la tourbe ont été analysées puis une méthode de coexistence a été mise en œuvre. Cette étude a permis de réaliser un premier inventaire de rhizopodes dans cette région, d'apporter une référence nouvelle en terme de distribution géographique des rhizopodes et de point de comparaison par rapport aux enregistrements des tourbières du Mont Caroux (Hérault) et de Lapsou (Cantal) ou de mares temporaires de la Vallée du Galeizon (cf. *Orpalm Synthesis* n°5, 9 et 10).

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

Située au sud du Massif Central (France, 43°38'48"N - 02°34'35"E ; Muller et al., 2018), en plein cœur des Monts de Lacaune, à environ 800 m d'altitude (Fig. 1), la tourbière de Canroute (Lassouts, Le Margnès) constitue la plus vaste formation de tourbières actives à sphaignes du département du Tarn. L'origine de sa formation remonterait entre 9000 et 14 000 ans d'après une étude palynologique réalisée en 2018 par Celanie et al. (2019). Cette tourbière est considérée par le *Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées* comme bien conservée, en raison de son histoire et des mesures de protection et de gestion menées depuis 1998. Dès le début du 19^e siècle, la tourbière a été utilisée dans le cadre de l'agriculture pastorale puis progressivement abandonnée au début de la seconde guerre mondiale. En 1980, la tourbière fut de nouveau entretenue par un riverain qui a creusé des drains et installé un troupeau de vaches Aubrac. La gestion est aujourd'hui réalisée par le *Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées* qui a acquis les terres en 1998. Cet

organisme a mis en place un plan de gestion qui, en résumé, comprend une cartographie de la zone, des aménagements pour les touristes ainsi que des mesures de protection comme

l'installation d'un troupeau de vaches Highland Cattle qui empêche la fermeture du milieu (Dejean, 2011).



Figure 1. Localisation géographique de la tourbière de Canroute (France)

2- Méthode de terrain

Dans le cadre d'une mission de terrain (5 au 7 septembre 2018), plusieurs transects ont été réalisés et différents carottages ont été effectués dans la tourbe à l'aide d'un carottier Russe. La Figure 2 présente les différents transects matérialisés par les sondages (points rouges) ainsi que le carottage utilisé pour cette étude (point vert).

Un des sondages réalisé a permis d'atteindre une profondeur de 1,80 m. Toutefois, l'étude présentée dans cet article ne se base que sur une carotte de 1 m extraite en juillet 2017 par l'équipe pédagogique (voir n° 11 de la revue *Orpalm Synthesis*) car cette carotte a fait l'objet de datations et d'une étude palynologique (Sirejacob & Thomas-Clément, 2018).

3- Méthodes de laboratoire

Une extraction des rhizopodes du sédiment a été effectuée à partir d'un protocole adapté de celui de Hendon et Charman (1997). Un tamisage à 315 μ m permis d'éliminer les gros débris présents dans les sédiments pour faciliter les observations. Contrairement au protocole de Hendon et Charman (1997), le second passage dans le tamis de maille 15 μ m n'a pas été effectué.

L'extraction des rhizopodes a commencé par le prélèvement de 7 échantillons de 1cm³ de tourbe. Le premier a été effectué à une profondeur de 4 cm puis les suivants ont été espacés tous les 16 cm. Tous les échantillons ont été placés dans des béciers de 250 ml, dans lesquels 100 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Les solutions ont été portées à ébullition pendant environ 10 minutes et remuées périodiquement afin de désagréger la tourbe.

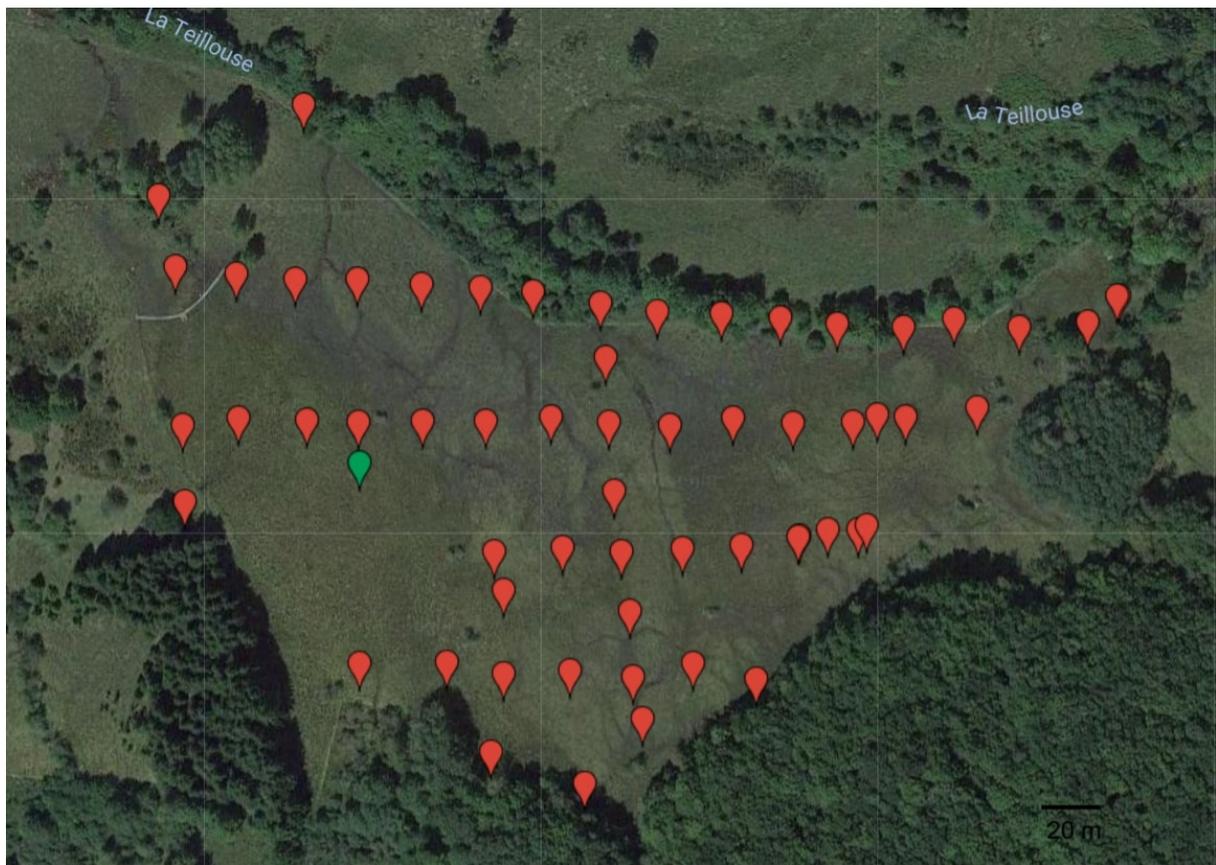


Figure 2. Localisation des sondages réalisés sur des transects et de la zone de carottage de sédiments utilisés pour l'étude des rhizopodes

Les solutions ont été tamisées à 315 μm puis centrifugées à 3000 tours par minute pendant 2 min. Le surnageant a été retiré et le culot a été marqué à l'aide de 2 gouttes de safranine (colorant marquant le test des rhizopodes) et puis lavé 2 fois à l'eau distillée. Du glycérol a été ajouté au culot marqué pour améliorer l'observation et la préservation des échantillons. Des lames permanentes ont été réalisées à partir de cette solution pour effectuer des observations, déterminer les rhizopodes et procéder à des comptages.

Les comptages ont été effectués à l'aide d'un microscope optique à transmission (grossissement x200) sur des lamelles de 22 par 50 mm. Les identifications des différents rhizopodes ont été réalisées à l'aide de la clé d'identification d'Oris (2009) et avec l'aide du site web arcella (www.arcella.nl). À partir de ces comptages, la concentration en rhizopodes par cm^3 de sédiment et la richesse spécifique (nombre d'espèces / niveaux de

profondeur) ont été calculées. Contrairement au protocole de Hendon et Charman (1997), des tablettes contenant des lycopodes n'ont pas été ajoutés et la concentration en rhizopodes a donc été calculée par la méthode décrite en Annexe 1.

A partir des intervalles de tolérance des espèces présentes (Bruch et al., 2002), des valeurs de pH et de profondeurs de nappes d'eau pour les différentes périodes illustrées par le carottage étudié. Ces intervalles ont été définis à partir d'études précédentes menées sur des prélèvements réalisés en Pologne (Lamentowicz & Mitchell, 2005) et dans les montagnes du Jura (Suisse et France) (Mitchell & Buttler, 1999). L'intervalle de tolérance doit permettre de faire coexister l'ensemble des espèces d'un assemblage. Quand cet intervalle n'existe pas, il a été remplacé par un intervalle de maximum de coexistence, c'est-à-dire les valeurs minimales et maximales qui permettent de faire coexister le maximum d'espèces de

l'assemblage.

fonction de la profondeur

RESULTATS

1- Concentration en rhizopodes

La concentration et la richesse spécifique en rhizopodes varient en fonction de la profondeur (Fig. 3). La concentration et la richesse augmentent faiblement dans les niveaux les plus anciens (de 96 à 47 cm de profondeur) tandis qu'elles augmentent de façon plus rapide dans les niveaux supérieurs (de 47 à 4 cm). Les niveaux les plus profonds sont les plus pauvres en rhizopodes (plus faibles valeurs de concentration et de richesse spécifique).

La Figure 4 présente les concentrations des 30 taxons identifiés en fonction de la profondeur de tourbe. On remarque, par exemple, que *Cryptodifflugia* et *Heleopera sylvatica*, qui sont parmi les espèces ayant les concentrations les plus élevées sur les 3 premiers niveaux, sont toujours présentes, mais en plus faibles concentrations, dans les niveaux plus profonds. D'autres espèces, comme *Assulina muscorum* et *Centropyxis aculeata*, qui présentent des concentrations élevées à la surface de la carotte, ne sont plus observées en profondeur. Ces variations révèlent une relation entre la concentration et la richesse en rhizopodes et la profondeur de la carotte (Fig. 3).

2- Changements des communautés en

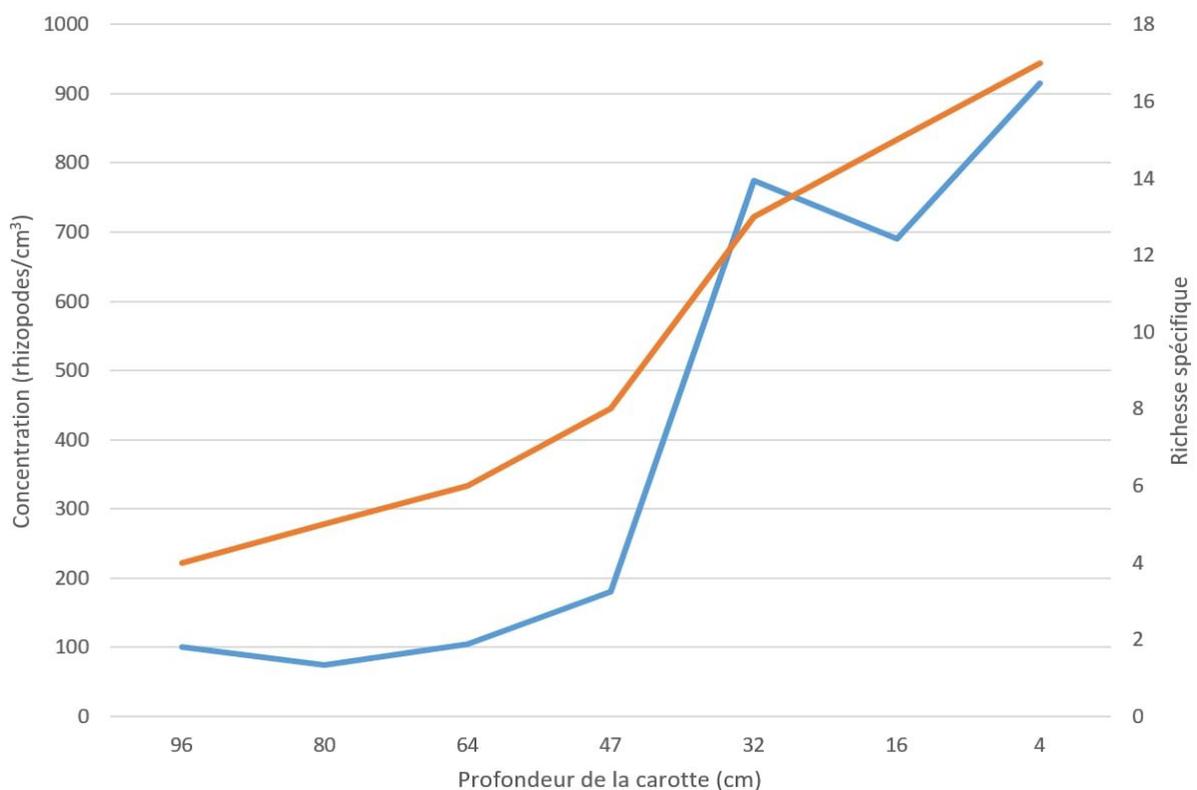


Figure 3. Variations de la richesse spécifique (courbe rouge) et de la concentration (courbe bleue) en rhizopodes en fonction de la profondeur

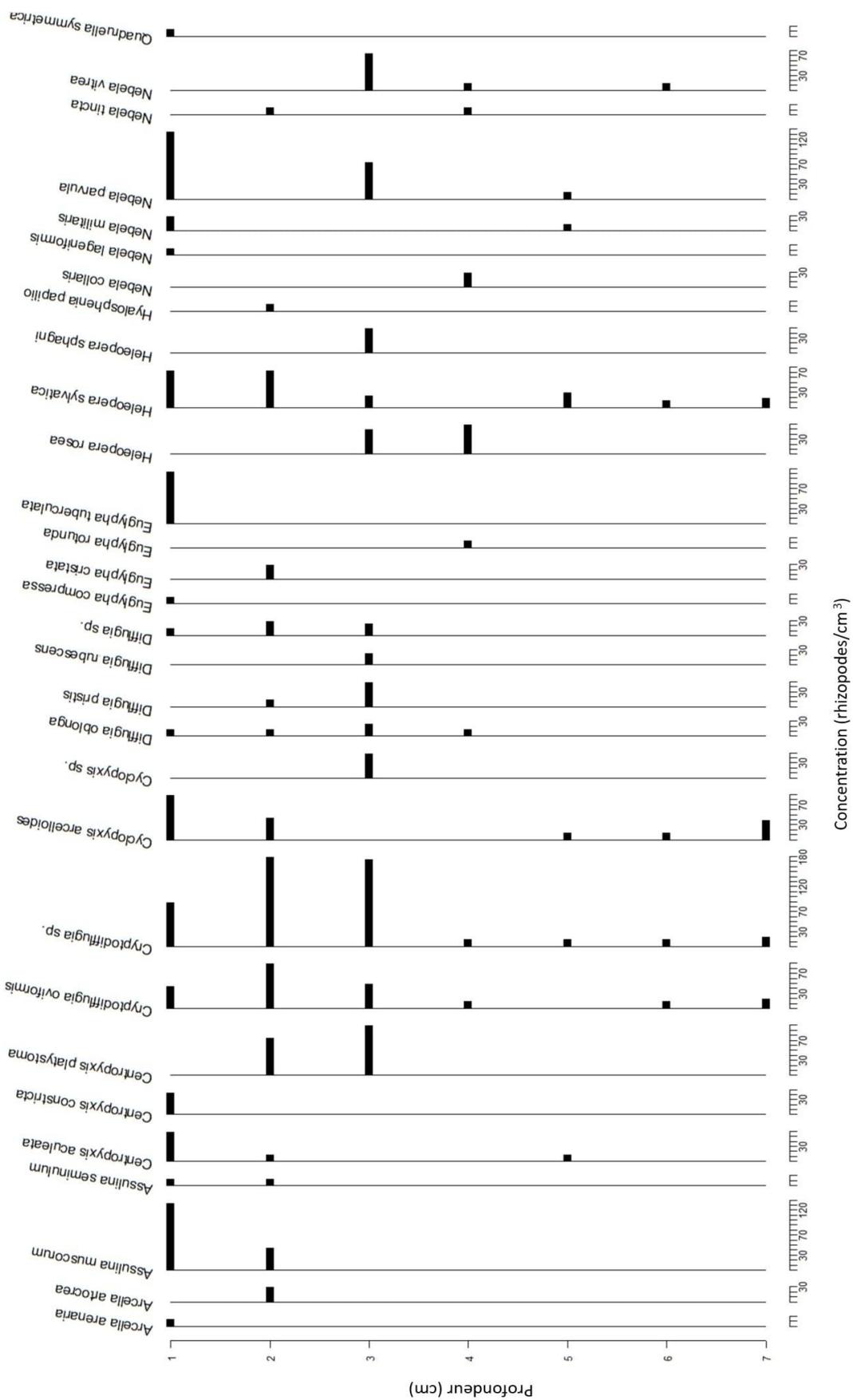


Figure 4. Concentrations en rhizopodes de la carotte CAN2017-01

3- Détermination des variations du pH et de profondeur de nappes d'eau

La **Figure 5** représente l'intervalle de tolérance des espèces pour le pH et pour la profondeur de la nappe d'eau. Le pH n'a pu être estimé que par la méthode des maximums de coexistence et montre des variations entre 3,8 et 4,4. La méthode de coexistence a permis de déterminer que la nappe d'eau se situait entre 17 et 31 cm de profondeur pour les niveaux 80 cm et 96 cm, et entre 29,1 et 36 cm de profondeur pour le niveau 48 cm. Pour tous les autres niveaux, seule la méthode des maximums de coexistence a permis d'estimer la profondeur de la nappe d'eau, qui varie entre 7 cm de profondeur pour son niveau supérieur et 36 cm de profondeur pour son niveau le plus bas. Le niveau 32 cm, comparés aux autres, se démarque légèrement par le pH estimé le plus bas et la nappe d'eau la plus superficielle.

DISCUSSION

1- Limite acrotelme et catotelme de la tourbière

Les résultats indiquent que la profondeur de la nappe d'eau a varié au cours des temps, avec un niveau supérieur qui s'est retrouvé à un minimum de 17 cm et un niveau inférieur qui s'est retrouvé à un maximum de 36 cm. La limite inférieure déterminée par cette méthode définit donc la limite du catotelme. Ce dernier est la zone qui est toujours dans la nappe phréatique et dans laquelle la décomposition est lente (Quinty & Rochefort, 2003 ; Delarue, 2010). C'est dans cette dernière couche que des thèques fossiles peuvent être conservées. La limite supérieure définie correspond quand à elle à la limite supérieure de l'acrotelme. Il s'agit de la zone où la nappe d'eau varie au cours de l'année en fonction des saisons. Elle correspond à la partie où les plantes sont enracinées et où la décomposition est rapide (Quinty & Rochefort, 2003 ; Delarue, 2010).

Le passage de l'acrotelme au catotelme se

trouve là où la nappe d'eau ne varie plus (Quinty & Rochefort, 2003 ; Dejean, 2011). Cette valeur correspond à la profondeur maximale de variation de la nappe d'eau de toute la tourbière.

D'après l'observation macroscopique de la carotte réalisée par Decorsière et al. (2018) sur la carotte étudiée et sur d'autres collectées en 2017 et 2018 dans la tourbière de Canroute (Annexe 2), la limite acrotelme-catotelme semble varier selon la localisation du site de prélèvement. La carotte 2017-01 (Annexe 2) semble avoir une limite catotelme-acrotelme située à 30 cm environ. C'est à cette profondeur que la tourbe passe d'un stade organique à un stade décomposé et que l'on note une forte diminution de la concentration en rhizopodes (**Fig. 3**) dont la thèque a pu être dégradée. Le passage entre le catotelme et l'acrotelme pourrait donc expliquer la diminution de la concentration en rhizopodes dus à des problèmes de conservation des thèques.

2- Conservation des Rhizopodes

Une très nette différence en termes de concentrations en rhizopodes a été observée entre les niveaux supérieurs de la carotte (où les rhizopodes sont très concentrés) et les niveaux inférieurs (où ils sont plus rares). La préservation des thèques des rhizopodes sont régis par deux principaux paramètres qui sont leur composition et les conditions environnementales (Swindles & Roe, 2007 ; Mitchell et al., 2008). Une des causes possibles qui pourrait expliquer la différence de concentration en rhizopodes (**Fig. 3**) pourrait être la composition des thèques. En effet, les espèces de rhizopodes retrouvées à une profondeur inférieure à 47 cm sont principalement de types idiosomiques comme les genres, *Euglypha* et *Assulina*. Ces dernières produisent elles-même leur thèque à partir de biosilice ou de calcite qui ne réagiront pas de la même manière dans un milieu acide. La calcite a tendance à se dégrader plus que la biosilice.

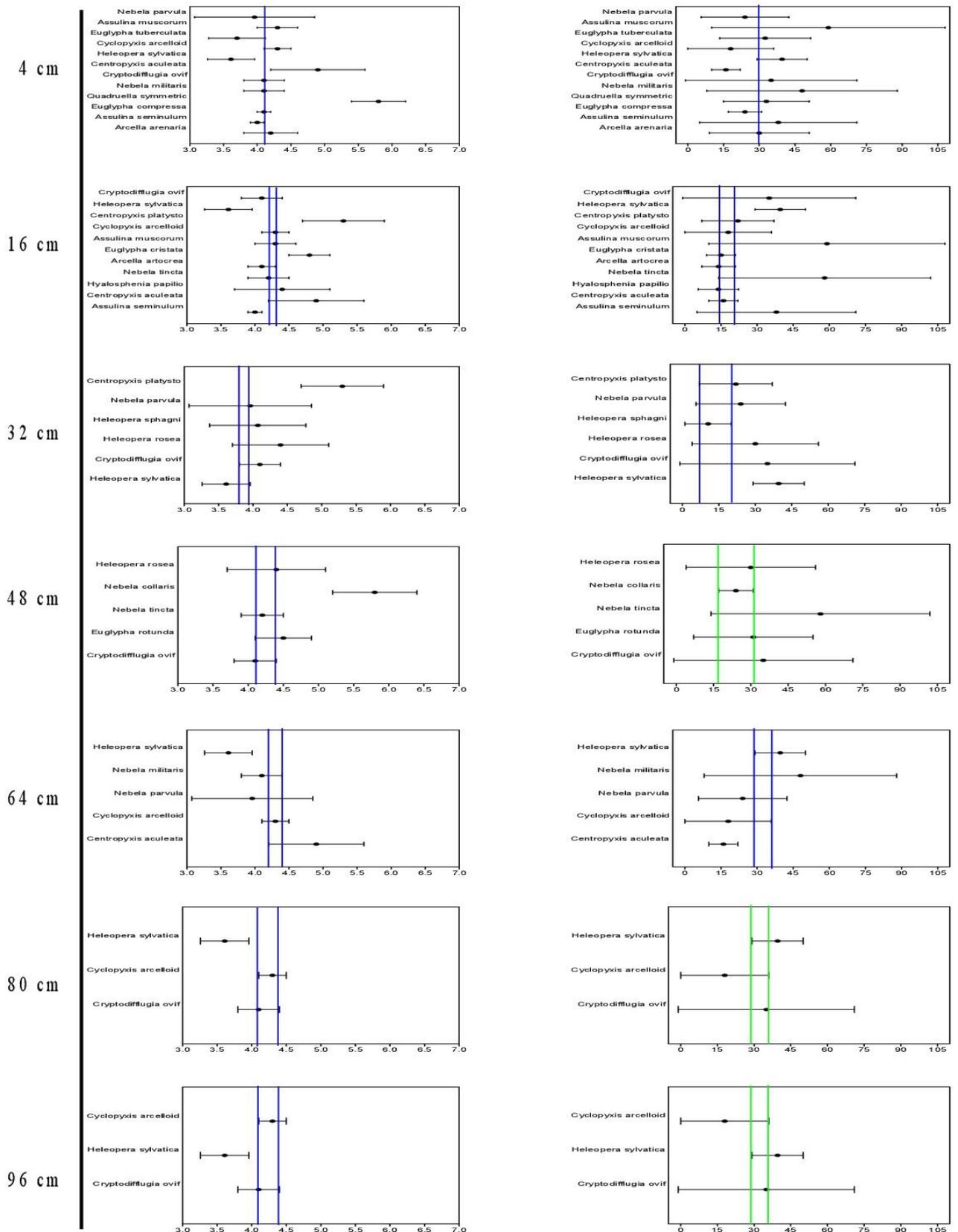


Figure 5. Estimation des intervalles de tolérance de pH (gauche) et de profondeur de nappe d'eau (droite) des rhizopodes identifiés dans la tourbière de Canroute, en fonction de la profondeur.

Les rhizopodes retrouvés dans les niveaux supérieurs à 47 cm sont principalement de type xénomiques comme *Heleopera* et *Cyclopyxis*. Ces derniers ont la particularité de construire leur thèque en recyclant les particules minérales, organiques, éventuellement d'origine biologique, en les prélevant dans leur environnement immédiat. Or, les thèques à xénosomes se préservent mieux que les autres types de thèques, car elles sont plus résistantes à la dissolution et aux contraintes mécaniques (Michell et al., 2008). La composition des thèques pourrait donc expliquer la faible concentration en rhizopode dans le catotélme.

3- Impact du pH et de la profondeur de nappe d'eau sur la dynamique des rhizopodes

L'âge des différents niveaux de la carotte ont pu être estimé grâce au modèle d'âge de la carotte réalisé par Sirejacob et Thomas-Clément (2018). Ainsi, il semble que les variations de la profondeur de la nappe d'eau et de pH ont été faibles au cours des 7700 dernières années. Ces deux facteurs étant importants dans la présence des rhizopodes, leurs stabilités semblent contradictoires avec les grandes différences de concentration et en richesse spécifique des rhizopodes.

Comme indiqué en résultat, la méthode de coexistence n'a pu être appliquée réellement que la profondeur de nappe d'eau et seulement sur 3 niveaux. Pour toutes les autres estimations, les estimations de pH et de profondeurs de nappe d'eau n'ont pu être obtenues que par la méthode des maximums de coexistence. Cela indique que, pour la carotte étudiée, la méthode de coexistence n'est pas concluante. Cette méthode ne permet donc pas d'expliquer la présence de certaines espèces aux différents niveaux, ce qui indique que le pH et la profondeur de la nappe d'eau ne sont pas les seuls paramètres qui ont impacté et qui impactent encore la dynamique des rhizopodes de la tourbière de Canroute. Cela peut aussi provenir des référentiels actuels utilisés pour la mise en place de la méthode de coexistence. En effet, les différents intervalles de coexistence ont

été réalisés à partir de rhizopodes de zones géographiques différentes (Pologne, France et Suisse). Le minimum et le maximum de tolérance établis pour une population d'une espèce de rhizopode sont susceptibles de varier pour une autre population de la même espèce selon l'endroit où l'on se trouve sur le globe (Payne, 2006). Ces différences liées à la localisation géographique peuvent générer, en l'absence de fonction de transfert, des intervalles de tolérance non conformes aux espèces relatives. C'est également en raison des référentiels actuels utilisés que toutes les espèces retrouvées ne sont pas présentes sur la Figure 5, car les données actuelles n'étaient pas disponibles pour toutes les espèces. Leur absence peut constituer un biais.

4- Variation du flux sédimentaire

La raréfaction en rhizopodes dans les milieux les plus anciens pourrait aussi être liée à un changement du flux sédimentaire. En effet, tous les échantillons en dessous de 32 cm ont été prélevés dans un substrat argileux (Annexe 2) alors que ceux des niveaux plus superficiels proviennent d'un substrat tourbeux. Les sédiments minéraux sont formés par l'érosion des roches, sont transportés par l'eau puis déposés pour former un sédiment (Marechal, 2000). En qualité de roche sédimentaire, l'argile témoigne d'un milieu plus ouvert permettant un flux sédimentaire nécessaire à sa formation. Un passage d'eau courante à partir de 40 cm de profondeur est donc envisageable, ce qui expliquerait la faible concentration en rhizopodes car, sans eau stagnante, l'acrotélme ne peut pas se former, empêchant les rhizopodes de se développer.

CONCLUSION

Les variations d'assemblages de rhizopodes au cours de 7000 dernières années dans la tourbière de Canroute n'ont pas pu être clairement explicitées par la variation de deux paramètres environnementaux étudiés, à savoir le pH et la profondeur de la nappe d'eau. Il est probable que, associés à des problèmes de préservation, de forts biais méthodologiques aient contribué à sous-

estimer ou surestimer les valeurs de pH et de profondeurs de nappe d'eau obtenues (paramètres ayant une forte influence sur la répartition de rhizopodes). La transition d'un milieu sédimentaire organique à un milieu minéral pourrait être aussi l'une des causes prépondérantes dans la diminution de la concentration de rhizopodes en profondeur. Une analyse de perte au feu de la carotte permettrait de vérifier le lien entre concentration de rhizopodes et présence de matière organique. L'analyse des différentes autres carottes prélevées dans la tourbière Il serait également intéressant d'approfondir l'étude de la répartition des rhizopodes dans la tourbière de Canroute en comparant les différents assemblages selon les sites étudiés.

REFERENCES

- Bruch A., Fauquette S. & Bertini A. (2002). Two quantitative approaches for climate reconstructions on Neogene palynofloras - An application on a Late Miocene profile from the Velona Basin (Tuscany, Italy). *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 46 : 27-37.
- Celanie L., Jeanjean M. & Lapellegerie P. (2019). Âges et paléoenvironnements de l'initiation de la tourbière de Canroute (Tarn, France). *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 17-28.
- Decorsiere J., Delamare-Deboutteville J. & Lecerf C. (2019). Reconstitution de 13 500 ans d'histoire d'une tourbière dans le sud de la France. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 29-39.
- Dejean S. (2011). Plan de gestion de la tourbière de canroute, Le Magnès, Tarn 8. *Rapport collectif Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées*. 50 p.
- Delaine M. (2016). *Composition des thèques d'amibes xénosomiques : utilisation potentielle comme bio-indicateur des dépôts de particules d'origine atmosphérique*. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne-Franche Comte, 256 p.
- Delarue F. (2010). *Dynamique des matières organiques labiles et récalcitrantes dans la tourbière de Frasné (Jura) : impact des conditions hydriques et d'un réchauffement simulé in situ*. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 212 p.
- Gilbert D., Amblard C., Bourdier G., Jean-André F. & Mitchell E.A.D. (2000). Le régime alimentaire des Thécamoebiens (Protista, Sarcodina). *L'Année Biologique*, 39 : 57- 68.
- Hendon D. & Charman D.J. (1997). The preparation of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) samples from peat. *The Holocene*, 7 : 199-205.
- Lamentowicz M. & Mitchell E.A.D. (2005). The Ecology of Testate Amoebae (Protists) in Sphagnum in North-western Poland in Relation to Peatland Ecology. *Microbial Ecology*, 50 : 48-63.
- Marechal B. (2000). *Caractérisation et interprétation de la variabilité chimique et minéralogique des grès réservoirs. Implications pour la modélisation numérique de la diagenèse minérale des grès du Ravenscar Group (Yorkshire, Royaume-Uni)*. Thèse de Doctorat, Université de Saint Etienne, 272 p.
- Mitchell E.A.D., Arnet T., Chatelain A., Derungs N. & Lara E. (2013). Thécamoebiens muscicoles d'un mur d'enceinte du château de Neuchâtel – les protistes constituent-ils une partie négligeable de la biodiversité ou plutôt une « majorité silencieuse » ?. *Sciences Naturelles*, 133 : 83-92.
- Mitchell E.A.D. & Buttler A.J. (1999). Ecology of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in Sphagnum peatlands in the Jura mountains, Switzerland and France. *Écoscience*, 6 : 565-576.
- Mitchell E.A.D., Charman D.J. & Warner B.G. (2008). Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future. *Biodiversity and Conservation*, 17 : 2115-2137.
- Mitchell E.A.D., Payne R.J. & Lamentowicz M. (2008). Potential implications of differential preservation of testate amoeba shells for paleoenvironmental reconstruction in peatlands. *Journal of Paleolimnology*, 40 : 603-6184.
- Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral

- J.-F. (2018). Végétation de la tourbière de Canroute, dans les Monts de Lacaune (Le Margnès, Tarn). *Orpalm Synthesis*, 11(1) : 9-13
- Oris F. (2009). *Rhizopodes : bioindicateurs d'humidité des tourbières*. Document non publié, Centre de Bio-Archéologie et Ecologie de Montpellier, 19p.
- Payne R.J. (2006). Ecology of testate amoebae (Protista) in south-central Alaska peatlands: building transfer-function models for palaeoenvironmental studies. *The Holocene*, 16 : 403-414.
- Payne R.J. & Mitchell E.A.D. (2009). How many is enough? Determining optimal count totals for ecological and palaeoecological studies of testate amoebae. *Journal of Paleolimnology*, 42 : 483-495.
- Quinty F. & L. Rochefort. (2003). *Guide de restauration des tourbières*, 2^e éd. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, 119p.
- Sirejacob C. & Thomas-Clément T. (2018). Histoire de la végétation depuis 7000 ans dans les Monts de Lacaune. *Orpalm synthesis*, 11: 27-37.
- Smith H.G., Bobrov A. & Lara E. (2008). Diversity and biogeography of testate amoebae. *Biodiversity and Conservation*, 17 : 329-343.
- Swindles T.G. & Roe H.M. (2007). Examining the dissolution characteristics of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in low pH conditions: Implications for peatland palaeoclimate studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252 : 486-496.
- Wall A., Magny M., Millet L. & Gilbert D. (2010). Changements climatiques et variations d'assemblages de thécamoebiens au cours de la transition Tardiglaciaire - Holocène au lac du Lautrey (Jura, France). *Quaternaire*, 21 : 295-304.

ANNEXE 1. Calcul de la concentration en rhizopode par cm³

Formule : $CR = (NR \times VC) / (VG \times VS)$

Avec :

CR, Concentration en nombre de rhizopodes par cm³

NR, Nombre total de rhizopode sur la lame traitée

VC, Volume du culot en ml d'où est extraite la goutte déposée sur la lame

VG, Volume de la goutte en ml de solution présente sur la lame

VS, Volume de sédiment traité en cm³

ANNEXE 2. Logs stratigraphiques des différentes carottes prélevées dans la tourbière de Canroute (d'après [Decorsière et al., 2019](#)). Les âges proviennent d'estimations faites par [Celanie et al. \(2019\)](#). La mention « Données inexploitables » signifie que la partie concernée de la carotte n'a pas pu être décrite.

