

DYNAMIQUE D'ACCUMULATION DE TOURBE DANS LE SUD DU MASSIF CENTRAL : FOCUS SUR LA TOURBIERE DU PESCHIO (MONT LOZERE)

Léa d'Oliveira ¹, Alexandra Zitouni ²

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

¹ lea.doliveira@etu.umontpellier.fr, ² alexandra.zitouni@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Laurent Bremond et Serge Muller

Citation : D'Oliveira L. & Zitouni A. (2021). Dynamique d'accumulation de tourbe dans le sud du Massif Central : focus sur la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 21-36.

Résumé : L'étude sédimentologique et stratigraphique permet de reconstituer les conditions de mise en place, d'accumulation et d'évolution de la tourbière du Peschio. La stratigraphie, associée à la mesure du degré d'humification et à la teneur en minéraux et matière organique, révèle différents événements enregistrés dans la tourbe. Les mesures réalisées sur la carotte PES-01 montrent une stratigraphie homogène, qui suggère que la tourbière n'a pas évolué depuis plusieurs milliers d'années au-delà du stade de fen. Les résultats présentés montrent par ailleurs l'enregistrement, dans la séquence tourbeuse, du Petit Âge Glaciaire et de l'anthropisation de la région.

Mots clés : sédimentologie, stratigraphie, humification, PAF, TAS

Abstract: *Peat accumulation dynamics in the southern Massif Central: focus on Peschio fen (Mont Lozère).* The sedimentological and stratigraphical study highlights the conditions of establishment, accumulation, and evolution of the Peschio fen. The stratigraphy, coupled with humicity degree and mineral content, reveals different events recorded by the peat. Measurements made on the PES-01 core sediments show a homogeneous stratigraphy, which suggests that the fen has not evolved for several thousand years beyond the fen stage. The presented results finally show the Little Ice Age and the regional anthropisation recorded by the Peschio peaty sequence.

Keywords: sedimentology, stratigraphy, humification, LOI, SAR

Les tourbières, qui recouvrent 3 à 4% de la surface terrestre (Clymo, 1991), sont des écosystèmes qui représentent des réservoirs très importants de biodiversité, de carbone et d'eau (Gorham, 1991). Du fait de leurs conditions anaérobies, les tourbières permettent une bonne conservation de la matière organique (Moore, 1998). Elles sont donc de puissantes archives permettant de comprendre l'histoire humaine et

environnementale (Aaby, 1976 ; Castro et al., 2015). Plusieurs approches sont aujourd'hui utilisées pour permettre la reconstruction des paléoenvironnements au sein des tourbières : les analyses polliniques, l'étude des palynomorphes non-polliniques (PNP), l'anthracologie et la sédimentologie (Chambers et al., 2012). L'aspect sédimentologique, lors d'une reconstruction paléoenvironnementale, aborde les conditions de mise en place et d'accumulation de la tourbe au

travers de la composition et de l'assemblage des restes végétaux, du degré de décomposition de la matière et de son taux d'accumulation sédimentaire (Muller et al., 2002). Ces processus sont étroitement liés aux conditions climatiques et environnementales d'une région (Gorham, 1991 ; Halsey et al., 1998 ; Anderson et al., 2003). Leurs analyses apportent donc des indices essentiels permettant de reconstruire les flores et climats passés.

L'influence du climat et de l'anthropisation sur le développement des tourbières a été mis en avant à de nombreuses reprises (Aaby, 1976 ; Cubizolle et al., 2015). Ce sont des écosystèmes humides largement dépendants des précipitations ou de l'hydrologie interne (Moore, 1988). Les bogs (ou tourbières ombrotrophes) sont des systèmes essentiellement alimentés par des eaux météoriques (Wu & Roulet, 2014). Les fens (ou tourbières minérotrophes) sont au contraire influencés par un drainage à écoulement continu, où l'eau provient du système hydrographique et fournit à la communauté végétale un ensemble d'éléments minéraux en fonction de la lithologie du bassin (Manneville, 2006). La tourbière du Peschio, près du Mont Lozère dans le Massif Central, est un exemple de fen dont la sédimentologie n'a encore, à notre connaissance, jamais fait l'objet de recherches. Malgré leur intérêt paléoenvironnemental, historique et archéologique, les tourbières du Massif Central sont restées, jusqu'à récemment et comme beaucoup d'autres en zones tempérées, relativement peu étudiées (Cubizolle et al., 2015).

Cette étude vise à déterminer les conditions de mise en place et d'évolution de la tourbière du Peschio au cours du temps, et plus largement à reconstituer les paléoenvironnements de la région, le tout à travers l'étude des enregistrements climatiques et anthropiques. Nos résultats viendront compléter ceux des autres proxies étudiés lors de cette campagne ORPAM 2021 et permettront de mieux comprendre les réponses de la tourbière aux variations climatiques ainsi que documenter de manière plus précise l'occupation humaine de la région.

LA DYNAMIQUE DE L'ACCUMULATION DE LA TOURBE : ETAT DES CONNAISSANCES ET CONDITIONS D'ACCUMULATION DE TOURBE DANS LE SUD DU MASSIF CENTRAL

1- Mécanismes de l'accumulation de la tourbe

Les tourbières sont un stade avancé de la succession hydrosérale (Muller, 2002). Cette succession écologique se développe à partir d'un milieu lacustre et tend vers une fermeture et un assèchement de celui-ci. Les différents stades théoriques sont successivement : plan d'eau douce (dépôt d'argile, de craie ou de gyttja), marais (dépôt minéral), puis fen et bog (dépôt tourbeux). La formation d'une tourbière dépend d'un excès de productivité végétale locale par rapport aux processus respiratoires des organismes (Moore, 1989 ; Julve, 1996). Dans une tourbière, la production végétale est disponible comme ressource alimentaire pour les animaux ou tombe en tant que litière au sol, où elle est attaquée par des animaux détritvores et décomposée par les composants microbiens et fongiques de l'écosystème (Clymo, 1984 ; Moore, 1987). L'accumulation de la tourbe au cours du temps a lieu lorsque le taux de décomposition est inférieur au taux de production de matière organique (Moore, 1989).

Les différences d'efficacité de la décomposition de la matière organique permettent de diviser le profil vertical d'une tourbière en deux zones (Fig. 1) : une zone supérieure (ou acrotelme), où l'engorgement est intermittent en fonction de la saison et de l'apport en eau par le bassin versant, et une zone inférieure (ou catotelme), anaérobie, qui est gorgée d'eau en permanence (Moore, 1989). La limite entre ces deux régions n'est pas constante dans le temps : elle dépend de plusieurs facteurs comme la saison ou les variations climatiques (Moore, 1987). La décomposition microbienne anaérobie se produit très lentement, surtout dans les couches profondes et saturées (Moore, 1987). En fonction du taux d'accumulation de la

tourbe et de son engorgement, les structures végétales qui tombent à la surface de la tourbe peuvent passer un temps considérable dans l'acrotelme avant de passer dans le catotelme (Moore, 1987). Une fois dans la zone anaérobie, le taux de décomposition diminue sévèrement, permettant la conservation des tissus végétaux résiduels (Moore, 1987). La décomposition suit un processus d'humification (transformation partielle en substances humiques), qui s'accompagne d'une faible minéralisation (Wastiaux, 2008). La teneur en matière organique reste donc toujours proche de 100% du poids sec, en raison de la très faible minéralisation (Wastiaux, 2008). Le long du profil d'une tourbière, le degré d'humification a naturellement tendance à augmenter de la surface vers la base de la tourbière, en raison de l'accumulation et du passage de l'acrotelme au catotelme (Wastiaux, 2008). Les taux d'accumulation sédimentaire classiquement observés se présentent donc ainsi : une forte accumulation à la base de la tourbière (généralement liée à la présence de matières minérales issues de l'érosion de la roche mère), à la transition sédiment minéral-sédiment organique, une forte baisse du taux d'accumulation (la matière organique ancienne étant fortement décomposée et compressée par le poids de la matière organique sus-jacente) et enfin, le taux d'accumulation augmente à nouveau, la matière organique récente étant peu décomposée et non comprimée (Muller et al., 2019). C'est le schéma observé dans la plupart des tourbières étudiées dans le sud du Massif Central (Muller et al., 2019).

L'hydrologie du site est donc le facteur prédominant de la formation d'une tourbe (Malmer, 2014). L'hydrologie est elle-même affectée par des facteurs climatiques comme les précipitations et l'évaporation, mais aussi par des facteurs locaux, comme la topographie, la couverture végétale, voire l'utilisation des terres du bassin versant (Moore, 1987 ; Malmer, 2014).

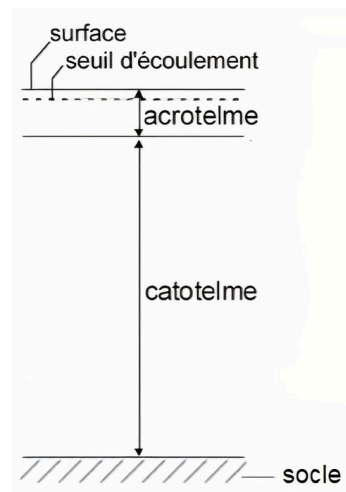


Figure 1. Profil vertical schématique d'une tourbière (d'après Wastiaux, 2008)

2- Contrôles allogènes de l'accumulation de la tourbe

L'accumulation de la tourbe est induite par l'activité respiratoire des organismes de la tourbière et le dépôt de matière organique elle-même sous le contrôle du climat (Gorham, 1991 ; Halsey et al., 1998). Ces contraintes exogènes (climatiques et hydrologiques) appliquées sur l'écosystème de la tourbe doivent être prises en compte pour comprendre la dynamique de l'accumulation d'une tourbière (Gorham, 1991 ; Halsey et al., 1998 ; Anderson et al., 2003).

La température du sol est un facteur majeur pour la décomposition de la matière organique (Domisch et al., 2006). Le réchauffement climatique pourrait accélérer ce processus et affecter l'accumulation de la tourbe (Domisch et al., 2006). Szajdak et al. (2020) avancent que le drainage peut améliorer la décomposition de la matière organique par une meilleure aération de la tourbe à sa surface, augmentant l'activité microbienne.

Les fens et les bogs sont des écosystèmes dans lesquels la nappe phréatique de saison sèche peut se trouver sous la surface de la tourbe (Moore, 1987). La hauteur de nappe n'est pas seulement dépendante des saisons (plus haute en hiver qu'en été pour l'hémisphère Nord), mais elle dépend aussi de

la topographie du bassin (Moore, 1987). En effet, la microtopographie peut être complexe, présentant des crêtes ou des bosses alternant avec des mares ou des canaux étendus, affectant l'apport en eau et en nutriments dans la tourbe (Moore, 1989). Les bogs, quant à eux, dépendent énormément des conditions climatiques (Wu & Roulet, 2014). En effet, les taux de précipitations et d'évaporation sont saisonniers dans beaucoup de régions (zones tempérées, tropicales, boréales) (Ragette & Wotawa, 1998).

3- Conditions d'accumulation dans le sud du Massif Central

Le Massif Central, principalement composé de roches granitiques (acides) (Bal et al., 2015), est particulièrement propice au développement de tourbières minérotrophes : le paysage a été fortement modelé par le travail des glaciers du dernier maximum glaciaire sur la roche mère, créant de nombreuses zones concaves facilitant la turfigenèse (production de la tourbe) (Degorce, 1995). De plus, une pluviométrie importante (1000-1500 mm/an) est observée au-dessus de 1000 m d'altitude permettant l'alimentation des vallons et vallées en tête de réseau hydrographique (Cubizolle et al., 2004).

L'épaisseur des tourbières généralement observée en France est comprise entre 50 cm et plus de 10 m (Cholet et al., 2010). Les tourbières du Massif Central ont une profondeur comprise entre environ 1 et 3 m (Cubizolle et al., 2004 ; Pulido Avila, 2006 ; Decorsiere et al., 2019). Le Sud du Massif Central, fortement influencé par la circulation méditerranéenne (Martin & Didon-Lescot, 2007), est soumis à des conditions favorisant les épisodes cévenols et est caractérisé par des précipitations abondantes à l'automne et une saison sèche l'été (Martin & Didon-Lescot, 2007). Ces conditions de sécheresse entraînent une baisse de la nappe d'eau (Moore, 1987), qui à son tour favorise une forte dégradation de la matière organique, abaissant ainsi le taux d'accumulation de la

tourbière (Szajdak et al., 2020). L'influence du climat méditerranéen pourrait donc expliquer la faible profondeur des tourbières du Massif Central comparée à celles des autres régions montagneuses françaises.

MATERIEL ET METHODES

1- Région et site étudiés

La tourbière du Peschio (44°27'N, 03°38'E ; Fig. 2), est une tourbière minérotrophe localisée sur le Mont Lozère, dans le parc national des Cévennes, au sud-est de Mende. La tourbière du Peschio s'étend sur environ 800 m de longueur et 130 m de largeur. Le fonctionnement de la tourbière a été influencé par la construction d'une digue au Moyen âge, qui a entraîné l'élévation du niveau d'eau dans une tourbière préexistante (Pulido Avila, 2006).

2- Carottage

Une carotte de 3 m (PES-01 ; 44°46'N, 03°63'E) a été extraite de la tourbière. Le carottage a été réalisé à l'aide d'un carottier russe possédant une chambre de carottage de 1 m de longueur. Le carottier russe a pour particularité d'éviter la compaction verticale des sédiments, ce qui permettra de négliger les erreurs liées à ce phénomène lors de l'analyse des tronçons de la carotte (Jowsey, 1966).

3- Description de la carotte

La description visuelle de la carotte permet de signaler les changements évidents de couleur et de texture de la tourbe, ainsi que la présence d'objets trop volumineux pour être représentés dans nos échantillons issus d'un emporte-pièce d'1 cm³. Ces changements pourront être corrélés ultérieurement aux variations de décomposition de la matière végétale et à la variation de composition de la tourbe (Aaby, 1986).

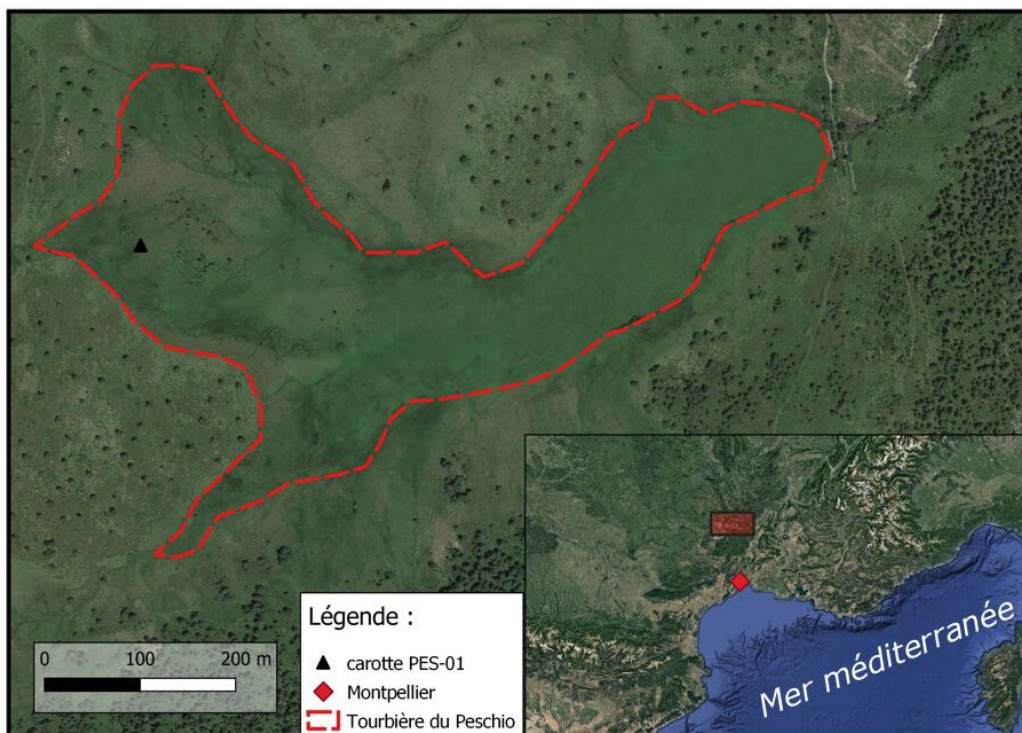


Figure 2. Localisation de la Tourbière du Peschio et du site de carottage PES-01

4- Perte au feu

Pour donner une indication sur les proportions de matière organique et de carbone contenues dans la carotte PES-01, les teneurs en matière organique et en carbonates ont respectivement été mesurées par perte au feu à 550 et 950°C (Ball, 1964). Pour cette étude, 31 échantillons de 1 cm³ ont été prélevés tous les 10 cm. La pesée de chaque échantillon après un séchage de 12h à 150°C (noté P150) a été réalisée. Pour déterminer la teneur en eau du sédiment (% de la masse de l'eau contenu dans l'échantillon), un indice d'humidité (noté Th) a été calculé sur la base de l'équation suivante :

$$T_h = \frac{P - P_{150}}{P - P_{tare}} \times 100$$

avec : P_{tare}, la masse du creuset vide (g) ; P, la masse de l'échantillon avant séchage (g) et P₁₅₀, la masse de l'échantillon après séchage (g).

Ensuite, une première calcination à 550°C pendant 5 h a été réalisée pour estimer la

teneur en matière organique (% de la masse sèche). Comme pour l'étape antérieure, la pesée des échantillons après la calcination (noté P₅₅₀) a été faite. La teneur en matière organique, notée PAF₅₅₀, est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$PAF_{550} = \frac{P_{150} - P_{550}}{P_{150} - P_{tare}} \times 100$$

avec : P₁₅₀, la masse de l'échantillon après séchage (g) ; P₅₅₀, la masse de l'échantillon après calcination à 550°C (g) et P_{tare}, la masse du creuset vide (g).

Enfin, une dernière calcination de 2h à 950°C a été réalisée. A la suite de la dernière calcination une nouvelle pesée est réalisée (noté P₉₅₀), permettant cette fois-ci de donner une indication sur la teneur en carbone non organique de l'échantillon, noté PAF₉₅₀.

$$PAF_{950} = \frac{P_{550} - P_{950}}{P_{150} - P_{tare}} \times 100$$

avec : P₅₅₀, la masse de l'échantillon après

calcination à 550°C (g) ; P950, la masse de l'échantillon après calcination à 950°C (g) et Ptare, la masse du creuset vide (g).

A partir des teneurs en matière organique, la teneur en minéraux peut être estimée (Chambers et al., 2021). Cette teneur correspond à 1-P550 (en%).

Afin de caractériser l'évolution de la composition de la tourbière au cours du temps, il est nécessaire d'estimer le taux de décomposition de la matière organique végétale. Pour ce faire, deux protocoles ont été mis en place. D'une part, une application du système de classification de Troels-Smith (1955) et d'autre part, un protocole adapté de Blackford & Chambers (1993) permettant d'estimer le degré d'humification en fonction de la profondeur.

5- Méthode Troels-Smith

Afin de déterminer le type de végétaux présents tout le long de la carotte, la classification de Troels-Smith (Troels-Smith, 1955 ; Aaby & Berglund, 1986) a été utilisée (Annexe 1). Celle-ci permet de décrire la composition de la tourbe, notamment par l'abondance relative de certains types de végétaux et de donner une idée de leur état de décomposition. Le terme « *Substantia humosa* » désigne la matière trop détériorée pour être identifiée à la loupe binoculaire ; « *Turfa* », les débris végétaux les moins dégradés, où l'on distingue encore des bryophytes et des parties aériennes d'herbacés angiospermes ; et « *Detritus* » décrit un stade intermédiaire où l'on ne distingue plus que certaines structures réfractaires, comme les rhizomes et les radicelles. La nature des débris est également précisée : « *Turfa bryophytica* » se réfère aux Bryophytes et « *Turfa herbacea* » ainsi que « *Detritus herbosus* » aux débris herbacés (Troels-Smith, 1955 ; Aaby & Berglund, 1986). Des échantillons de 1 cm³ de tourbe ont été prélevés tous les 8 cm le long de la carotte, soit un total de 38 échantillons. Ceux-ci ont été dilués dans de l'eau distillée, puis est observés à la loupe binoculaire. Chaque type d'élément présent est compté sur la lame et

divisé en 5 classes d'abondance, de 0 à 4 (0 : absence d'éléments, 1 : entre 1-10 éléments, 2 : entre 10-100 éléments, 3 : entre 100-1000 éléments, 4 : > 1000 éléments). La « *Substantia humosa* » a quant à elle été décrite en pourcentage de recouvrement de la lame par rapport aux autres matériaux présents (0 : absence, 1 : 0-25%, 2 : 25-50%, 3 : 50-75%, 4 : 75-100%). La présence d'objets remarquables (graine, débris animal, charbon, etc.) est signalée en commentaire.

6- Estimation du degré d'humification

L'humification traduit l'avancement de la dégradation, c'est-à-dire du procédé de transformation par oxydation de la matière organique en humus (Juma, 1998). Au cours de cette dégradation, la taille des particules organiques tend à diminuer, permettant d'estimer l'avancement relatif du processus en fonction de la profondeur et donc du temps (Aaby & Tauber, 1975). Le principe ici est de diluer les échantillons dans une solution de KOH (Blackford & Chambers, 1993), puis de déterminer la dilution nécessaire pour chacun d'entre eux afin d'atteindre la même transparence que l'échantillon de surface (observation à l'œil nu), qui nous a servi d'étalon. Plus la matière est dégradée, plus l'eau est sombre, et plus il faut la diluer pour obtenir une couleur semblable à l'étalon. Le résultat sera donc une estimation approximative de l'humification avec pour unité un volume d'eau ajouté, ce qui n'est pas comparable à la littérature mais nous permettra d'observer des tendances dans la variation de l'humification le long de notre profil et de les confronter à nos autres observations.

Des prélèvements de 1 cm³ dans la carotte PES-01 ont été effectués tous les 8 cm. Ils ont ensuite été dilués dans une solution de KOH à 10% pour atteindre un volume de 10 ml. Afin de défloculer la matière, c'est-à-dire de dissocier les amas de particules en suspension, le tout a été laissé au bain marie à 80°C pendant 10 min, et remué toutes les 2 min. Chaque échantillon a été tamisé avec une maille de 500 µm afin de garder les macrorestes (graines, racine etc.).

L'échantillon de surface (le moins dégradé) a été dilué dans une éprouvette graduée jusqu'à atteindre 100 ml et utilisé comme étalon. Les échantillons suivants ont été dilués jusqu'à atteindre une turbidité similaire à celle de l'étalon. L'hypothèse de la corrélation entre taux d'humification et turbidité a été émise. La dilution a été notée pour chaque échantillon, ce qui a permis de réaliser un graphique représentant l'évolution du degré relatif d'humification au cours du temps.

7- Taux d'accumulation sédimentaire (ou TAS)

À partir du modèle d'âge de la tourbière du Peschio présenté par Charieau & Larrieu (2021), les taux d'accumulation ont pu être calculés. Le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) correspond à une épaisseur de sédiments déposée par unité de temps, ici exprimé en mm/an. Il s'agit d'un paramètre essentiel dans la compréhension de l'évolution sédimentaire de la tourbière (Loizeau et al., 2012). Les TAS sont calculés à partir de l'équation suivante :

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

avec : Profondeur en mm et Age en années.

RESULTATS PRELIMINAIRES

1- Log stratigraphique

La séquence sédimentologique (Fig. 3) montre une tourbe essentiellement composée de *Detritus herbosus*. Entre 250 et 12 cm de profondeur, la carotte se compose exclusivement de *Detritus herbosus* avec des états de décomposition légèrement variables observés grâce aux différentes classes d'abondances de *Substantia humosa* (classes 1 à 3). Une zone sableuse d'environ 1 cm d'épaisseur a été observée à 269 cm de profondeur. Des alternances de tourbe claire et foncée sont par ailleurs visibles le long du profil. Ces alternances de couches sont épaisses de 8 cm à plusieurs dizaines de cm. À l'exception d'une zone claire et homogène d'environ 5 à 133 cm de profondeur, la présence de débris

(rhizomes et radicules) peut être notées dans l'ensemble du profil stratigraphique (de l'ordre de 100-1000 éléments pour chaque observation). À partir de 12 cm et jusqu'à la surface, la tourbe apparaît peu compacte et plutôt claire. Un horizon de *Turfa bryophytica* se distingue entre 8 et 0 cm, où les sédiments sont composés de rhizoïdes et de mousses en majorité (*Turfa bryophytica*), de débris d'herbacés (*Detritus herbosus*) et de *Substantia humosa* en plus faibles proportions (classe 1, entre 1 et 25% de recouvrement de la lame).

Les sédiments situés entre 250 et 300 cm sur la carotte n'ont pas pu être étudiés en raison du confinement lié à l'épidémie de Covid-19.

2- Perte au feu

Les résultats de la PAF (Fig. 4) montrent des taux de carbonates entre 0 et 1,3% et des taux d'humidité n'excédant pas 20%. La teneur en matière organique (MO) varie entre 60 et près de 100% le long de la carotte. La base est moins riche en matière organique. En effet, la teneur en MO augmente (de 65 à 95%) entre 10500 et 7000 cal. BP. La teneur reste plus ou moins constante (85-95%) jusqu'à environ 2000 cal. BP pour ensuite enregistrer une diminution d'environ 35% jusqu'à 1500 cal. BP. À partir de 1500 cal. BP, la teneur en MO augmente fortement jusqu'à atteindre 95%. Entre 700 et 100 cal. BP, une diminution importante est enregistrée, atteignant un minimum de 60% à 300 cal. BP. La teneur en MO augmente ensuite de nouveau pour atteindre un taux de près de 98%. Entre 100 ans cal. BP et l'actuel, une diminution de 10% de MO est enregistrée.

Trois événements d'augmentation en minéraux sont identifiables : entre 10500 et 8500 cal. BP, entre 1900 et 1100 cal. BP, puis entre 700 et 100 cal. BP. Il est important de noter que ces résultats sont à prendre avec précaution, puisqu'en raison du confinement, les erreurs de mesure n'ont pu être ni vérifiées ni corrigées. C'est le cas pour la forte diminution en carbonates observée entre 2000 et 1500 cal. BP, qui ne sera pas prise en compte dans la suite de cette étude.

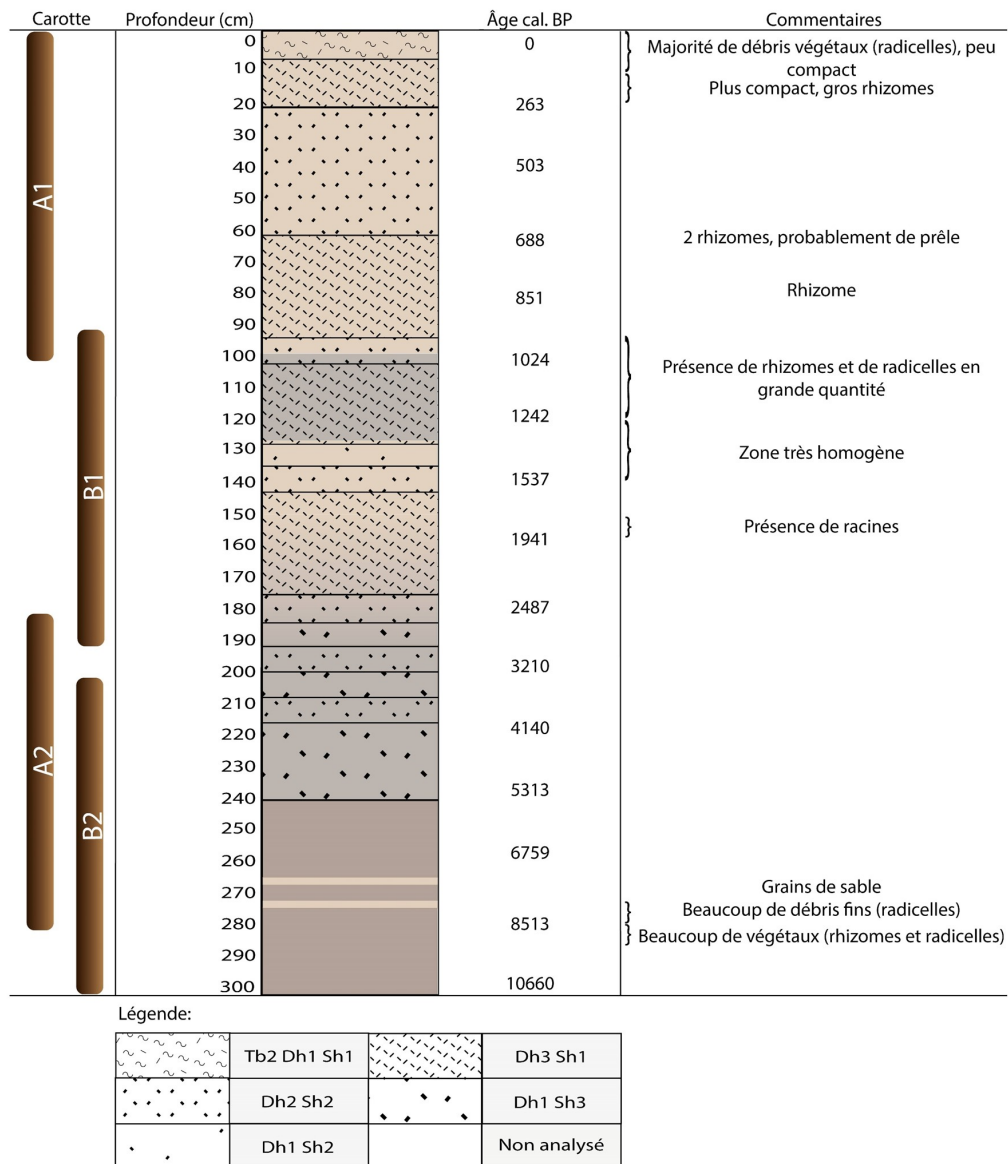


Figure 3. Log stratigraphique de la carotte PES-01 réalisé à partir du protocole et de la classification de Troels-Smith (1955) (Annexe 1): Sh, *Substantia humosa* ; Dh, *Detritus herbosus* ; Tb, *Turfa bryophytica* ; Nombres, abondance relative d'éléments

3- Degré d'humification

La mesure du degré d'humification (Fig. 5) montre que la décomposition n'est pas constante le long de la carotte et qu'elle varie avec la profondeur. Le degré d'humification est maximal à environ 3000 cal. BP, et décroît jusqu'à environ 1000 cal. BP. Cette diminution présente deux dynamiques distinctes. Dans un premier temps, entre 10500 et 2800 cal. BP, la décomposition est

très importante, le volume ajouté étant de l'ordre de 600 ml. Puis, entre 2800 et 1000 cal. BP, il y a une décomposition relativement faible, avec un volume ajouté moyen de seulement 230 ml. On observe une augmentation du volume d'eau ajouté entre 1000 et 400 cal. BP, ce qui montre une augmentation du degré d'humification, puis à nouveau une baisse jusqu'à la surface de la carotte.

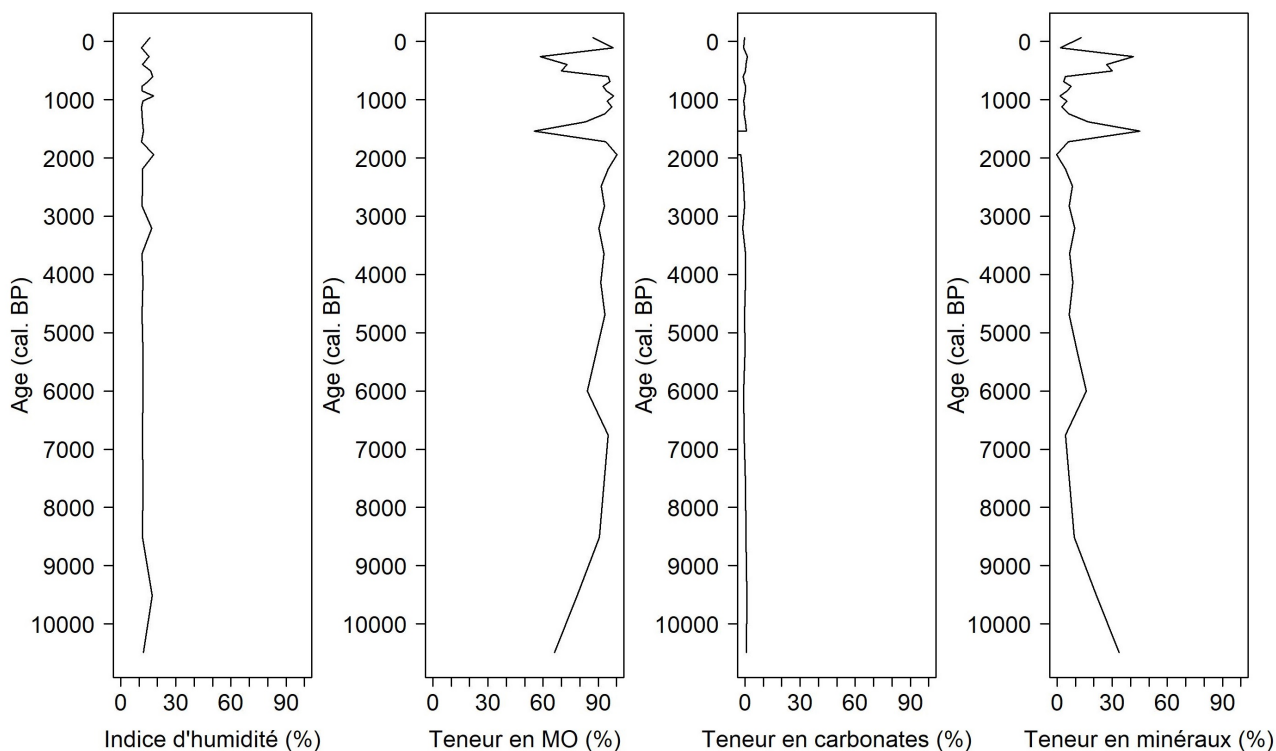


Figure 4. Résultats issus de la perte au feu. De gauche à droite : taux d'humidité en% ; taux de matière organique (MO) en% ; teneur en carbonate en% ; teneur en minéraux en%, (100% - taux de matière organique). Ces taux sont exprimés en fonction de l'âge (cal. BP).

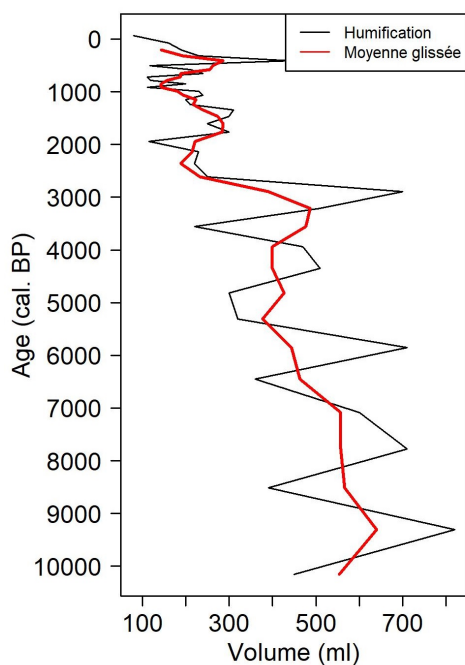


Figure 5. Evolution du degré d'humification en fonction de l'âge (cal. BP).

4- Taux d'accumulation sédimentaire

Le taux d'accumulation (Fig. 6) augmente avec le temps. En effet, entre 10600 (base de la carotte) et 1800 cal. BP, le taux d'accumulation varie entre 0,09 et 0,5 mm/an, puis augmente rapidement entre 1800 et 800 cal. BP, atteignant des taux d'accumulation de l'ordre de 1,2 mm/an en 1000 ans. Depuis 800 cal. BP, le TAS diminue de 1,25 mm/an à 0,05 mm/an.

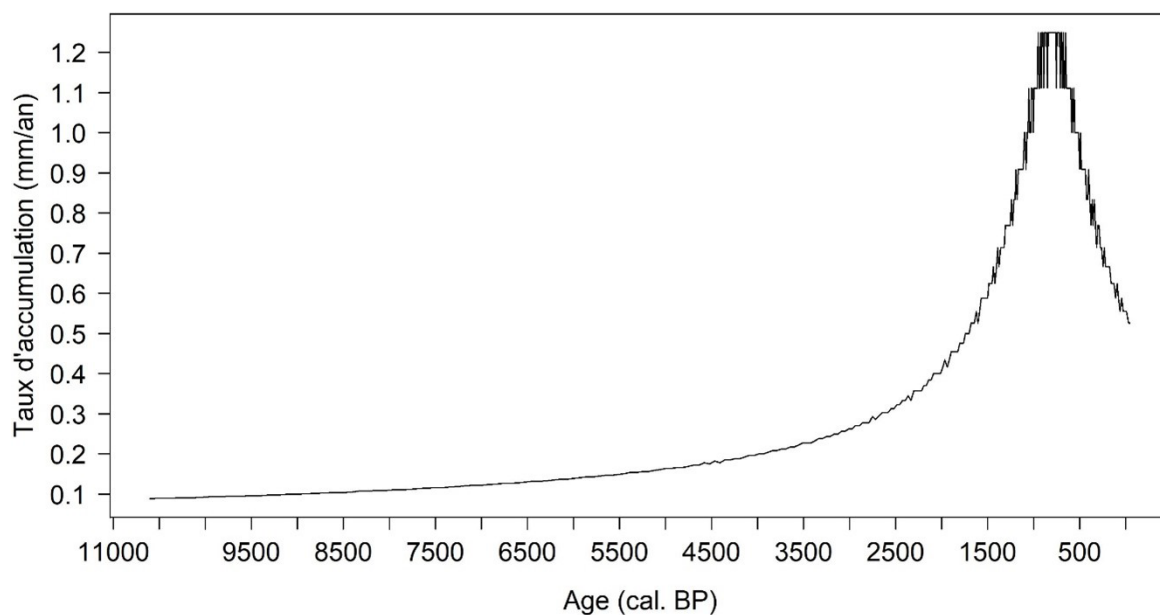


Figure 6. Taux d'accumulation sédimentaire déterminés à partir du modèle d'âge (Charieau & Larrieu, 2021) de la tourbière du Peschio.

DISCUSSION

1-Evolution de la composition de la tourbe de la tourbière du Peschio

Stade hydroséral de la tourbière du Peschio

La PAF à 950°C, qui a révélé une quasi-absence de carbonates confirme le fait que la roche mère de la région est cristalline et acide (Cubizolle et al., 2004). L'abondance réduite de matières minérales traduit un faible apport d'origine détritique. La stratigraphie de PES-01 (*Turfa bryophytica* et *Detritus herbosus*) montre que la tourbière du Peschio a toujours été une tourbière minérotrophe (fen) et, pour cette zone du moins, à dominante herbacée.

La présence de tourbe herbacée, comprenant entre autres des Poaceae, des Cyperaceae et *Sphagnum* (Cartier et al., 2021) tout le long du profil, permet de caractériser la tourbière du Peschio comme un fen (Muller, 2002). Les degrés d'humification variables indiquent quant à eux des conditions humides, avec un niveau hydrostatique élevé (Muller et al., 2003). Les sédiments minéraux à la base de la carotte ont probablement été déposés par le ruisseau de Peschio, avant que la zone occupée par un thalweg soit comblée par la tourbière. Ce schéma de fen succédant à un

écosystème fluviatile est cohérent avec le modèle de la succession hydrosérale (Muller, 2002). La stratigraphie relativement homogène (*Detritus herbosus* et *Turfa bryophytica*) sur les 3 m de carotte n'indique aucune succession de stades hydroséraux au-delà de fen. La tourbière du Peschio stagne donc à ce stade hydroséral depuis plus de 10000 ans. Ce phénomène a déjà pu être observé dans diverses tourbières : c'est le cas de la tourbière de Taurene (Lettonie), où le stade de fen a perduré durant 8000 ans (Kalnina et al., 2014), et de la tourbière de Mirabel (Québec), pour laquelle le stade de fen a duré près de 6000 ans (Muller, 2002). La stagnation au stade de fen s'explique probablement par les conditions climatiques du sud du Massif Central, et notamment par l'existence d'une période estivale sèche, favorable à l'assèchement des couches supérieures des tourbières (Martin et al., 2002). L'accroissement de la décomposition qui en résulte pourrait compenser la production en surface, et entraîner un taux d'accumulation trop faible pour que la surface de la tourbière s'élève suffisamment pour devenir ombrotrophe (Muller, 2002).

Enregistrement de l'activité humaine et du changement climatique de la région par la tourbière du Peschio

L'augmentation rapide du degré d'humification entre la surface et 30 cm de profondeur, suivie d'une nette diminution, sont caractéristiques de l'acrotelme. La zone aérobie favorise la décomposition de la matière organique, ce qui permet l'augmentation de l'humification (Clymo, 1984). La nappe phréatique, séparant l'acrotelme du catotelme crée quant à elle une résistance lors du passage de la matière organique d'une zone à l'autre (Clymo, 1984). Ce processus aboutit à une accumulation de matière humifiée à l'interface acrotelme-catotelme et peut être considéré comme un artéfact puisqu'il ne reflète pas une augmentation réelle du degré d'humification (Clymo, 1984). La diminution apparente du degré d'humification en dessous de 30 cm s'explique par un retour aux conditions normales, sans effet d'accumulation, dans le catotelme.

Dans le catotelme, la différence des degrés d'humification entre 10500-2800 et 2800-1000 cal. BP peut s'expliquer par des compositions végétales différentes. En effet, il a été montré que le degré de décomposition des tourbières est corrélé avec les constituants chimiques des plantes, en particulier avec la quantité d'azote, c'est-à-dire que dans un environnement similaire, certains végétaux se décomposent plus facilement que d'autres (Clymo, 1991). Entre la base (10600 cal. BP) et 2800 cal. BP, les végétaux semblent mieux se décomposer que dans la partie supérieure du catotelme, suggérant un changement d'écosystème vers 2800 cal. BP. Cette hypothèse est soutenue par les données polliniques de Cartier et al. (2021) qui montrent un changement important de végétation entre 3600 et 2100 cal. BP avec la disparition des arbres, en particulier du Pin et du Bouleau qui étaient jusqu'alors dominants, et le développement d'herbacés, en particulier de Poaceae. Ce changement d'écosystème illustre l'enregistrement de l'activité anthropique régionale par la tourbière puisqu'il est relié au défrichement du

domaine pour la culture de céréales (Cartier et al., 2021). La période 500-260 cal. BP riche en matériel minéral implique une augmentation de l'apport détritique que plusieurs hypothèses peuvent expliquer. La baisse de MO et l'augmentation des minéraux traduisent un déboisement du bassin versant, favorisant l'érosion des sols et le transport détritique. La période couverte par cette section de la carotte correspond à peu de choses près au Petit Âge Glaciaire enregistré en Europe entre 1850 et 1550 cal. AD (Jones & Bradley, 1992 ; Mann, 2002). Celui-ci étant caractérisé par une baisse de la température accompagnée de fortes précipitations (Grove, 2001), il est possible que cet épisode ait été enregistré dans la tourbe, le transport de matériel détritique par les précipitations accrues de cette période (Grove, 2001). Un grand nombre de feux d'origine anthropique a été répertorié à cette période (Stevenson & Rhodes, 2000 ; Valbuena et al., 2000) et soutient l'hypothèse de l'action anthropique. La couche de tourbe sableuse vers 4800 cal. BP peut-être encore une fois la marque de fortes précipitations érodant et transportant des sédiments détritiques.

2-Dynamique d'accumulation de la tourbière

Une comparaison des différents modèles d'âge proposés dans la littérature pour les tourbières de la région du Mont Lozère (Cornet & Wales, 2020) indique la présence d'une anomalie dans le modèle d'âge de la tourbière du Peschio. Le schéma d'accumulation sédimentaire généralement observé dans la région correspond à une augmentation lente et progressive pour les sédiments les plus en profondeur, avec un faible TAS (de l'ordre de 0,1-0,01 mm/an), suivit d'une augmentation plus rapide en surface, associée à un TAS plus important (de l'ordre de 5 mm/an) (Bottollier-Curtet & Muller, 2009 ; Muller et al., 2019 ; Cornet & Wales, 2020). Pour le modèle d'âge de la tourbière du Peschio, une diminution anormale du TAS a lieu entre 50 cm et la surface de la tourbière (Charieau & Larrieu, 2021). Cette anomalie est liée à la méthode

utilisée pour produire le modèle d'âge qui montre une diminution anormale du TAS entre 800 cal BP et le présent. Elle ne sera donc pas prise en compte dans la suite de cette étude puisqu'elle ne représente pas le TAS réel de la tourbière du Peschio (Charieau & Larrieu, 2021).

Malgré l'anomalie du TAS à la surface, les taux d'accumulation sédimentaire suivent le schéma généralement observé dans les tourbières du Massif Central (Bottollier-Curtet & Muller, 2009 ; Muller et al., 2019). Le TAS nettement plus élevé de la partie supérieure de PES-01 (1,25 mm/an) s'explique par une décomposition rapide de la matière organique dans l'acrotelme mais aussi par une faible compaction de cette zone. À l'inverse, en profondeur, le faible TAS (0,05 mm/an) est causé par la forte compaction de la tourbe et l'ancienneté de la matière organique (Clymo, 1991). Les TAS observés semblent cohérents avec les taux de sédimentation observés dans le Sud du Massif Central par Bottollier-Curtet & Muller (2009) et Muller et al. (2019). En effet, la tourbière des Vaquiers (Bottollier-Curtet & Muller, 2009) montre des TAS de l'ordre de 0,6 mm/an en profondeur et de 4,9 mm/an en surface. La tourbière de Canroute (Muller et al., 2019) montre quant à elle des TAS compris entre 0,12-0,27 mm/an. Cornet & Wales (2020) ont cependant mis en avant des taux d'accumulation sédimentaire plus importants dans la partie supérieure de la tourbière des Nassettes (de l'ordre de plusieurs cm/an), qui sont relativement élevés pour la région.

3- Limites de l'étude

Un certain nombre de biais peuvent avoir impacté cette étude. Dans un premier temps, l'utilisation de la méthode de Troels-Smith et la description visuelle de la carotte PES-01 peuvent être remises en question du fait du biais apparent de l'observateur. De plus, l'élaboration et l'exécution du protocole d'estimation du degré d'humification s'accompagnent d'incertitudes (étalonnage, précision de mesure, estimation visuelle de la turbidité) (Stanek & Silc, 1977) auxquelles

nous pourrions pallier en mesurant la turbidité de nos échantillons par spectrophotométrie (% d'absorbance). Une partie des résultats du protocole de perte au feu montre des anomalies de mesures avec des teneurs en carbonates négatives (jusqu'à -400%), provenant probablement de la pesée des creusets entre chaque calcination, et peut donc remettre en question une partie de notre interprétation.

La confrontation de nos résultats à ceux de Cartier et al. (2021) doit elle aussi être prise avec précaution. La différence de résolution des données utilisées (tous les 10 cm pour la PAF et tous les 42 cm pour le pollen) peut amener à une corrélation moins précise qu'espéré.

Enfin, la forme en pointe de l'extrémité du carottier russe, qui permet une entrée facile dans le substrat tout en préservant au maximum la stratigraphie de l'échantillon, empêche l'échantillonnage des premiers cm de dépôts au-dessus de la roche mère. Il est donc difficile de tirer des conclusions sur la genèse de la tourbière.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude sédimentologique réalisée sur la carotte PES-01 a permis de mettre en avant le développement de la tourbière du Peschio depuis la fin du tardiglaciaire. La tourbière du Peschio, mise en place à partir du ruisseau de Peschio, est une tourbière minérotrophe au stade de fen depuis au moins 10000 cal. BP, comme en attestent les résultats stratigraphiques et polliniques.

Au cours de son histoire et de son évolution, la tourbière du Peschio a enregistré trois événements : le début de l'accumulation de tourbe il y a 10 500 ans cal. BP, un changement de végétation aux alentours de 2800 cal. BP et enfin le Petit Âge Glaciaire et l'activité humaine entre 500-260 cal. BP. Le changement d'écosystème il y a 2800 cal. BP illustre l'enregistrement de l'activité anthropique par la tourbière puisqu'il est relié au défrichement du domaine pour la culture de céréales. L'enregistrement entre 500-260 cal. BP, met en évidence le fait que la tourbière du Peschio enregistre une nouvelle

fois l'activité humaine, avec d'important incendies durant cette période, mais aussi le refroidissement du Petit Âge Glaciaire.

La sédimentologie de PES-01 nous a donc permis de mettre en lien les degrés d'humification, la composition minérale de la tourbe ainsi que sa stratigraphie avec différents événements climatiques et anthropiques de la région. L'étude des macrorestes que nous n'avons pas pu réaliser dans ce contexte de pandémie présente un intérêt aussi bien paléobotanique que climatique, et pourrait affiner l'interprétation de nos données.

REFERENCES

- Aaby B. & Tauber H. (1975). Rates of peat formation in relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. *Boreas*, 4(1) : 1-17.
- Aaby B. (1976). Cyclic Climatic Variations in Climate over the Past 5,500 Yr Reflected in Raised Bogs. *Nature*, 263 : 281-284.
- Aaby B. (1986). Paleocological studies of mires. In : B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 145-164.
- Aaby B. & Berglund B.E. (1986). Characterization of peat and lake deposits. In : B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 231-246.
- Anderson R.L., Foster D.R. & Motzkin G. (2003). Integrating Lateral Expansion into Models of Peatland Development in Temperate New England. *Journal of Ecology*, 91(1) : 68-76.
- Bal M.C., Allée P. & Liard M. (2015). The origins of a *Nardus stricta* grassland through soil charcoal analyses: Reconstructing the history of a mountain cultural landscape (Mont Lozère, France) since the Neolithic. *Quaternary International*, 366 : 3-14.
- Ball D.F. (1964). Loss on ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Science*, 15(1) : 84-92.
- Blackford J.J. & Chambers F.M. (1993). Determining the degree of peat decomposition for peat-based palaeoclimatic studies. *International peat journal*, 5 : 7-24.
- 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(1) : 69-82.
- Cartier A., Creusot P. & Delandhuy A. (2021). Étude palynologique de la dynamique végétale holocène de la tourbière du Peschio (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 37-54.
- Castro D., Souto M., Garcia-Rodeja E., Pontevedra-Pombal X. & Fraga M.I. (2015). Climate Change Records between the Mid- and Late Holocene in a Peat Bog from Serra Do Xistral (SW Europe) Using Plant Macrofossils and Peat Humification Analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 420 : 82-95.
- Chambers F.M., Booth R.K., De Vleeschouwer F., Lamentowicz M., Le Roux G., Mauquoy D., Nichols J.E. & van Geel B. (2012). Development and refinement of proxy-climate indicators from peats. *Quaternary International*, 268 : 2133.
- Chambers R.M., Gorsky A.L., Castañeda-Moya E. & Rivera-Monroy V.H. (2021). Evaluating a Steady-State Model of Soil Accretion in Everglades Mangroves (Florida, USA). *Estuaries and Coasts* (2021).
- Charieau F. & Larrieu M. (2021). Dynamique des feux sur le Mont Lozère durant le dernier millénaire : étude des charbons de bois dans la tourbière du Peschio. *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 55-72.
- Cholet J., Cubizolle H. & Laggoun F. (2010). Tourbières des montagnes françaises. In : J. Cholet & G. Magnon (eds.), *Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion*. Pôle-relais Tourbières, Besançon, pp. 36-52.
- Clymo, R.S. (1984). The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the*

- Royal Society. London B*, 303(1117) : 605-654.
- Clymo R.S. (1991). Peat growth. *In* : L.C.K. Shane & E.J. Cushing. (eds.), *Quaternary Landscapes*, University of Minnesota Press, Minneapolis, pp. 76-112.
- Cornet F. & Wales A. (2020). Reconstitution des paléo-incendies du Mont Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 9-24.
- Cubizolle H., Georges V., Latour C., Argant J., & Serieyssol K. (2004). La turfigenèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif Central oriental granitique (France): une manifestation de l'action humaine? *Quaternaire*, 15(4) : 343-59.
- Cubizolle H., Tholly J., Oberlin C., Tourman A. (2015). La mise en place et l'extension latérale des tourbières au tardiglaciaire et à l'holocène sur la bordure orientale du Massif Central (France) : l'exemple de la tourbière de Molhiac dans les monts du Forez. *Quaternaire*, 26(4) : 293-306.
- 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.
- Degorce J.-N. (1995). *Les milieux humides dans la Loire*. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, 381 p.
- Domisch T., Finér L., Laine J. & Laiho R. (2006). Decomposition and Nitrogen Dynamics of Litter in Peat Soils from Two Climatic Regions under Different Temperature Regimes. *European Journal of Soil Biology*, 42(2) : 74-81.
- Gorham E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1(2) : 182-195.
- Grove A.T. (2001). The "Little Ice Age" and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe. *Climatic Change*, 48(1) : 121-136.
- Halsey L.A., Vitt D.H. & Bauer I.E. (1998). Peatland initiation during the Holocene in continental western Canada. *Climatic Change*, 40(2) : 315-342.
- Jones P.D. & Bradley R.S. (1992). Climatic variations over the last 500 years. *In* : R.S. Bradley & P.D. Jones (eds.), *Climate since AD 1500*. Routledge, London & New York, pp. 649-665.
- Jowsey P.C. (1966). An Improved Peat Sampler. *New Phytologist*, 65(2) : 245-248.
- Julve P. (1996). Les tourbières de France : écologie et valeur patrimoniale. *Les Cahiers Scientifiques et Techniques du réseau Tourbières de France*, 1 : 2-7.
- Juma N.G. (1998). *The pedosphere and its dynamics: a system approach to soil science. Volume 1: introduction to soil science and soil resources*. Quality Color Press Inc., Edmonton, 315 p.
- Kalnina L., Stivrins N., Kuske E., Ozola I., Pujate A., Zeimule S., Grudzinska I. & Ratniece V. (2015). Peat Stratigraphy and Changes in Peat Formation during the Holocene in Latvia. *Quaternary International*, 383 : 186-95.
- Loizeau J.-L., Girardclos S., & Dominik J. (2012). Taux d'accumulation de sédiments récents et bilan de la matière particulaire dans le Léman (Suisse-France). *Archives des Sciences*, 65 : 81-92.
- Malmer N. (2014). On the relations between water regime, mass accretion and formation of ombrotrophic conditions in Sphagnum mires. *Mires and Peat*, 14(7) : 1-23.
- Manneville O., Vergne V. & Villepoux O. (2006). *Le monde des tourbières et des marais : France, Suisse, Belgique et Luxembourg*. Delachaux & Niestlé, Paris, 319 p.
- Mann M.E. (2002). The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change, vol 1, Little Ice Age. *In* : T. Munn (ed.), *Encyclopedia of Global Environmental Change*. John Wiley & Sons, Chichester, pp 504-509.
- Martin C., Didon-Lescot J. F. & Marc V. (2002). Étude du fonctionnement hydrologique des zones humides du Mont-Lozère : L'exemple de la Tourbière des Sagnes. *Etudes de géographie physique*, 29 : 15-43.
- Martin C. & Didon-Lescot J. F. (2007).

- Influence d'une tourbière de moyenne montagne sur les écoulements : le cas de la tourbière des Sagnes sur le Mont Lozère. *Etudes de géographie physique*, 34 : 27-41.
- Moore P.D. (1987). Ecological and hydrological aspects of peat formation. *Geological Society, London, Special Publications*, 32(1) : 7-15.
- Moore P.D. (1989). The ecology of peat-forming processes: a review. *International Journal of Coal Geology*, 12(1-4) : 89-103.
- Muller S.D. (2002). Influence de la végétation sur l'accumulation de la tourbe au Québec méridional. *Comptes Rendus Biologies*, 325(5) : 629-40.
- Muller S.D., Richard P.J.H. & Larouche A.C. (2003). Holocene Development of a Peatland (Southern Québec): A Spatio-Temporal Reconstruction Based on Pachymetry, Sedimentology, Microfossils and Macrofossils. *The Holocene*, 13(5) : 649-64.
- Muller S.D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2019). Âge des tourbières de la marge méridionale du Massif Central. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 9-15.
- Pulido Avila M. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique post-glaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille, 308 p.
- Ragette G. & Wotawa G. (1998). The evaporation of precipitation and its geographical distribution. *Physics and Chemistry of the Earth*, 23(4) : 393-39
- Szajdak L.W., Jezierski A., Wegner K., Meysner T. & Szczepanski M. (2020). Influence of Drainage on Peat Organic Matter: Implications for Development, Stability, and Transformation. *Molecules*, 25(11) : 2587
- Stanek W. & Silc T. (1911). Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. *Canadian Journal of Soil Science*, 57 : 109-117.
- Stevenson A.C. & Rhodes A.N. (2000). Palaeoenvironmental evaluation of the importance of fire as a cause for Calluna loss in the British Isles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164(1-4) : 195-206.
- Troels-Smith J. (1955). Karakterisering af lose jordarter (Characterisation of Unconsolidated Sediments). *Danmarks Geologiske Undersogelse*, 3 : 39-73.
- Valbuena L., Tárrega R. & Luis-Calabuig E. (2000). Seed banks of *Erica australis* and *Calluna vulgaris* in a heathland subjected to experimental fire. *Journal of Vegetation Science*, 11(2) : 161-166.
- Wastiaux C. (2008). Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 50 : 57-66.
- Wu J. & Roulet N.T. (2014). Climate change reduces the capacity of northern peatlands to absorb the atmospheric carbon dioxide: The different responses of bogs and fens. *Global Biogeochemical Cycles*, 27 : 1005-1024.

ANNEXE 1. Système de classification de la composition de la tourbe (d'après [Troels-Smith, 1955](#))

Etat	Code	Nom	Description
<i>Substantia</i>	Sh	<i>S. humosa</i>	Substance humique, éléments microscopiques homogènes
<i>Turfa</i>	Tb	<i>T. bryophytica</i>	Fragments de mousses (Bryophytes)
	Th	<i>T. herbacea</i>	Fragments de plantes herbacées < 2 mm
	Tl	<i>T. lignosa</i>	Tiges et racines emmêlées de plantes ligneuses
<i>Detritus</i>	Dh	<i>D. herbosus</i>	Fragments de plantes herbacées > 2 mm