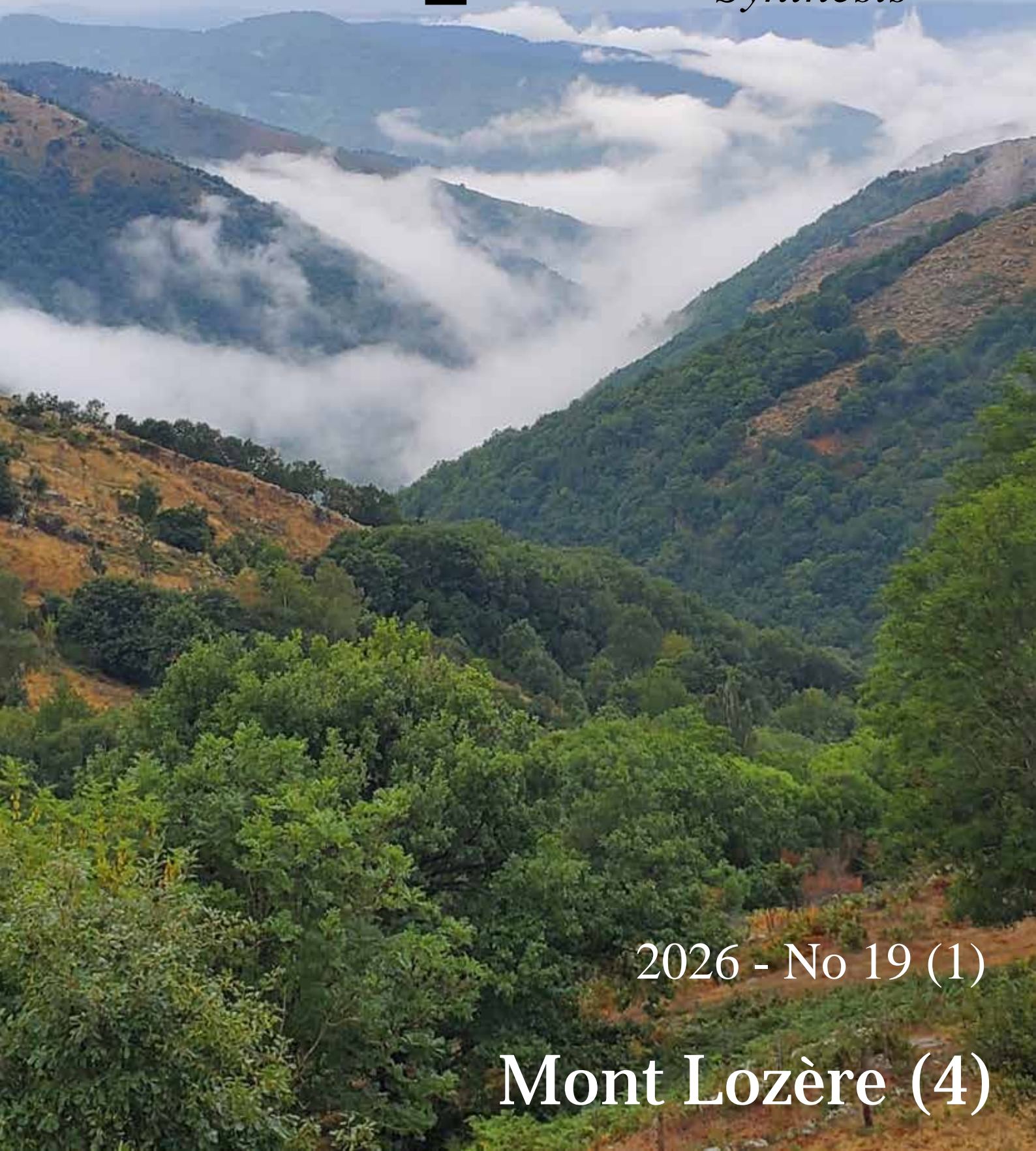


# Orpalm

*Synthesis*



2026 - No 19 (1)

Mont Lozère (4)

**Photo de couverture :** Jean-Frédéric Terral



## ORPAM Synthesis

Revue bisannuelle  
de Paléocologie  
n°19 (1) - Année 2026

Editeurs en chef  
Jean-Frédéric TERRAL<sup>1,2</sup>  
Serge MULLER<sup>1,2</sup>

Editeurs associés  
Laurent BREMOND<sup>1,3</sup>  
Ana EJARQUE<sup>1,4</sup>  
Camille HENRIET<sup>1,2</sup>  
Vincent MONTADE<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>ISEM, <sup>2</sup>UM, <sup>3</sup>EPHE, <sup>4</sup>CNRS

### Auteurs

Lucas BARDOU, Thiziri  
BELKACEMI, Thomas COUSIN,  
Ombeline HAVERLANT, Suad  
MAZOUNI, Jonathan PIROUD, Ylona  
RAMOND, Elisa ROUMIEU, Aksel  
SARRAZIN, Leïla SPIGARELLI,  
Aurore STEIN, Victor ZECCHINI

Travail éditorial  
Serge MULLER

Publication  
1<sup>er</sup> trimestre 2026  
Université de Montpellier

## ORPAM 2025-2026

### Entre nature et culture : le Parc national des Cévennes (PNC), gestionnaire d'un patrimoine unique et exceptionnel

L'école de terrain ORPAM est revenue dans les Cévennes du 27 au 29 août 2025 pour étudier, sur le site de la Combe des Cades, l'accumulation sédimentaire et l'enregistrement microfossile de zones tourbeuses alcalines – des raretés dans la région ! – et la dynamique de recolonisation du milieu environnant par le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et le pin noir d'Autriche (*P. nigra* subsp. *nigra*).

Les travaux présentés dans ce numéro ont été initiés par Tom Rossignol (PNC, chargé de mission Natura 2000, service Connaissance et Veille du Territoire) et Yann Dissac (PNC, chargé de mission Biodiversité), tous deux à l'origine d'une convention signée entre le Parc national des Cévennes, l'Université de Montpellier, l'ISEM et le département Biologie-Ecologie de la Faculté des Sciences.

Créé en 1970, le Parc national des Cévennes est l'un des onze parcs nationaux français et le seul situé en zone de moyenne montagne habitée. S'étendant sur trois départements – la Lozère, le Gard et l'Ardèche – il couvre un vaste territoire de plus de 3700 km<sup>2</sup>, dont près de 900 km<sup>2</sup> en cœur de parc. Ce parc se distingue par la richesse de sa biodiversité, l'omniprésence humaine et un patrimoine culturel exceptionnel. Sa création s'inscrit dans le mouvement de préservation des espaces naturels en France dans les années 1960. Toutefois, sa genèse est particulière : contrairement aux autres parcs nationaux, il a été conçu non pas comme un espace sauvage isolé, mais comme un territoire habité, façonné depuis des siècles par l'agro-pastoralisme. Le projet a donc dû concilier préservation de la nature et maintien des activités humaines traditionnelles, notamment l'élevage, la châtaigneraie et la transhumance.

Depuis sa création, le parc a su évoluer. Il a été reconnu Réserve de biosphère par l'UNESCO en 1985, puis inscrit au patrimoine mondial en 2011 au titre des « paysages culturels de l'agro-pastoralisme méditerranéen ». Ces reconnaissances soulignent l'importance du rôle joué par les habitants dans la construction de paysages durables.

Le Parc des Cévennes est aujourd'hui un laboratoire vivant d'un développement durable enraciné dans son territoire. Il s'efforce de préserver les écosystèmes tout en soutenant les populations locales. L'une de ses grandes réussites est la réintroduction d'espèces emblématiques : le vautour fauve, le gypaète barbu, le cerf ou encore le castor ont retrouvé leur place dans cet environnement. De même, le parc accueille l'un des derniers noyaux français de mouflons méditerranéens et de vautours moines.

L'évolution des pratiques agricoles est également un enjeu majeur : les programmes agri-environnementaux visent à accompagner les exploitants vers des méthodes plus respectueuses de la nature, tout en valorisant les produits locaux (fromages, miels, châtaignes). Le parc joue aussi un rôle actif dans la recherche – notre

collaboration en est un exemple évocateur –, l'éducation à l'environnement et l'écotourisme.

Ce qui rend le Parc national des Cévennes unique, c'est son caractère habité et la diversité de ses paysages. Des vallées cévenoles encaissées aux vastes plateaux des Causses en passant par les crêtes du Mont Lozère culminant à 1699 m (sommet de Finiels), le territoire est un condensé de reliefs, de microclimats et de milieux naturels. La faune et la flore y sont remarquablement diversifiées : plus de 2400 espèces de plantes, près de 200 espèces d'oiseaux nicheurs, de nombreuses espèces de chauves-souris et d'insectes rares y trouvent refuge.

Sur le plan humain, le parc est profondément lié à l'histoire des camisards et aux luttes religieuses du 17<sup>e</sup> siècle, visibles à travers les nombreux temples, sentiers et mémoriaux. Il est donc un haut lieu de la culture protestante et de la résistance aux formes d'uniformisation culturelle.

Finalement, la vocation du Parc national des Cévennes est double : protéger un patrimoine naturel et culturel exceptionnel, et permettre aux populations locales de vivre et de se développer dans le respect de la biodiversité. Sa charte, adoptée en 2013, formalise cet engagement partagé entre l'État, les collectivités et les habitants. Elle encourage un tourisme doux, des pratiques agricoles durables, la transmission des savoir-faire, et l'innovation dans les énergies renouvelables ou la gestion forestière.

Enfin, le parc se veut un espace de dialogue, un territoire-pilote où s'expérimentent de nouvelles formes de coopération entre les acteurs publics, privés et associatifs, pour construire un avenir conciliant nature, culture et économie.

« *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 Master 1 Chrono-environnements et paléoécologie (CEPAGE), les travaux d'ORPAM restent évidemment perfectibles. Toutefois, cette perfectibilité s'efface largement devant le bilan méthodologique, scientifique et humain de cette école de terrain et du stage en laboratoire qui a suivi. La conduite d'ORPAM a su intégrer les multiples facettes du processus de la recherche fondamentale sans en perdre de vue la dimension humaine et tout en apportant une réelle plus-value pédagogique.

Un grand merci à Tom Rossignol, Yann Dissac, Sarah Le Saux, Alexandra Pit, le gîte d'étape municipal du Pont de Montvert, le café Le Commerce (Le Pont de Montvert) pour ses excellents repas et son ambiance chaleureuse, Charlène Delauze pour nous avoir facilité la vie, avant, pendant et après l'école de terrain. Merci à l'Université de Montpellier, au département Biologie – Ecologie et à l'ISEM, trois incubateurs de l'innovation pédagogique et de l'interaction recherche-enseignement.

L'équipe pédagogique était cette année constituée de : Camille Henriet, Nicolas Moureau, Serge Muller, Jean-Frédéric Terral (encadrement terrain et laboratoire), Laurent Bremond, Anna Ejarque et Vincent Montade (évaluation).

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



Carlina à feuilles d'acanthé ou chardon des Causses, Cardabelle dans la région des Grands Causses.

*Carlina acanthifolia*, Asteraceae

Combe des Cades



*L'équipe des fins limiers d'ORPAM, ces fameux paléodétectives dits « les Sherlock Holmes des tourbières », prêts à s'attaquer aux mystères enfouis de la combe perdue. Ils ne payent pas de mine, comme ça au premier regard, avec les trois pépés du fond, leurs signes de gang et leurs chaussettes rouges. Mais les questions se bousculent dans leurs cerveaux en ébullition : Où est donc passé le cade, nom d'un genévrier ? Le pin noir est-il complet ou aux graines ? La mousse disparue était-elle bien fraîche ? Ben quoi, qu'est-ce qu'elles ont, mes chaussettes ?*

# 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<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> 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 2025-2026

## Mont Lozère (4) : combe des Cades

- Muller S.D., Henriot C. & Terral J.-F. : *Les zones tourbeuses alcalines de la Combe des Cades (Mont Lozère)* ..... 9
- Belkacemi T., Haverlant O. & Spigarelli L. : *Retracer la trajectoire écologique des tourbières de la Combe des Cades (Mont Lozère, Cévennes) : approche croisée de la sédimentologie et de l'analyse microfossile* ..... 23
- Bardou L., Roumieu E. & Stein A. : *Changements de végétation et anthropisation dans la Combe des Cades (Cévennes, France) : étude pollinique* ..... 39
- Piroud J., Ramond Y. & Sarrazin A. (2026). *Paléoenvironnements des tourbières de la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère) : étude des palynomorphes non polliniques* ..... 57
- Cousin T., Mazouni S. & Zecchini V. : *Installation et dynamique du pin noir d'Autriche (Pinus nigra subsp. nigra) et du pin sylvestre (P. sylvestris) dans la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère)* ..... 75



La succise des prés (*Succisa pratensis*, Caprifoliaceae) est une plante herbacée de prairie humide, commune dans toute la France sur substrat basique à légèrement acide.



# LES ZONES TOURBEUSES ALCALINES DE LA COMBE DES CADES (MONT LOZERE)

Serge D. Muller <sup>1</sup>, Camille Henriet, Jean-Frédéric Terral

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

<sup>1</sup> serge.muller@umontpellier.fr

*Citation* : Muller S.D., Henriet C. & Terral J.-F. (2026). Les zones tourbeuses alcalines de la Combe des Cades (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 9-21.

---

**Résumé** : Les zones tourbeuses de la Combe des Cades sont aujourd'hui fortement dégradées par l'agriculture et le pâturage. Les milieux résiduels arborent une flore composée à seulement 60% de plantes hygro-hydrophiles, mais comprenant plusieurs espèces calcicoles. Les datations obtenues indiquent l'existence de ruisseaux depuis probablement la fin de la dernière glaciation et donnent des âges récents, inférieurs à 3000 ans, pour les dépôts argilo-tourbeux. Les analyses paléoécologiques révèlent toutefois la l'occurrence passée d'espèces actuellement absentes du site, comme *Carex riparia*, *Meesia triquetra* et *Rhynchospora alba*.

**Mots clés** : Massif central, Parc National des Cévennes, paléoécologie, extinctions locales

**Abstract**: *The alkaline peatlands of Combe des Cades (Mont Lozère)*. The peatlands of Combe des Cades are today strongly degraded by agriculture and grazing. The residual habitats harbor a flora composed of only 60% hygro-hydrophilous plants, including several calcicolous species. The obtained dating indicates the existence of streams since probably the end of the last glaciation and gives recent ages, less than 3000 years, for clayey-peaty deposits. Palaeoecological analyses however reveal the past occurrence of species lacking today in the site, such as *Carex riparia*, *Meesia triquetra* and *Rhynchospora alba*.

**Keywords**: Massif central, Cévennes National Park, palaeoecology, local extinctions

**L**e Mont Lozère, le plus élevé des reliefs granitiques cévenols, est bordé à l'ouest par deux causses calcaires : le causse de Sauveterre et le causse Méjean. A leur contact, se trouvent de petits vallons, réunis sous la dénomination de « Combe des Cades », qui arborent des zones humides plus ou moins alcalines, en grande partie cultivées ou pâturées. Les quelques vestiges de végétation hydrophile naturelle abritent quelques raretés régionales, comme la laïche basiphile *Carex davalliana*.

Ces milieux originaux ont intrigué T. Rossignol et Y. Dissac, chargés de mission

au Parc national des Cévennes, qui nous ont contactés dans le but d'étudier leur histoire. L'objectif de la session 2025-2026 d'ORPAM est donc de rechercher des renseignements sur l'histoire de ces milieux, en essayant dans la mesure du possible d'en dater l'origine et d'en préciser les dynamiques écologiques passées, en lien avec les activités anthropiques. Les résultats attendus devraient permettre de préciser, sinon l'état initial du site, au moins les cortèges floristiques passés, et d'en inférer l'état de dégradation actuel.

Les zones humides résiduelles, situées à l'extrémité des champs, présentent encore une

végétation hygro-hydrophile et des dépôts relativement profonds. La présente note introductive regroupe les données floristiques, topographiques et chronologiques (datations radiocarbone) acquises dans le cadre du module ORPAM 2025-2026 et, pour partie, de la thèse de C. Henriet.

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Inventaires et relevés de végétation

Des inventaires floristiques ont été faits sur 6 zones humides (Fig. 1 ; Table 1) et des relevés phytosociologiques ont été effectués selon la

méthode de [Braun-Blanquet \(1932\)](#) sur les zones 1 (moliniaie), 5 (frênaie) et 6 (jonçaille), qui ont été étudiées par les étudiants d'ORPAM. Les indices de recouvrement utilisés sont : +, quelques individus ; 1, 0-5 % ; 2, 5-25 % ; 3, 25-50 % ; 4, 50-75 % ; 5, 75-100 % ; x, présence non quantifiée.

Les identifications ont été réalisées à l'aide de l'*Atlas des Charophytes d'Europe* ([Schubert et al., 2024](#)), des deux premiers tomes de la *Flore des Bryophytes de France* ([Hugonnot & Chavoutier, 2021, 2025](#)) et de *Flora Gallica* ([Tison & de Foucault, 2014](#)).

Table 1. Coordonnées GPS et altitude des milieux étudiés

Nom	Végétation	Latitude N	Longitude E	Altitude (m)
CDC1	Moliniaie	44°25'02''	03°33'57''	1034
CDC2	Pré humide	44°24'54''	03°33'57''	1021
CDC3	Mégaphorbiaie	44°24'51''	03°34'21''	1045
CDC4	Gouille à <i>Chara</i>	44°24'39,6''	03°34'31,0''	1032
CDC5	Frênaie à eupatoire	44°24'42''	03°34'18''	1009
CDC6	Jonçaille-cariçaille	44°24'41''	03°34'28''	1028

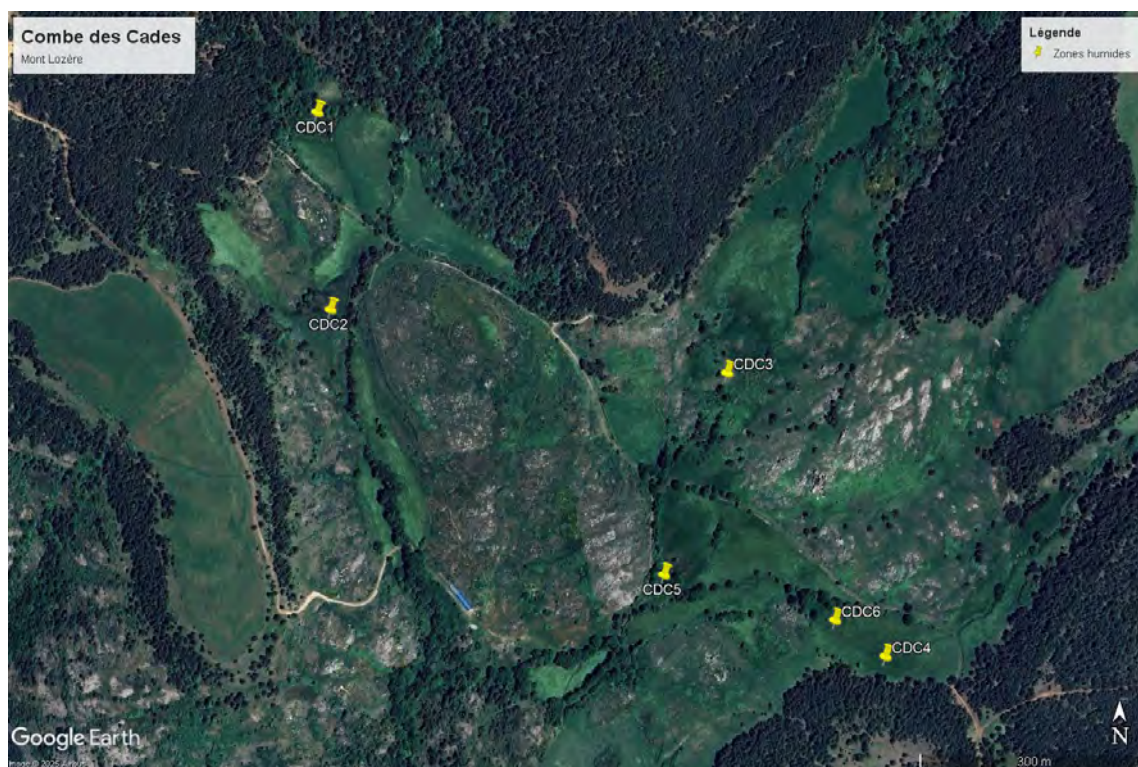


Figure 1. Zones humides de la Combe des Cades

## 2- Topographie et pachymétrie

Les étudiantes et étudiants ont réalisé des mesures topographiques et pachymétriques (profondeurs) le long de plusieurs transects, afin de pouvoir reconstituer les profils en long des trois zones étudiées.

## 3- Carottage

Deux carottages ont été réalisés le 18 juin 2025 dans les zones 1 et 5, et un troisième a été prélevé le 27 août dans la zone 6.

## 4- Datations radiocarbone

6 échantillons de sédiment ont été prélevés sur les trois séquences extraites en juin (CDC1 et CDC5) et en août (CDC6), et envoyés pour datation au laboratoire radiocarbone de Poznan. Les âges étalonnés ont été calculés à l'aide du logiciel Calib 8.1.0 (Stuiver & Reimer, 1993), en utilisant le référentiel IntCal20 (Reimer et al., 2020).

## 5- Analyse macrofossile

Une analyse macrofossile a été réalisée, en plus de l'étude sédimentologique, par Belkacemi et al. (2026). La découverte de nombreux akènes de *Carex* a été l'occasion de tester deux méthodes d'identification en cours d'élaboration (S. Ivorra & S.D. Muller, non publié). La première méthode utilise des analyses géométriques basées sur la transformée elliptique de Fourier, développée pour comparer des contours fermés (Kuhl & Giardina, 1982) et appliquée avec succès aux fruits et aux graines de plusieurs arbres (par exemple, Terral et al., 2004, 2010, 2011). La seconde méthode consiste en une clé d'identification basée sur des critères morphologiques et dimensionnels simples (section, symétrie, longueur, largeur). La comparaison des deux méthodes permet d'évaluer la fiabilité de la résolution taxonomique des identifications.

## RESULTATS

### 1- Datations radiocarbone

Les datations radiocarbone réalisées sont présentées Table 2. Les dates de la séquence CDC6, non disponibles lors de la rédaction des différents articles, révèlent un âge des dépôts basaux qui remonterait à la fin du Pléistocène. Toutefois, la très faible quantité de carbone présente dans l'échantillon se traduit par une grande incertitude et rend cette date douteuse. Par conséquent, seules les dates des séquences CDC1 et CDC5 ont été utilisées pour construire des modèles d'âge (Fig. 2). Les deux modèles montrent la classique accélération apparente du taux d'accumulation sédimentaire au cours du temps, qui peut être attribuée à la réduction conjointe de la compaction et de la décomposition du matériel organique.

### 2- Topographie et pachymétrie

Les profils topographiques et pachymétriques sont présentés Figure 3. La profondeur maximale (3,06 m) a été atteinte à CDC6, en dehors du transect illustré.

### 3- Données floristiques

Le référentiel de la végétation actuelle des sites est issu d'inventaires floristiques réalisés à l'échelle des sites lors de la session de terrain de prospection (23.10.2024) et du stage de terrain ORPAM (28.08.2025), et de relevés phytosociologiques réalisés dans le cadre de la thèse de C. Henriot sur des quadrats de 16 m<sup>2</sup> (18.06.2025). La Table 3 combine l'ensemble des données recueillies.

### 4- Identification des akènes de *Carex*

Les akènes de *Carex* trouvés dans les dépôts sédimentaires de CDC1, CDC5 et CDC6 sont illustrés Figure 4. La présence de l'utricule autour des akènes 2 et 4 a permis de les attribuer à *C. echinata*. L'identification (Table 4) a été réalisée selon deux méthodes :

- La méthode de morphométrie géométrique, appliquée sur les akènes normalisés séparés selon leur section

(lenticulaire ou triangulaire)

- L'utilisation d'une clé d'identification en cours d'élaboration.

Les cases surlignées en vert dans la **Table 4** pointent les identifications cohérentes entre les deux méthodes. 57% des identifications apparaissent ainsi robustes, et concernent des morphotypes représentés dans la végétation actuelle par les espèces citées ci-dessous entre parenthèse : *C. demissa*-type (*C. demissa*, *C. lepidocarpa*), *C. echinata*-type (*C. echinata*), *C. limosa*-type (*C. panicea*) et *C. nigra*-type (*C. nigra*).

En revanche, les autres morphotypes identifiés (4 akènes) sont actuellement absents du site :

*Carex acutiformis-mairei*. L'akène 27 est attribué à ce morphotype en raison de sa forme effilée et de sa longueur excédant

1,6 mm. Il s'agit probablement d'un akène écrasé, correspondant à *C. demissa*-type.

*Carex cf. hostiana* (*C. hispida*-type). L'akène 28 est attribué à ce morphotype en raison de sa longueur légèrement supérieure à 1,5 mm. Il entre toutefois dans la variabilité du morphotype *C. demissa*-type, auquel il appartient probablement.

*Carex cf. laevigata* (*C. hispida*-type). L'akène 17, attribué à ce morphotype en raison de son asymétrie longitudinale et de sa longueur légèrement supérieure à 1,5 mm, correspond probablement également à un akène déformé de *C. demissa*-type.

*Carex riparia*. L'akène 14 est identifié grâce à sa taille excédant 2,7 mm. Une confusion est peu probable, et cette espèce a pu être présente sur le site dans le passé.

Table 2. Datations radiocarbone des séquences étudiées de la Combe des Cades. Les âges BP (before present) sont donnés avant 1950 et correspondent aux mesures radiocarbone. Les âges notés « cal. » sont en années calendaires avant 1950 (BP), avant l'ère commune (AEC) ou de l'ère commune (EC).

Carotte	Code Labo	Prof. (cm)	Age BP	Age cal. BP	Age cal. AEC/EC
CDC1B	Poz-199074	99-100	840 ± 30	790-680	1160-1270 EC
CDC1B	Poz-199273	187-188	2490 ± 30	2720-2440	770-490 AEC
CDC5B	Poz-199075	125-126	205 ± 30	300-0	1650-1950 EC
CDC5B	Poz-199274	176-177	1190 ± 30	1240-1000	710-950 EC
CDC6B	Poz-202606	139-140	1235 ± 30	1270-1070	680-480 EC
CDC6D	Poz-203058	304-305	17100 ± 2600	26000-14320	-

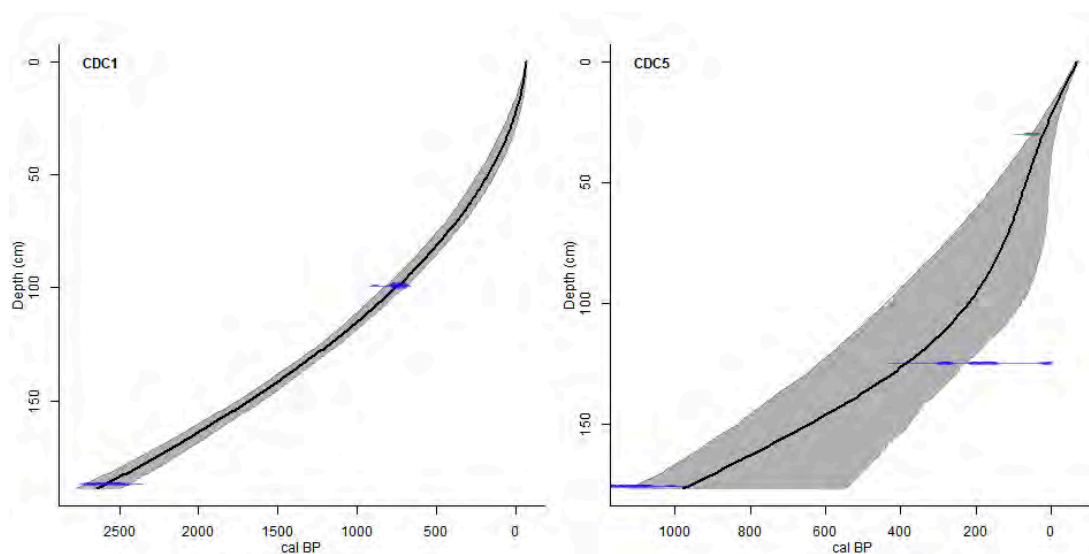
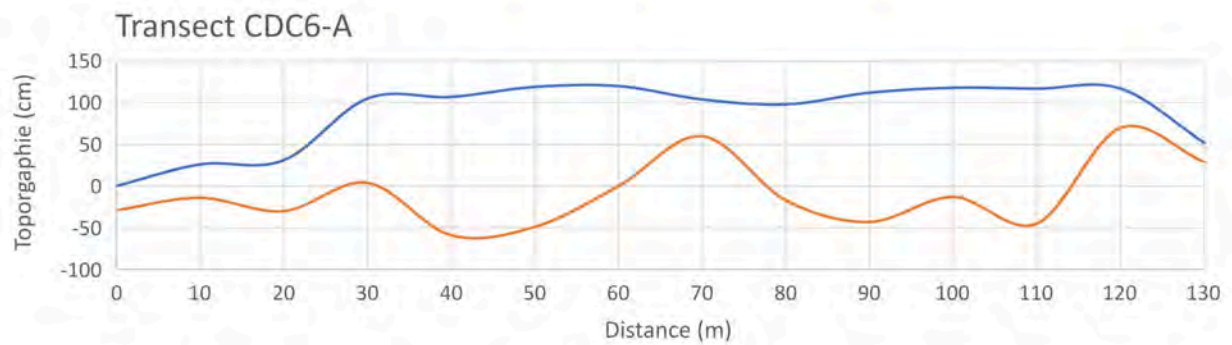
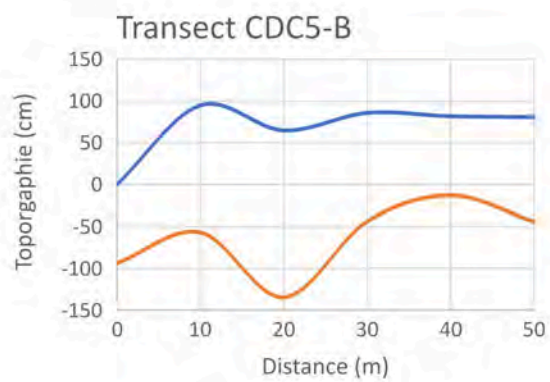
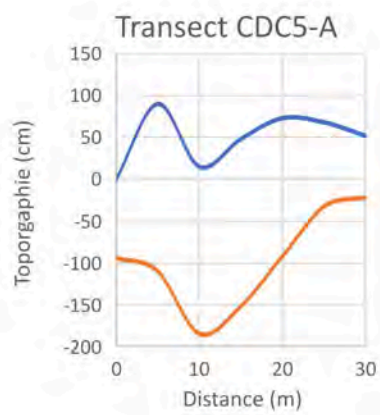
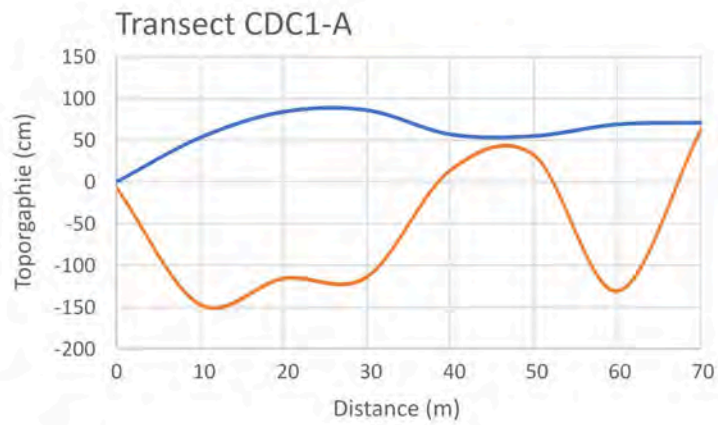


Figure 2. Modèles d'âge des sites CDC1 et CDC5 (Combe des Cades, Mont Lozère)



*Figure 3. Profils en long des trois tourbières étudiées.  
En bleu, topographie de surface ; en orange, topographie des dépôts sous-jacents.*

Table 3. Données floristiques actuelles : relevés phytosociologiques en grisé ; inventaires floristiques en blanc.

Groupe	Espèce	Famille	CDC1	CDC2	CDC3	CDC4	CDC5	CDC6
<b>Charophytes</b>	<i>Chara vulgaris</i> L.	Characeae				x		
<b>Bryophytes</b>	<i>Amblystegium serpens</i> (Hedw.) Schimp.	Amblystegiaceae	1					
	<i>Apopellia endiviifolia</i> (Dicks.) Nebel & D.Quandt	Pelliaceae	1		x		2	
	<i>Brachythecium rivulare</i> Schimp.	Brachytheciaceae	1				+	
	<i>Calliergonella cuspidata</i> (Hedw.) Loeske	Pylaisiaceae	1-2		x	x	2	2
	<i>Campylium stellatum</i> (Hedw.) Lange & C.E.O.Jensen	Amblystegiaceae	1					
	<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	Dicranaceae	1					
	<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce	Amblystegiaceae	1		x		1	
	<i>Fissidens taxifolius</i> Hedw.	Fissidentaceae	1				1	
	<i>Philonotis seriata</i> Mitt.	Bartramiaceae	1					
	<i>Plagiomnium affine</i> (Blandow ex Funck) T.J.Kop.	Mniaceae	1-2			x	1	+
	<i>Ptychostomum capillare</i> (Hedw.) Holyoak & N.Pedersen	Bryaceae	1					
	<i>Ptychostomum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) J.R.Spence & H.P.Ramsay	Bryaceae	1			x	1	
<b>Monilophytes</b>	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth.	Woodsiaceae	1					
	<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P.Fuchs	Dryopteridaceae	1					
	<i>Equisetum arvense</i> L. subsp. <i>arvense</i>	Equisetaceae	1	x	x		2	1
<b>Gymnospermes</b>	<i>Juniperus communis</i> L.	Cupressaceae	1					
	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pinaceae	1					
<b>Monocots</b>	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Poaceae					1	
	<i>Arrhenaterum elatius</i> (L.) P.Beauv.	Poaceae					1	
	<i>Briza maxima</i> L.	Poaceae					1	
	<i>Briza media</i> L.	Poaceae	1	x				+
	<i>Bromopsis erecta</i> (Huds.) Fourr.	Poaceae	2				1	
	<i>Carex davalliana</i> Sm.	Cyperaceae	1			x		
	<i>Carex demissa</i> Hornem.	Cyperaceae						1-2
	<i>Carex echinata</i> Murray	Cyperaceae	1					1
	<i>Carex flacca</i> Schreb.	Cyperaceae	1					
	<i>Carex hirta</i> L.	Cyperaceae	2					
	<i>Carex lepidocarpa</i> Tausch	Cyperaceae	4					
	<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	Cyperaceae						1
	<i>Carex panicea</i> L.	Cyperaceae	2					
	<i>Colchicum autumnale</i> L.	Colchicaceae	1		x		+	+
	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Poaceae			x			
	* <i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soó	Orchidaceae	1					+
	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv.	Poaceae		x	x			
	<i>Holcus lanatus</i> L.	Poaceae	1	x			1	1
	<i>Juncus acutiflorus</i> Ehrh.	Juncaceae	5	x	x		5	5
	<i>Juncus bulbosus</i> L.	Juncaceae	1					1

	<i>Juncus effusus</i> L.	Juncaceae	1	x	x		
	<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	Poaceae	4	x	x	+	5
	<i>Nardus stricta</i> L.	Poaceae			x		
	<i>Poa trivialis</i> L.	Poaceae				2	
	<i>Schedonorus arundinaceus</i> (Schreb.) Dumort. subsp. <i>arundinaceus</i>	Poaceae	1				
<b>Eudicots</b>	<i>Ajuga reptans</i> L.	Lamiaceae					
	<i>Betula pendula</i> Roth.	Betulaceae				+	
	<i>Caltha palustris</i> L.	Ranunculaceae				1	
	<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	Asteraceae	1-2	x	x	+	1
	<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench	Asteraceae				1	
	<i>Epilobium angustifolium</i> L.	Onagraceae	1-2			1	1
	<i>Epilobium roseum</i> Schreb.	Onagraceae	1	x		+	+
	<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	Asteraceae	1			5	3-4
	<i>Filipendula vulgaris</i> Moench	Rosaceae	+		x	+	1
	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Oleaceae	2		x	3	
	<i>Galium mollugo</i> L.	Rubiaceae	1		x	4	
	<i>Galium verum</i> L.	Rubiaceae			x		
	<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Fabaceae	1	x		1	2
	<i>Lotus pedunculatus</i> Cav.	Fabaceae				2	
	<i>Mentha longifolia</i> (L.) L.	Lamiaceae					
	<i>Parnassia palustris</i> L.	Celastraceae	1			+	1
	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantaginaceae					+
	<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rauschel	Rosaceae	1			1	1-2
	<i>Potentilla reptans</i> L.	Rosaceae	+	x	x		
	<i>Prunella vulgaris</i> L.	Lamiaceae	1	x			+
	<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh.	Asteraceae	+				
	* <i>Pulmonaria longifolia</i> (Bastard) Boreau subsp. <i>cebennensis</i> Bolliger	Boraginaceae				1	
	<i>Ranunculus acris</i> L.	Ranunculaceae	1		x		1
	<i>Rhamnus cathartica</i> L.	Rhamnaceae	1				
	<i>Rosa canina</i> L.	Rosaceae	1				
	<i>Rubus fruticosus</i> L.	Rosaceae	1		x	+	
	<i>Salix caprea</i> L.	Salicaceae			x	1	
	<i>Sambucus racemosa</i> L.	Adoxaceae			x		
	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	Rosaceae	1	x		+	2
	<i>Solanum dulcamara</i> L.	Solanaceae			x		
	<i>Viola</i> sp.	Violaceae	1			+	2
	<i>Viola tricolor</i> L.	Violaceae				1	

\* Les espèces signalées par une astérisque n'ont été vues qu'à l'état stérile, et leur identification correspond au taxon le plus probable. Mais il pourrait s'agir également de *Dactylorhiza maculata* et *Pulmonaria affinis*.

Table 4. Identification des akènes de *Carex fossiles*. La numérotation est la même que celle de la Figure 4. Le code des akènes comprend la section (2 faces/3 faces), le code du site et la profondeur (en cm). Les différentes méthodes d'identification sont explicitées dans le texte. Les âges sont donnés en années calendaires de l'ère commune (EC), avec leur intervalle de confiance.

N°	Code akène	Age EC	Intervalle	Utricule	Géométrie	Clé d'identification	Morphotype et espèces probables
1	3F_CDC1-152-153	220	150-310		<i>C. hostiana</i>	<i>C. demissa</i> -type	<i>C. demissa</i> -type : <i>C. demissa-lepidocarpa</i>
2	2F_CDC5_27-28	1940	1910-1960	<i>C. echinata</i>	<i>C. echinata</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i>
3	2F_CDC5_32-33	1920	1890-1960		<i>C. nigra</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
4	2F_CDC5_57-58	1870	1770-1940	<i>C. echinata</i>	<i>C. paniculata</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i>
5	2F_CDC5_77-78	1820	1660-1920		<i>C. echinata</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i> -type: <i>C. echinata</i>
6	2F_CDC5_97-98	1740	1530-1880		<i>C. canescens</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i> -type: <i>C. echinata</i>
7	2F_CDC5_107-108a	1690	1460-1840		<i>C. canescens</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i> -type: <i>C. echinata</i>
8	2F_CDC5_107-108b	1690	1460-1840		<i>C. nigra</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
9	2F_CDC5_107-108c	1690	1460-1840		<i>C. echinata</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i> -type: <i>C. echinata</i>
10	2F_CDC5_107-108d	1690	1460-1840		<i>C. chordorrhiza</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i> -type: <i>C. echinata</i>
11	2F_CDC5_117-118	1630	1390-1770		<i>C. davalliana</i>	<i>C. echinata</i> -type	<i>C. echinata</i> -type: <i>C. echinata</i>
12	2F_CDC5_127-128	1550	1320-1710		<i>C. cespitosa</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
13	3F_CDC5_67-68	1840	1710-1940		<i>C. lasiocarpa</i>	<i>C. demissa</i> -type	<i>C. demissa</i> -type : <i>C. demissa-lepidocarpa</i>
14	3F_CDC5_127-128	1550	1320-1710		<i>C. vesicaria</i>	<i>C. riparia</i>	<i>C. riparia</i>
15	3F_CDC5_147-148	1340	1140-1590		<i>C. rostrata</i>	<i>C. limosa</i> -type	<i>C. limosa</i> -type: <i>C. panicea</i>
16	3F_CDC5_157-158	1220	1050-1530		<i>C. lepidocarpa</i>	<i>C. demissa</i> -type	<i>C. demissa</i> -type
17	3F_CDC5_160-161	1190	1020-1510		<i>C. flava</i>	<i>C. hispida</i> -type	<i>C. demissa</i> -type : <i>C. demissa-lepidocarpa</i>
18	3F_CDC5_167-168	1100	950-1470		<i>C. limosa</i>	<i>C. limosa</i> -type	<i>C. limosa</i> -type: <i>C. panicea</i>
19	2F_CDC6_56-57	–	–		<i>C. elata</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
20	2F_CDC6_64-65a	–	–		<i>C. nigra</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
21	2F_CDC6_64-65b	–	–		<i>C. nigra</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
22	2F_CDC6_64-65c	–	–		<i>C. cespitosa</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
23	2F_CDC6_64-65d	–	–		<i>C. cespitosa</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
24	2F_CDC6_64-65e	–	–		<i>C. cespitosa</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
25	2F_CDC6_64-65f	–	–		<i>C. cespitosa</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
26	2F_CDC6_64-65g	–	–		<i>C. cespitosa</i>	<i>C. nigra</i> -type	<i>C. nigra</i> -type : <i>C. nigra</i>
27	3F_CDC6_40-41	–	–		<i>C. buxbaumii</i>	<i>C. acutiformis-mairei</i>	<i>C. demissa</i> -type : <i>C. demissa-lepidocarpa</i>
28	3F_CDC6_72-73	–	–		<i>C. hostiana</i>	<i>C. rostrata</i> -type	<i>C. demissa</i> -type : <i>C. demissa-lepidocarpa</i>

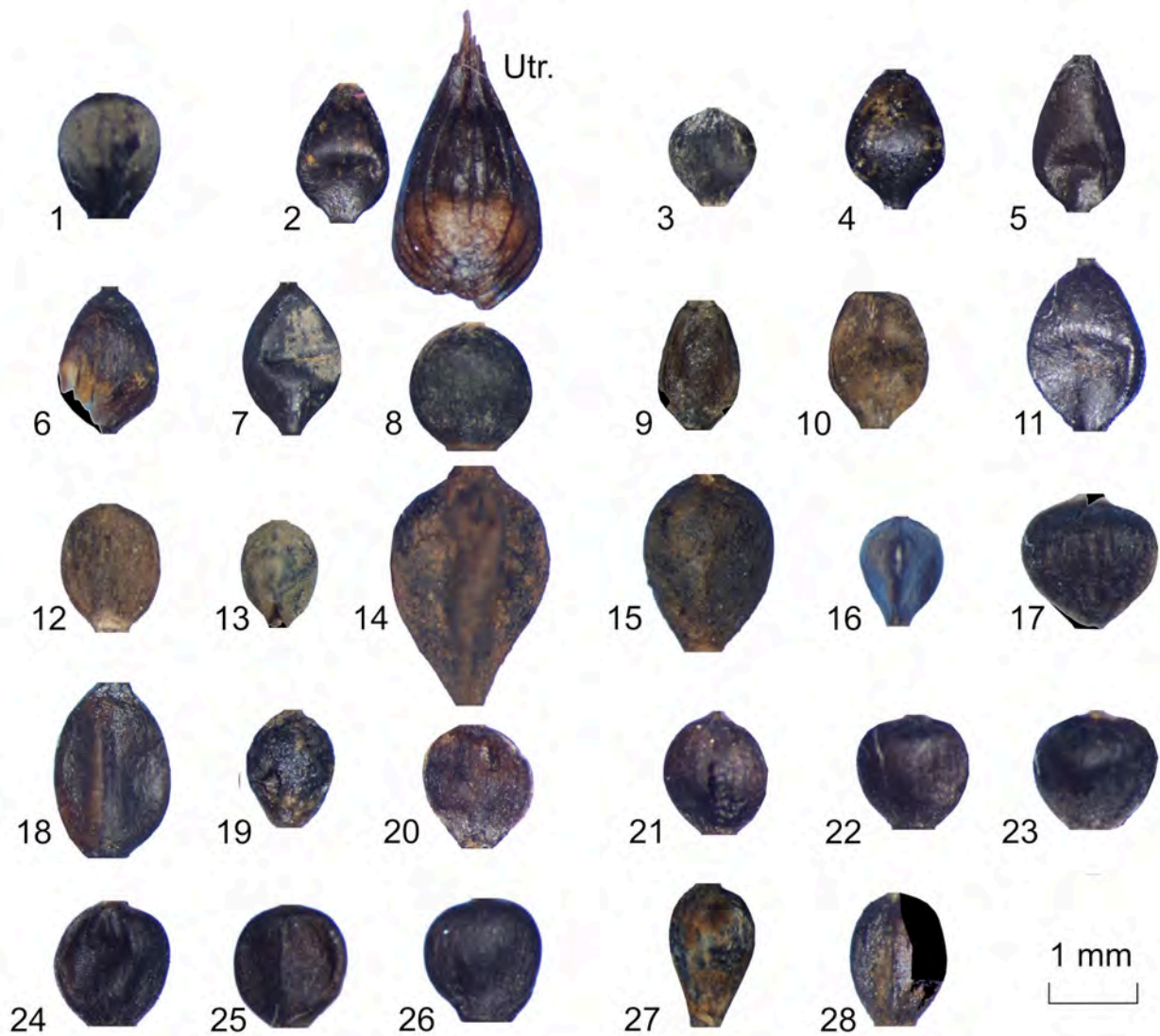


Figure 4. Akènes de *Carex* fossiles de la Combe des Cades

## DISCUSSION

### 1- Végétation actuelle

Les trois missions de terrain réalisées ont permis de relever 76 espèces végétales, parmi lesquelles 1 algue, 12 Bryophytes (auxquelles il faut ajouter *Palustriella falcata* (Brid.) Hedenäs, relevée sur le site par P. Goubet en 2024 ; T. Rossignol & E. Sulmont, comm. pers.), 3 Monilophytes (prêles et fougères), 2 Gymnospermes, 25 Monocots et 32 Eudicots. Parmi ces espèces, 46 (60,5%) sont des

hydrophytes, incluant 12 hépatiques, mousses et fougères (15,8%), 13 herbacées de prairie humide (17,1%) et 8 herbacées de mégaphorbiaie (10,5%). Les autres sont des plantes mésophiles pouvant être rattachées à deux milieux : prairie mésophile (20 espèces ; 26,3%) et boisement de pin (17 espèces dont 9 ligneuses ; 22,4%). Le fait que ces plantes mésophiles représentent presque 40% de la flore inventoriée traduit clairement l'impact du pâturage, la proximité des bois et prairies alentours et l'afforestation des milieux. On peut noter que les pinèdes elles-même,

dominées par *Pinus nigra* subsp. *nigra*, *P. sylvestris* et *Juniperus communis* (Cousin et al., 2026), montrent clairement une dynamique forestière impliquant *Abies alba*, *Acer* spp., *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* et *Sorbus* spp.

L'originalité des zones humides de la Combe des Cades tient à la chimie neutro-alcaline des eaux, qui se détecte dans la composante calcicole de la flore (*Campylium stellatum*, *Carex davalliana*, *C. hirta*, *C. lepidocarpa*, *Chara vulgaris*, *Dactylorhiza fuchsii*, *Eriophorum latifolium*, *Ptychostomum pseudotriquetrum*), à laquelle on peut ajouter un contingent d'espèces indifférentes au substratum mais souvent communes sur calcaire (*Amblystegium serpens*, *Calliergonella cuspidata*, *Carex flacca*, *C. panicea*, *Equisetum arvense*, *Eupatorium cannabinum*, *Filipendula vulgaris*, *Galium* spp., *Mentha longifolia*, *Parnassia palustris*, *Philonotis seriata*, *Prunella vulgaris*...). Quelques espèces, qui présentent plutôt une affinité pour les substratums non carbonatés (*Athyrium filix-femina*, *Dryopteris carthusiana*, *Carex demissa*, *C. echinata*, *C. nigra*), traduisent la proximité géographique des habitats siliceux, qui prédominent sur le Mont Lozère.

## 2- Végétation passée

L'ensemble des données fossiles réunies (Bardou et al., 2026 ; Belkacemi et al., 2026 ; Piroud et al., 2026) révèle que la végétation locale de CDC5 fut dominée depuis 1000 ans par des Cyperaceae, appartenant en majorité au genre *Carex* (Fig. 5). Dans ce genre, les identifications réalisées confirment la présence ancienne de taxons encore représentés aujourd'hui :

- *Carex demissa*-type (*C. demissa*, *C. lepidocarpa*)
- *Carex echinata*-type (*C. echinata*)
- *Carex limosa*-type (*C. panicea*)
- *Carex nigra*-type (*C. nigra*)

Seul *Carex riparia*, dont la présence est attestée au 16<sup>e</sup> siècle à CDC5, semble avoir localement disparu. A noter que *C. davalliana*, pourtant présent aujourd'hui, n'a

pas été identifié dans le registre fossile.

Les données macrofossiles (Belkacemi et al., 2026) et polliniques (Bardou et al., 2026) attestent en outre la présence passée de nombreux taxons encore présents sur le site :

- Bryophytes : *Calliergonella cuspidata*, *Palustriella* cf. *falcata*, *Ptychostomum pseudotriquetrum*
- Monilophytes : *Dryopteris*-type
- Monocots : *Carex demissa*-type, *Carex echinata*-type, *Carex nigra*-type, *Glyceria*-type, *Juncus*
- Eudicots : Asteroideae, *Carduus*-type, *Centaurea nigra*-type, Cichorioideae, *Eupatorium cannabinum*, *Filipendula*, *Fraxinus*, *Galium*, Fabaceae, *Lotus*, *Mentha*-type, *Parnassia palustris*, *Potentilla erecta*-type, *Ranunculus*-type, *Salix*, *Sanguisorba officinalis*, *Succisa pratensis*

En revanche, d'autres taxons semblent avoir localement disparu. C'est notamment le cas de deux espèces rares :

- *Meesia triquetra* (L. ex Jolycl.) Ångstr., mousse calcicole en fort déclin en France (identification confirmée par V. Hugonnot), dont cette mention fossile correspondrait à la station française la plus méridionale connue à ce jour.
- *Rhynchospora alba* (L.) Vahl, connue à ce jour de seulement trois stations dans le Parc des Cévennes (T. Rossignol & E. Sulmont, comm. pers.).

C'est également le cas de quelques taxons plus communs, identifiés dans le pollen et/ou les macrorestes : *Alisma*-type, *Carex riparia*, *Comarum palustre*, *Persicaria*, *Potamogeton*, *Ranunculus* sect. *Batrachium*, *Sphagnum*, *Thalictrum*, *Typha latifolia*, *Typha/Sparganium* et *Valeriana officinalis*-type.

Le diagramme présenté Figure 6 suggère, en dépit du fait que la majorité des morphotypes identifiés sont encore présents aujourd'hui, qu'un changement aurait eu lieu à la fin du Moyen-âge, entre 1350 et 1550 EC. *Meesia triquetra*, *Potamogeton* et *Ranunculus* sect. *Batrachium* apparaissent d'ailleurs localement

à ce moment-là avant de disparaître au cours du 19<sup>e</sup> ou du 20<sup>e</sup> siècle. Le nombre relativement important de taxons ayant potentiellement disparu du site au cours des dernières décennies révèle l'ampleur des perturbations récentes d'origine anthropique subies par les tourbières de la Combe des Cades.

## CONCLUSION

Les zones humides de la Combe des Cades se présentent sous forme de petits vestiges situés

dans des zones peu exploitables, en général à l'extrémité des champs. La végétation hydrophile, comportant essentiellement des espèces de mégaphorbiaie et de prairie humide, est mêlée de nombreuses espèces provenant des pinèdes et des prairies de fauche environnantes. Certains milieux, en particulier CDC1, se sont révélés très perturbés : la réalisation des inventaires tenait de l'enquête policière, les plantes étant abruties et piétinées au point d'être difficilement identifiables.

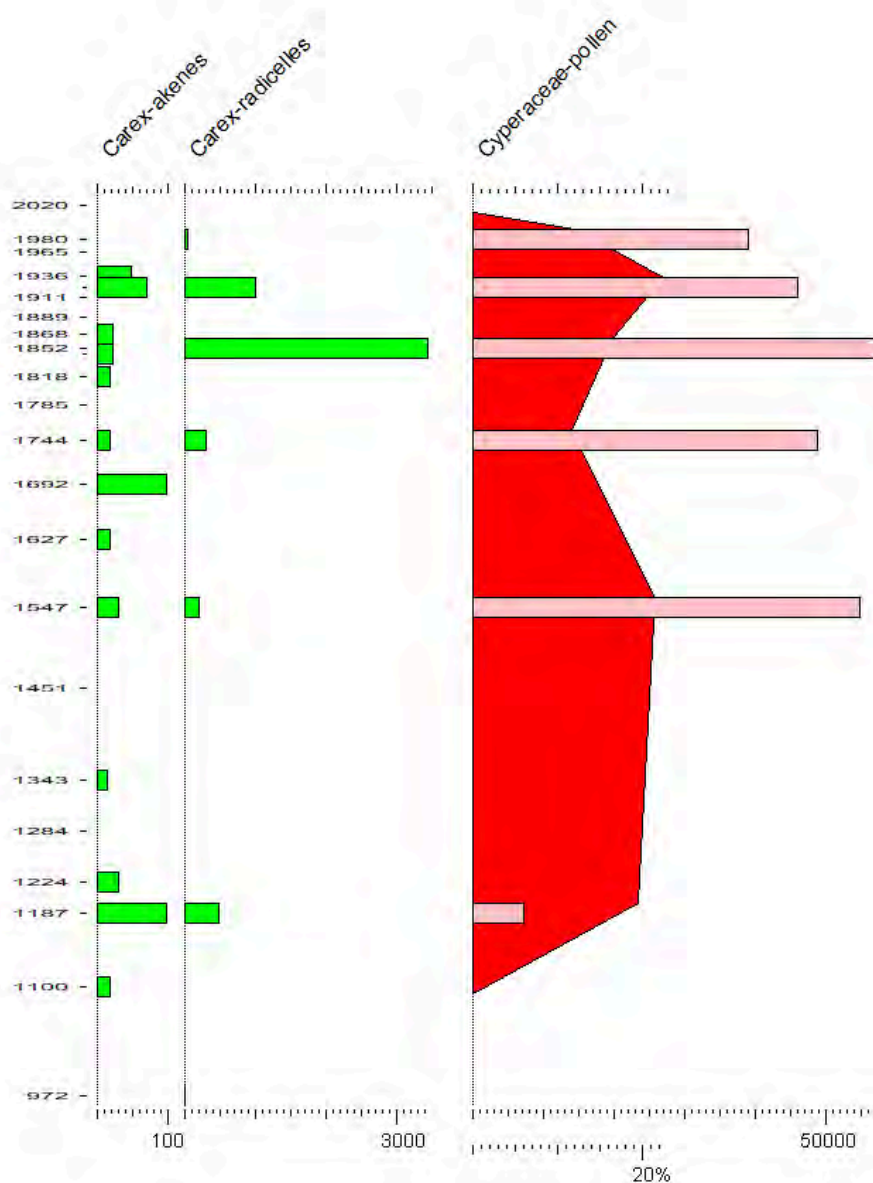


Figure 5. Diagramme en concentrations (histogrammes, en nb de particules/cm<sup>3</sup>) et en pourcentages polliniques (courbe) des restes fossiles de Cyperaceae dans la séquence CDC5. Les ordonnées donnent les âges en années de notre ère.

Les premiers résultats obtenus dans le cadre de la session ORPAM 2025 révèlent un passé relativement récent, remontant à l'âge du Fer pour CDC1 et au haut Moyen âge pour CDC5 et CDC6, ce qui est cohérent avec les données polliniques obtenues (Bardou et al., 2026). Ils permettent de reconstituer des milieux humides extrêmement originaux, abritant des raretés comme *Meesia triquetra* et *Rhynchospora alba* (Belkacemi et al., 2026), qui ont disparu assez récemment sous l'influence des activités athropiques, pourtant

déjà visibles il y a plus de mille ans (Piroud et al., 2026).

Ces résultats révèlent l'intérêt conservatoire majeur du site de la Combe des Cades, dont la mise en défens partielle pourrait permettre le retour d'une flore diversifiée et originale, constituée à la fois d'espèces calcicoles et calcifuges, qui peine actuellement à s'exprimer, mais qui occupait très probablement une grande partie des fonds de vallons avant leur exploitation.

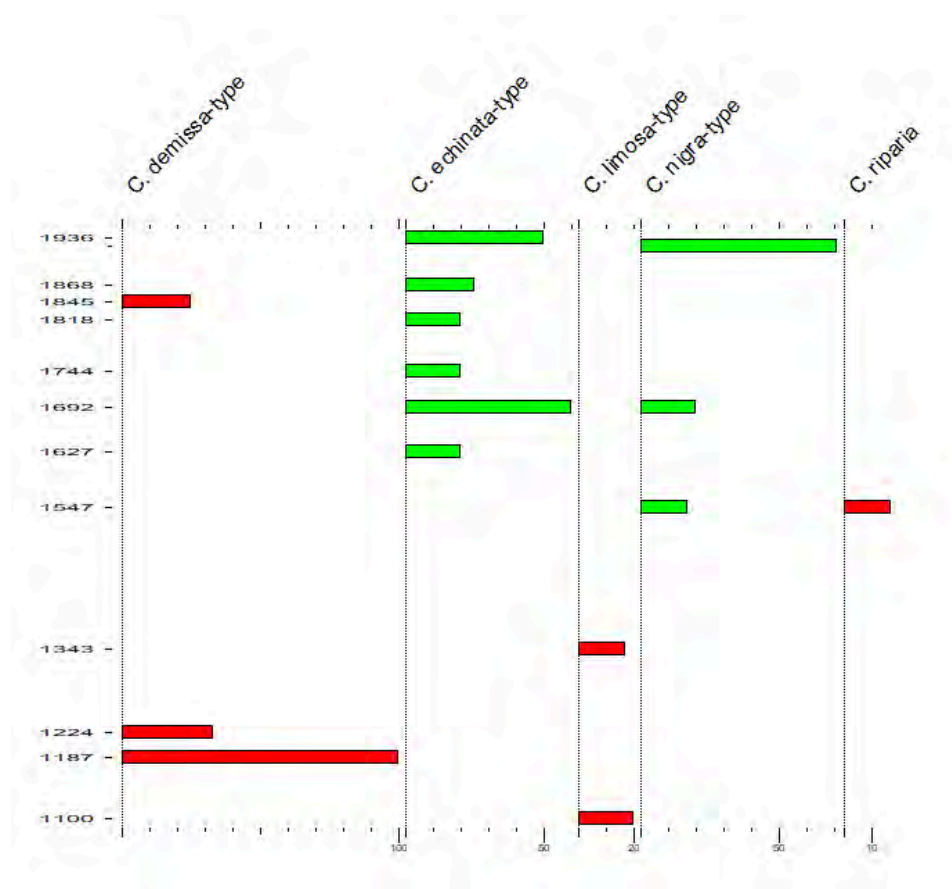


Figure 6. Diagramme macrofossile en concentrations (akènes/cm<sup>3</sup>) des morphotypes de Carex de CDC5. Les ordonnées donnent les âges en années de notre ère.

## REFERENCES

Bardou L., Roumieu E. & Stein A. (2026). Changements de végétation et anthropisation dans la Combe des Cades (Cévennes, France) : étude pollinique. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 39-55.

Belkacemi T., Haverlant O. & Spigarelli L. (2026). Dynamique hydrologique et

succession végétale des fens alcalins de la Combe des Cades (Parc National des Cévennes) : approche croisée de la sédimentologie et de l'analyse macrorestes. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 23-38.

Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community*. McGraw Hill Book, New York, 432 p.

Cousin T., Mazouni S. & Zecchini V. (2026).

- Installation et dynamique du pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) et du pin sylvestre (*P. sylvestris*) dans la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 75-89.
- Hugonnot V. & Chavoutier L.C. (2021). *Les Bryophytes de France, vol. 1. Anthocérotes et Hépatiques*. Biotope, Mèze & Muséum d'Histoire Naturelle, Paris, 652 p.
- Hugonnot V. & Chavoutier L.C. (2025). *Les Bryophytes de France, vol. 2. Pleurocarpes et Sphagnales*. Biotope, Mèze & Muséum d'Histoire Naturelle, Paris, 736 p.
- Kuhl F.P. & Giardina C.R. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer graphics and image processing*, 18 : 236-258.
- Piroud J., Ramond Y. & Sarrazin A. (2026). Paléoenvironnements des tourbières de la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère) : étude des palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 57-74.
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. & Talamo S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62 : 725.
- Schubert H., Blindow I., Nat E., Korsch H., Gregor T., Denys L., Stewart N., van de Weyer K., Romanov R. & Casanova M.T. (2024). *Charophytes of Europe*. Springer, Cham, Suisse.
- Stuiver M. & Reimer P.J. (1993). Extended <sup>14</sup>C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- Terral J.-F., Alonso N., Buxó i Capdevila R., Chatti N., Fabre L., Fiorentino G., Marinval P., Pérez Jordá G., Pradat B., Rovira N. & Alibert P. (2004). Historical biogeography of olive domestication (*Olea europaea* L.) as revealed by geometrical morphometry applied to biological and archaeological material. *Journal of Biogeography*, 31 : 63-77.
- Terral J.-F., Tabard E., Bouby L., Ivorra S., Pastor T., Figueiral I., Picq S., Chevance J.S., Jung C., Fabre L., Tardy C., Compan M., Bacilieri R., Lacombe T. & This P. (2010). Evolution and history of grapevine (*Vitis vinifera*) under domestication: new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European cultivars. *Annals of Botany*, 105 : 443-455.
- Terral J.-F., Newton C., Ivorra S., Gros-Balthazard M., Tito de Morais C., Picq S., Tengberg M. & Pintaud J.-C. (2011). Insights into the historical biogeography of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) using geometric morphometry of modern and ancient seeds. *Journal of Biogeography*, 39 : 929-941.
- Tison J.-M. & de Foucault B. (2014). *Flora Gallica*. Biotope, Mèze et Société Botanique de France, Paris, 1196 p.



# DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE ET SUCCESSION VEGETALE DES FENS ALCALINS DE LA COMBE DES CADES (PARC NATIONAL DES CEVENNES) : APPROCHE CROISEE DE LA SEDIMENTOLOGIE ET DE L'ANALYSE MACROFOSSILE

Thiziri Belkacemi <sup>1</sup>, Ombeline Haverlant <sup>2</sup>, Leïla Spigarelli <sup>3</sup>

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

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

<sup>1</sup> thiziribelkacemi07@gmail.com, <sup>2</sup> o.tnalrevah@gmail.com, <sup>3</sup> leila.spigarelli@gmail.com

Encadrement : Camille Henriët, Serge Muller

*Citation* : Belkacemi T., Haverlant O. & Spigarelli L. (2026). Dynamique hydrologique et succession végétale des fens alcalins de la Combe des Cades (Parc National des Cévennes) : approche croisée de la sédimentologie et de l'analyse macrorestes. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 23-38.

**Résumé** : La dynamique hydrologique et l'histoire de la végétation locale de la Combe des Cades ont été reconstituées à partir d'une approche croisant sédimentologie et analyse macrofossile. Les datations <sup>14</sup>C ont permis d'estimer l'âge de deux tourbières. L'alternance de phases détritiques et tourbeuses révèle un ancien système fluvial évoluant vers des tourbières alcalines. L'une des trois tourbières faisant l'objet d'une analyse macrofossile montre le passage d'un fen alcalin riche, dominé par des Cyperaceae et des assemblages de bryophytes calcicoles rares dont *Meesia triquetra*, à une végétation actuelle fortement dégradée.

**Mots clés** : Paléoenvironnement, tourbière, détritisme, *Meesia triquetra*, Massif central, anthropisation

**Abstract**: *Hydrological dynamics and plant succession in alkaline fens of Combe des Cades (Cévennes National Park): a combined sedimentological and macrofossil approach.* The hydrological dynamics and local plant history of the Combe des Cades were reconstructed using a combination of sedimentological and macrofossil analyses. Radiocarbon dating was used to estimate the age of two peatlands. The alternation of detrital and peaty phases reveals the evolution of an ancient fluvial system into an alkaline peatland. One of the three peatlands analysed using macrofossils documents the transition from a species-rich alkaline fen, dominated by Cyperaceae and rare calcicolous bryophyte assemblages including *Meesia triquetra*, to the current, severely degraded vegetation

**Keywords**: Palaeoenvironment, peatland, detritism, *Meesia triquetra*, Massif central, anthropization

Les sédiments sont des dépôts d'origine détritique, organique ou chimique qui proviennent de la désagrégation des roches, de précipitations minérales ou bien de l'accumulation de matière organique (George & Verger, 2000). Ils constituent des archives

dont l'analyse permet de reconstituer l'histoire paléoenvironnementale d'un milieu (Cubizolle, 2009). Parmi les environnements sédimentaires, les tourbières sont des écosystèmes exceptionnels pour le stockage de matière organique (Limpens et al., 2008 ; Lamentowicz et al., 2025). Elles se forment

par l'accumulation de la tourbe au fil des siècles, voire des millénaires. Cette dernière est constituée de restes organiques, principalement végétaux, qui se décomposent très lentement et partiellement dans des conditions anoxiques et saturées en eau (Payette & Rochefort, 2001 ; Holden, 2005 ; Rydin & al., 2013). Ces conditions favorisent la préservation du matériel biologique : macrorestes végétaux, pollen et palynomorphes non polliniques (Barber, 1993 ; Bardou et al., 2026 ; Piroud et al., 2026). L'ensemble de ces indicateurs, aussi appelés proxies, peut être utilisé pour reconstituer les environnements anciens et leurs dynamiques passées.

Les fens (tourbières minérotrophes) sont distingués des bogs (tourbières ombrotrophes) sur la base de leur alimentation en eau par le ruissellement souterrain ou de surface. Elles peuvent se former par comblement progressif d'un plan d'eau (tourbières topogènes) ou par entourbement de pentes alimentées par un ruissellement d'eau de surface (tourbières soligènes). Elles sont moins acides, plus minérales et présentent une végétation plus diversifiée que les bogs (Koning & Ashworth, 2019).

Les fens de la Combe des Cades se distinguent des autres tourbières du Mont Lozère par leur nature alcaline et leur développement sur des pentes relativement importantes, en lien avec des résurgences et du ruissellement. Bien qu'abritant quelques espèces patrimoniales, leur état actuel très dégradé (Muller et al., 2026) ne permet pas de déterminer leur végétation naturelle et leur intérêt en termes de conservation. Dans le but d'apporter des informations sur leur histoire passée, ils font ici l'objet d'une étude paléoécologique pluridisciplinaire, intégrant des analyses palynologiques : pollen (Bardou et al., 2026) et palynomorphes non polliniques (Piroud et al., 2026). Notre contribution porte sur la nature des dépôts (sédimentologie) et leur contenu macrofossile. Elle a pour objectifs de : (1) déterminer les dynamiques hydrologiques passées ; (2) préciser l'importance passée du détritisme et d'identifier le cas échéant des changements

importants pouvant révéler d'éventuels impacts anthropiques (déforestations) ; enfin (3) caractériser, sur la base des macrofossiles, la végétation locale passée.

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Site d'étude

La Combe des Cades (du gaulois *cumba* signifiant "creux, vallée, dépression" ; Dauzat & Rostaing, 1963) est nommée d'après le genévrier commun (*Juniperus communis*), confondu localement avec le cade (*Juniperus oxycedrus*), une espèce méditerranéenne caractéristique des garrigues pauvres et sèches (Vilar et al., 2016). La zone d'étude, située entre 850 et 1180 m d'altitude dans la zone cœur du Parc National des Cévennes (commune d'Ispagnac, Lozère) en climat méditerranéen à influences atlantiques (Rambal et al., 2021), peut être structurée en trois niveaux topographiques distincts. Les thalwegs, parcourus par des ruisseaux, sont caractérisés par des prairies humides et des fens alcalins classés Natura 2000 (Anonyme, 2008). Les versants, constitués de granites altérés, de grès et d'éboulis calcaires, portent des chaos rocheux localisés, des landes à genévrier commun et des parcours pastoraux. Enfin, les zones plus élevées présentent des affleurements de calcaires dolomitiques liasiques gélifs (jusqu'à 1180 m) à pentes plus raides, et abritent des pelouses pionnières et des formations forestières dominées par le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et le pin noir d'Autriche (*P. nigra* subsp. *nigra*) (Cousin et al., 2026).

La Combe des Cades, au contact entre granite et calcaire, est caractérisée par une mosaïque d'habitats mixtes, calcicoles et acidiphiles. La proximité du complexe mégalithique des Bondons (Cham des Bondons), qui constitue la 2<sup>e</sup> plus grande concentration de menhirs de France, ainsi que celle du dolmen des Combes, situé à 500 m des tourbières, témoignent d'une occupation humaine remontant au moins au Néolithique (Roudil, 1984 ; Drelon, 2002).

## 2- Carottages et inventaires floristiques

Lors de la campagne de terrain de fin août 2025, trois séquences sédimentaires ont été prélevées à l'aide d'un carottier russe (Fig. 1 ; Table 1). Les carottages ont été réalisés dans les zones les plus profondes, identifiées par des mesures de profondeur des sédiments effectuées le long de transects. Chaque carotte a été décrite et photographiée sur le terrain,

emballée dans un film plastique, placée dans des tubes en PVC puis protégée et conservée à +6 °C au laboratoire jusqu'à analyse. Des relevés phytosociologiques ont été réalisés sur des quadrats de 16 m<sup>2</sup>. Ces relevés étaient le plus exhaustif possible, afin d'identifier des espèces présentes et de caractériser les communautés végétales actuelles (Trachéophytes et Bryophytes ; Muller et al., 2026).

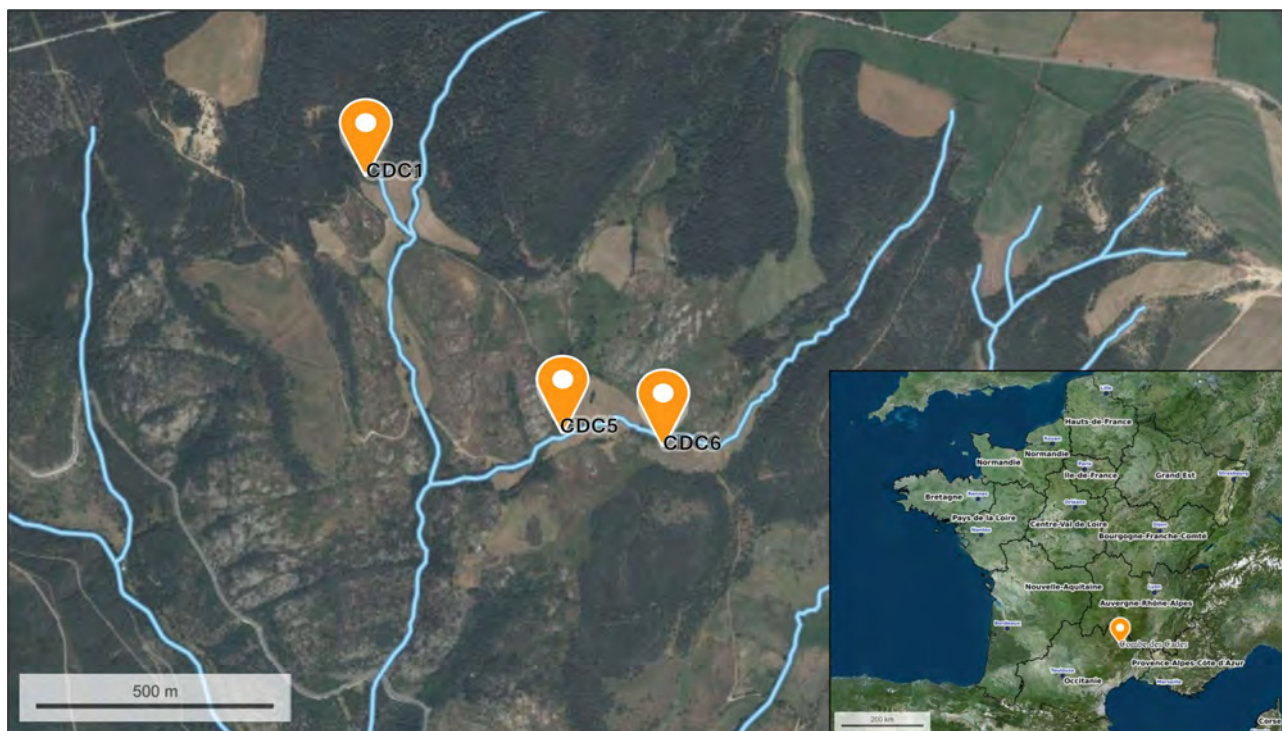


Figure 1. Localisation géographique du site d'étude : à gauche, les trois lieux de carottage ; en bas à droite, situation de la Combe des Cades en France continentale.

Table 1. Coordonnées et profondeur maximale des séquences sédimentaires étudiées

Séquence	Latitude N	Longitude E	Profondeur (cm)
CDC 1	44.41732°	3.56560°	189
CDC 5	44.41177°	3.57156°	177
CDC 6	44.41136°	3.57466°	306

## 3- Travail de laboratoire

### Composition des carottes

La description stratigraphique des séquences a été réalisée selon la méthode de Troels-Smith (1955) : elle consiste en une estimation

visuelle des pourcentages des différents composants organiques et minéraux : Tb (*Turfa bryophytica* : bryophytes) ; Th (*Turfa herbacea* : radicules et rhizomes) ; Tl (*Turfa lignosa* : bois) ; Dt (*Detritus* : matière organique) ; Ls (*Limus* : limons) ; Ga

(*Argilla* : argile) ; Gs (*Grana minora* : sable fin < 2 mm) ; Gm (*Grana majora* : graviers > 2 mm). Ces estimations ont été réalisées tous les 8 cm sur toute la longueur des trois carottes par trois observatrices indépendantes. Une moyenne des pourcentages a ensuite été calculée.

#### *Susceptibilité magnétique*

La susceptibilité magnétique mesure la vitesse de magnétisation d'un matériau en réponse à un champ appliqué (Walden et al., 1999 ; Dinckal et al., 2022). Elle permet d'étudier l'origine, le transport et la sédimentation des minéraux magnétiques dans les archives sédimentaires (Liu et al., 2012). Cette approche a été utilisée sur la carotte CDC5, avec un capteur MS3 Bartington.

#### *Traitement des macrorestes*

L'analyse préliminaire des refus de tamis issus des traitements palynologiques, réalisée sur des échantillons prélevés tous les 32 cm sur les trois séquences, a permis d'évaluer l'abondance des macrorestes. La séquence CDC5, plus riche que les deux autres, a fait l'objet d'une analyse approfondie. Des échantillons ont été prélevés tous les 10 cm tout le long de cette séquence. Leur volume a été mesuré par déplacement d'eau. L'extraction des macrorestes a été réalisée à l'aide d'une série de tamis de 800, 500 et 250  $\mu\text{m}$ . Les refus de tamis ont été examinés sous loupe binoculaire. Les identifications, réalisées avec l'aide de L. Bouby et S.D. Muller, ont été vérifiées par comparaison avec les collections de référence de l'ISEM et l'atlas de Cappers & Bekker (2013). La concentration des macrorestes a été homogénéisée à 100  $\text{cm}^3$ .

#### *Datations*

Plusieurs échantillons ont été datés par AMS  $^{14}\text{C}$  au *Poznań Radiocarbon Laboratory*, en Pologne. Les âges  $^{14}\text{C}$  ont été étalonnés et utilisés pour construire des modèles âge-profondeur (Muller et al., 2026).

## 4- Analyses statistiques

Les proportions des différents composants des

séquences CDC1, CDC5 et CDC6 ont été regroupées avec les données macrofossiles et représentées sous forme de diagrammes à l'aide d'une analyse de classification hiérarchique (CONISS ; Grimm, 1987). L'ensemble des analyses statistiques a été effectué sur le logiciel R version 4.5.2 (2025-10-31), sous RStudio à l'aide du package rioja (Juggins, 2024).

## RESULTATS

### 1- Stratigraphie des séquences sédimentaires

#### *Séquence CDC1*

La séquence CDC1 est divisée en 3 zones (Fig. 2).

La zone 1, située à la base de la séquence (2500-2200 cal. BP ; 550 av. EC - 250 av. EC), est caractérisée par une tourbe brun foncé. Elle est dominée par la matière organique et les apports sableux. Les radicelles et rhizomes sont présents en quantité modérée tandis que les argiles et limons et les bryophytes sont absents.

La zone 2 (2200-2000 cal. BP ; 250 av. EC - 50 av. EC) est caractérisée par une chute de la quantité de sable et la disparition des graviers ainsi que par une forte abondance de bryophytes (supérieure à 50%). Des restes ligneux (bois) apparaissent autour de 2100 cal. BP (150 av. EC).

La zone 3 (2000 cal. BP-aujourd'hui ; 50 av. EC-aujourd'hui) est caractérisée par une alternance de tourbe argileuse et de tourbe brune. La matrice est fortement organique et présente une faible fraction minérale. Toutefois, l'abondance en sable augmente vers 220 cal. BP (1730 EC) associée à la présence de graviers visibles dans le log stratigraphique et dans l'analyse des macrorestes. La zone est finalement marquée par une forte diminution de l'abondance des Bryophytes.

#### *Séquence CDC5*

La séquence CDC5 est divisée en 3 zones (Fig. 3).

La zone 1, située à la base de la séquence (970-620 cal. BP ; 980-1330 EC), est d'abord caractérisée par une dominance de la fraction minérale (avec présence de graviers, visibles aussi sur la courbe de susceptibilité magnétique ; Fig. 4) qui diminue progressivement tandis que la matière organique augmente fortement jusqu'à une inflexion vers 760 cal. BP (1190 EC). En fin de zone, la matière organique reste majoritaire, bien que moins élevée, et les apports minéraux deviennent plus faibles. Les radicelles et les rhizomes sont présents en faible quantité et les Bryophytes sont absentes, puis augmentent progressivement vers 760 cal. BP (1190 EC).

La zone 2 (620-150 cal. BP ; 1330-1800 EC) est marquée par une fraction organique prédominante avec une présence modérée des argiles/limons. Toutefois, le sable montre une forte augmentation autour de 345 cal. BP (1605 EC), associée à l'apparition de graviers et à une tourbe moins fibreuse. La présence des graviers est aussi visible sur la courbe de susceptibilité magnétique (Fig. 4). La zone 2 est caractérisée par la présence de restes ligneux (bois). Quelques Bryophytes sont également présentes.

La zone 3 (150 cal. BP-aujourd'hui ; 1800 EC-aujourd'hui) est caractérisée par une augmentation des radicelles et des rhizomes. Les fractions minérales diminuent fortement. Les graviers sont absents. Les Bryophytes sont présentes en plus grande quantité et de manière continue.

#### Séquence CDC6

La séquence CDC6 est divisée en 3 zones (Fig. 5).

La zone 1, située à la base de la séquence (304-152 cm), est caractérisée par la quasi-omniprésence de graviers observée également dans le log (hormis dans la tourbe blonde) et une dominance minérale. Les autres éléments sont très peu présents, voire absents.

La zone 2 (152-52 cm) est caractérisée par la

disparition des graviers et l'augmentation/apparition de la matière organique et des radicelles et des rhizomes. Ces derniers sont corrélés à une tourbe plus fibreuse. Le sable disparaît progressivement, tandis que les argiles/limons persistent avec quelques variations. Quelques Bryophytes sont présentes.

La zone 3 (52 cm-sommet) est caractérisée par la dominance des argiles et limons. Les radicelles et les rhizomes diminuent fortement. La matière organique est absente sur la majeure partie de la zone, puis réapparaît de manière marquée dans les derniers centimètres. Le sable, les graviers et les Bryophytes sont absents.

## 2- Analyse des macrorestes

Seule la séquence CDC5, remontant à environ 1000 cal. BP (1000 EC ; années de l'ère commune), a fait l'objet d'une analyse macrofossile (Fig. 6).

La zone 1 (980-290 cal. BP ; 970-1660 EC) est dominée par des hydrophytes (*Ranunculus* sect. *Batrachium*) et des laïches (*Carex*, représentés par des akènes à 2 et à 3 faces), accompagnés de taxons rudéraux (*Arenaria serpyllifolia*, *Chenopodium*, *Linum catharticum*, *Scleranthus*, *Sinapis arvensis*). Des mousses calcicoles palustres (*Palustriella* cf. *falcata*, *Ptychostomum pseudotriquetrum*) sont également présentes, ainsi que des fourreaux de trichoptères, des sclérotés de *Cenococcum graniforme* et un charbon d'Ericaceae de montagne (*Vaccinium*-type).

La zone 2 (290-190 cal. BP ; 1660-1760 EC) est caractérisée par l'occurrence de mousses calcicoles (*Calliergonella cuspidata*, *Ptychostomum pseudotriquetrum*), associées à des petits héliophytes (*Carex*, *Juncus*) et à des hydrophytes (*Potamogeton*). De plus, les fourreaux de trichoptères sont toujours présents.

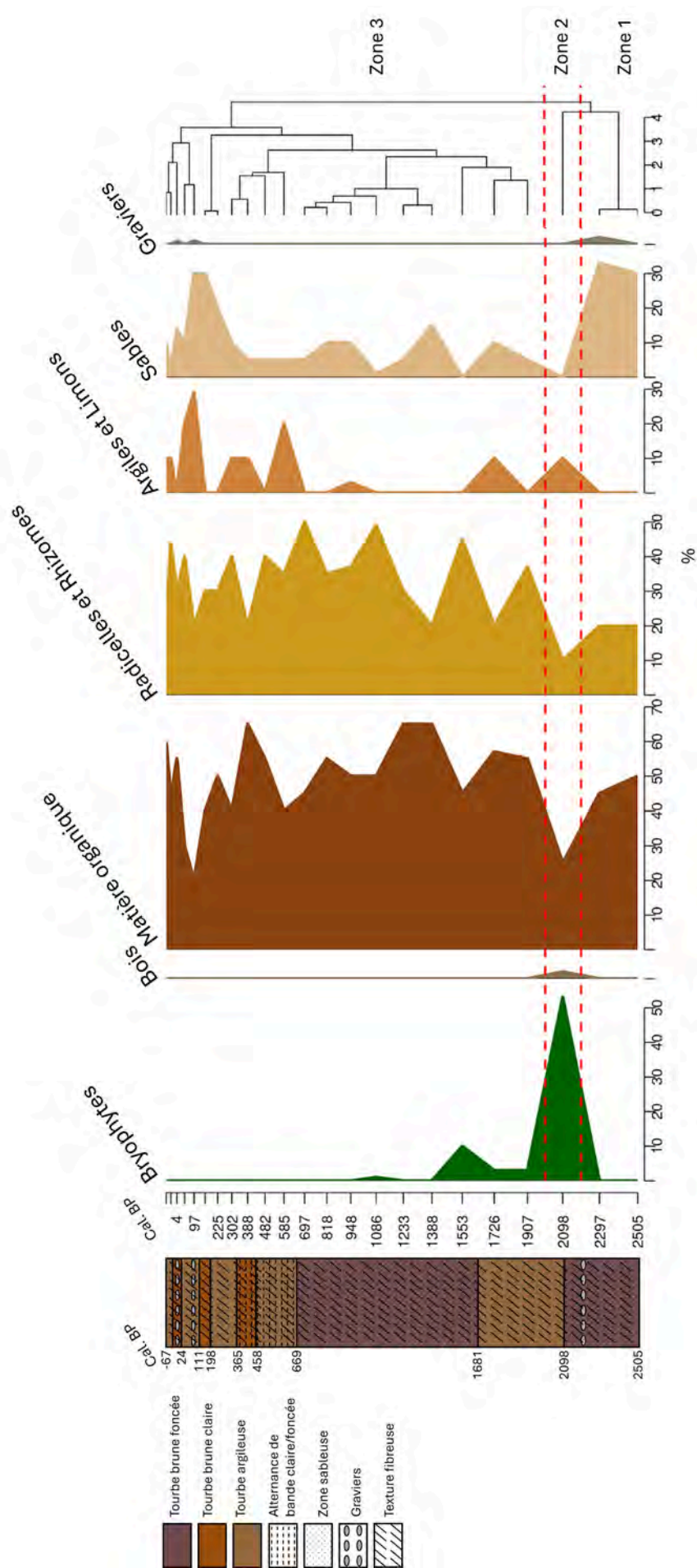


Figure 2. Log stratigraphique et diagramme en pourcentages des principaux constituants des dépôts de la séquence CDC1

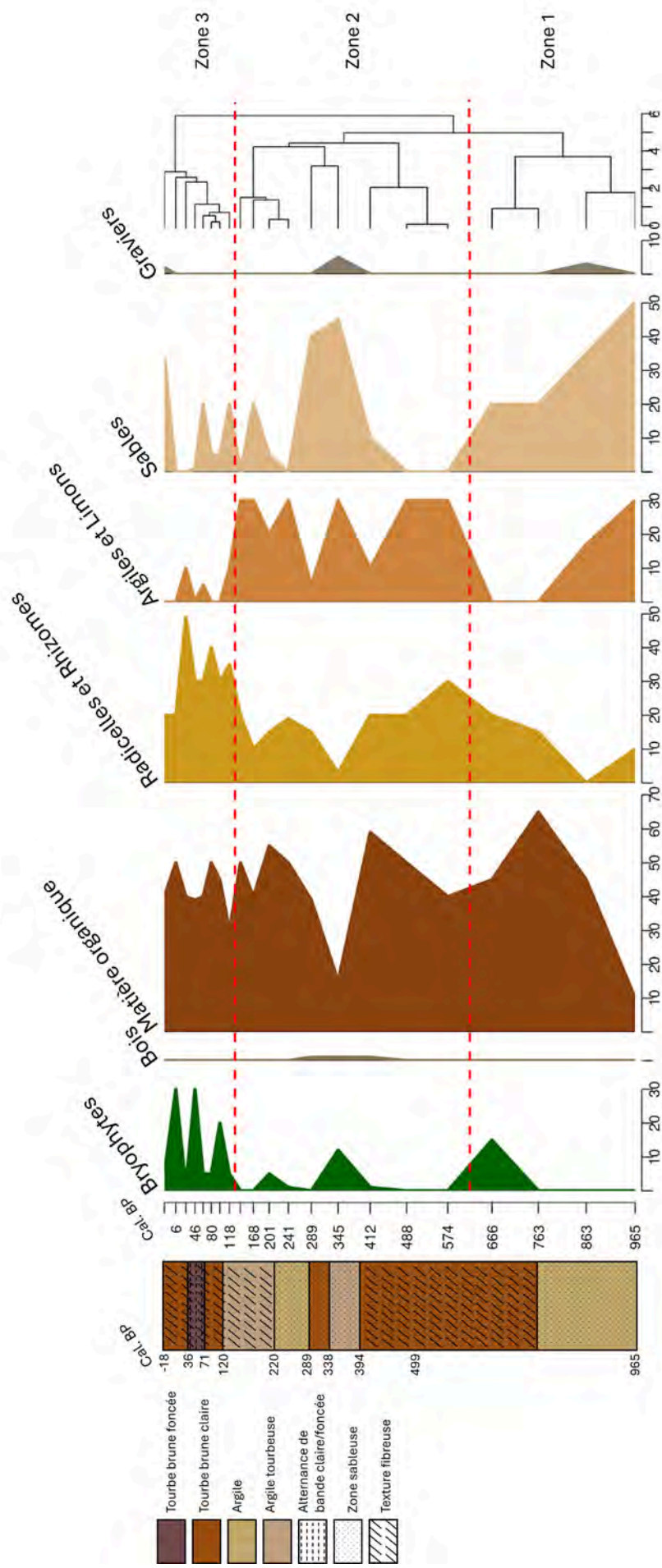


Figure 3. Log stratigraphique et diagramme en pourcentages des principaux constituants des dépôts de la séquence CDC5

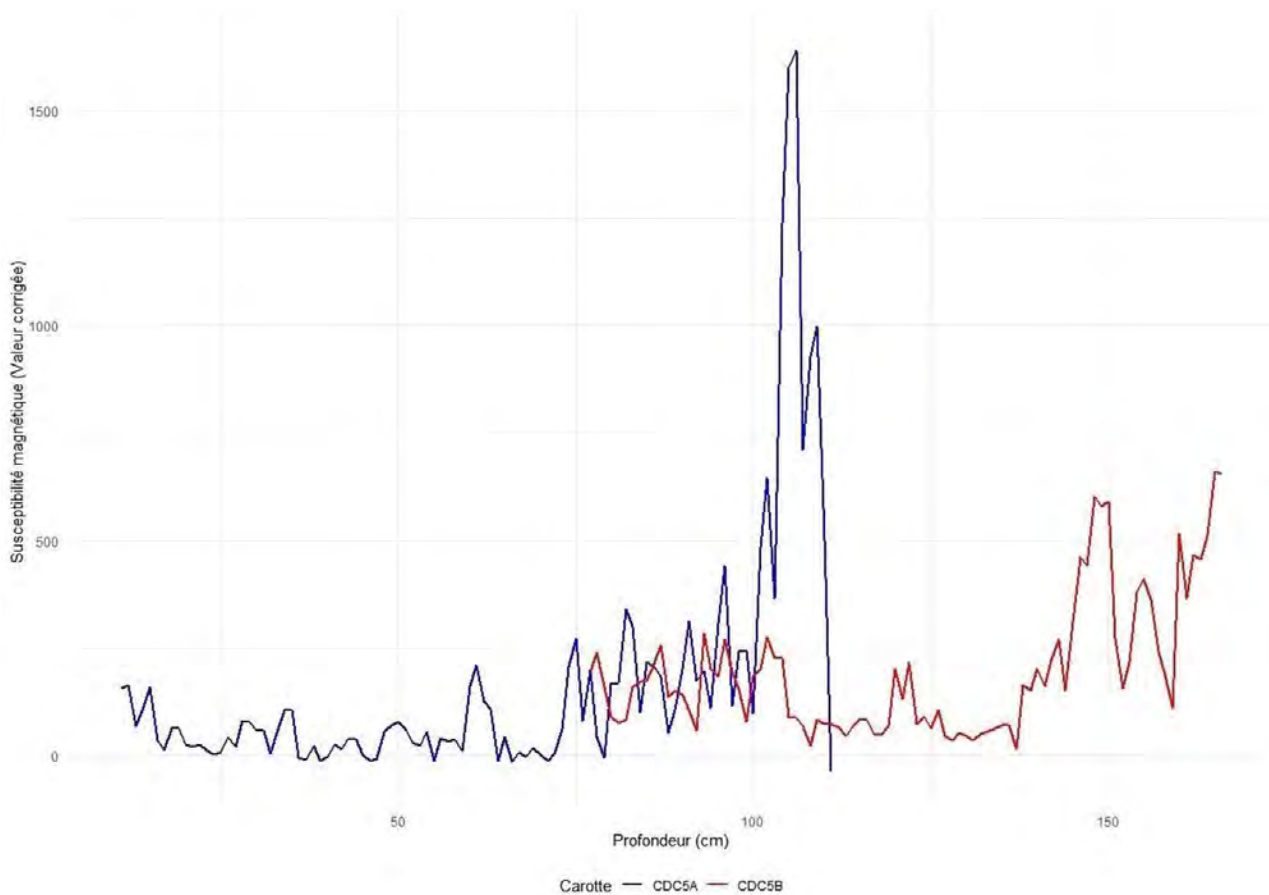


Figure 4. Susceptibilité magnétique de la séquence CDC5

La zone 3 (190 cal. BP-aujourd'hui ; 1760 EC-aujourd'hui) est dominée par les restes de Bryophytes (*Palustriella* cf. *falcata*, *Meesia triquetra*), associés à des herbacées aquatiques (cf. *Glyceria*, *Potamogeton*, *Ranunculus* sect. *Batrachium*) et à des hygrophytes (*Carex* à 2 et à 3 faces, *Rhynchospora alba*, *Salix*). Plusieurs taxons adventices ou rudéraux sont enregistrés (*Arenaria serpyllifolia*, *Chenopodium*, *Linum catharticum* et *Scleranthus*) et le niveau de surface enregistre la présence de la végétation actuelle : *Eupatorium cannabinum*, *Galium*, *Juncus*.

## DISCUSSION

### 1- Dynamiques hydrologiques

Les séquences sédimentaires du complexe tourbeux sont caractérisées par des quantités élevées de minéraux dans les dépôts, suggérant d'importants apports détritiques. De plus, la présence de taxons aquatiques (*Potamogeton*, *Ranunculus* sect. *Batrachium*, Trichoptères) dans la séquence CDC5 (Fig. 6) et l'absence de pollen dans la moitié inférieure de la séquence CDC6 (Bardou et al., 2026) traduisent l'existence passée d'un régime fluvial avec écoulement d'eau libre.

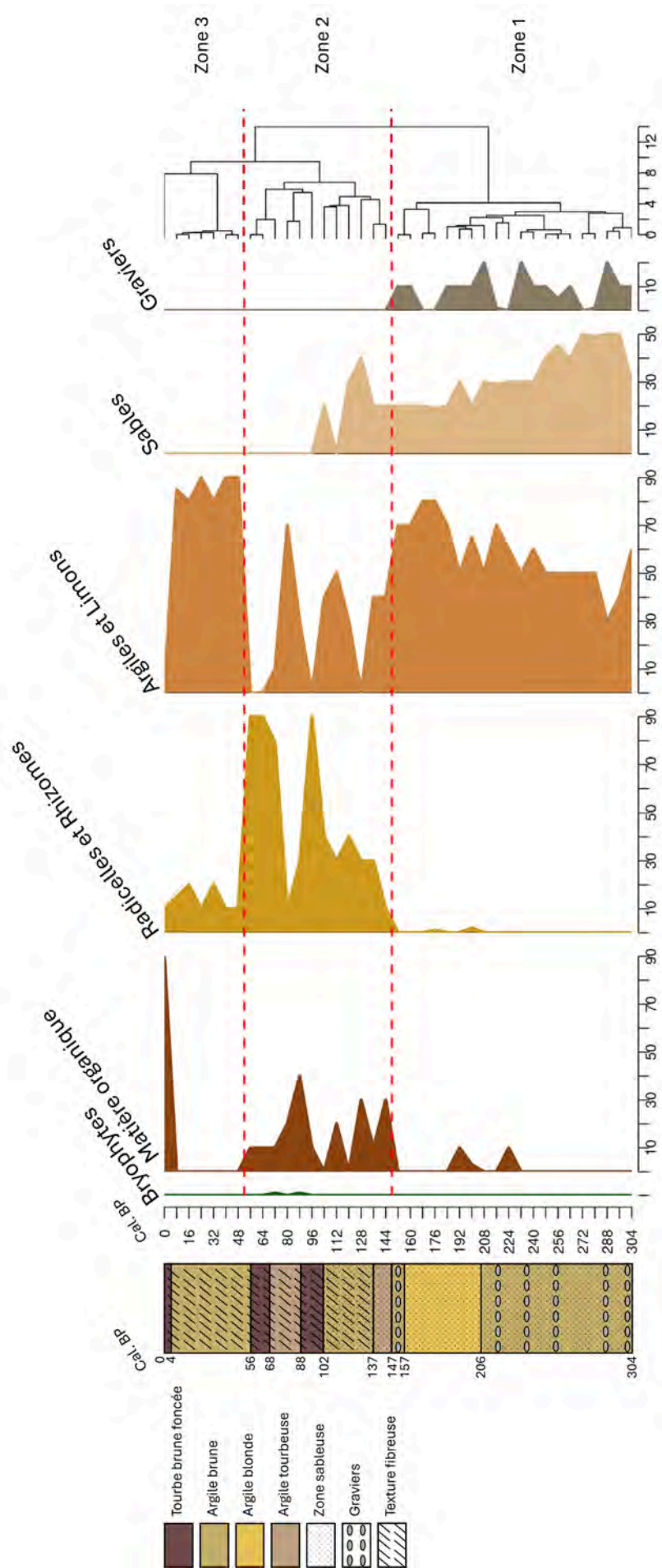


Figure 5. Log stratigraphique et diagramme en pourcentages des principaux constituants des dépôts de la séquence CDC6

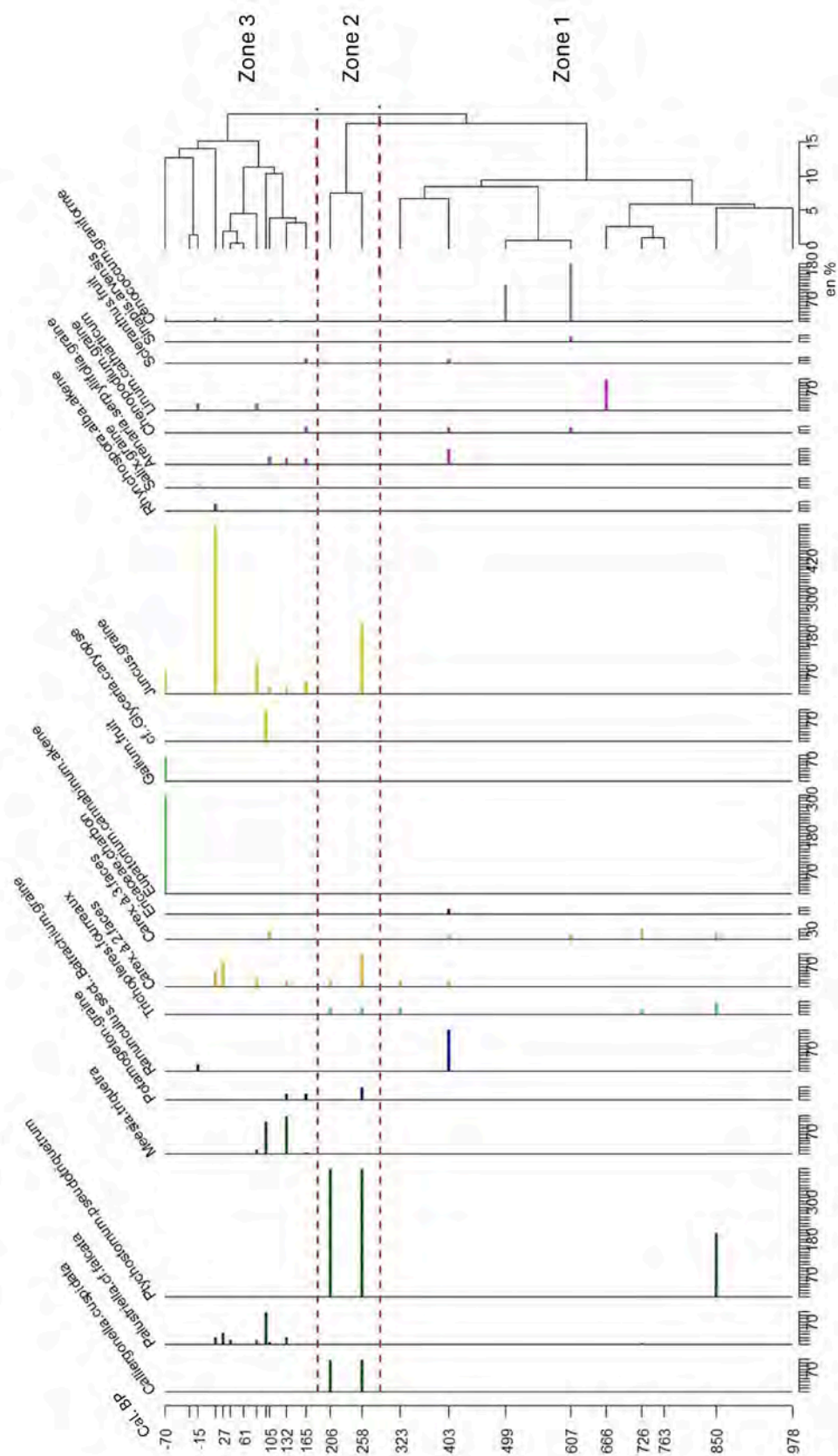


Figure 6. Diagramme en concentrations (macrorestes/100 cm<sup>3</sup>) des macrofossiles identifiés le long de la séquence CDC5. L'axe des ordonnées est en années cal. BP. En vert foncé, Bryophytes ; en bleu foncé, plantes aquatiques (hydrophytes) ; en bleu, faune aquatique ; en orange, petits hélophytes ; en bordeaux, charbon ; en vert clair, végétation actuelle ; en jaune, hélophytes ; en marron, hygrophytes ; en bleu clair, ligneux hygrophiles ; en rose, plantes adventices-rudérales ; en gris, champignons mycorhiziens

Les variations de la granulométrie (graviers, sables) et de la teneur en matières minérales révèlent une alternance entre des phases dynamiques à apports érosifs et des périodes de stagnation favorisant l'accumulation organique. L'âge des plus anciens dépôts tourbeux diffère fortement entre les séquences CDC1 (2200-2000 cal. BP ; 250 av. EC - 50 av. EC ; Fig. 2) et CDC5 (970-620 cal. BP ; 980-1330 EC ; Fig. 3). De même, les épisodes tardifs d'apports minéraux sont décalés d'environ 125 ans, vers 220 cal. BP (1730 EC) à CDC1 (Fig. 2) et vers 345 cal. BP (1605 EC) à CDC5 (Fig. 3). Cette désynchronisation suggère que ces tourbières ne partagent pas entièrement la même ressource hydrographique et que les variations hydrologiques sont contrôlées localement par la morphologie des bassins versants, probablement couplée à des pratiques pastorales spécifiques à chaque vallon.

La séquence CDC5 (Fig. 3) est dominée par des teneurs élevées en matière organique, radicelles et rhizomes, témoignant d'une végétation locale typique d'un milieu tourbeux. Ces observations s'accordent avec l'enregistrement macrofossile des *Carex* et de *Rhynchospora alba*, l'enregistrement pollinique des Cyperaceae (Bardou et al., 2026), ainsi qu'avec les radicelles et les champignons parasites associés à cette famille (Piroud et al., 2026).

## 2- Détritisme et anthropisation

La base de la séquence CDC1 (2500-2200 cal. BP ; 550-250 av. EC) est caractérisée par la présence de graviers et de sables (Fig. 2) et présente une faible abondance des taxons polliniques arboréens (Bardou et al., 2026). Ceci révèle un détritisme important, lié à la fois à la présence locale d'une rivière et à un paysage environnant ouvert. Bien que nous n'ayons pas d'indices clairs d'anthropisation aussi bien dans les données sédimentologiques (Fig. 2) que palynologiques (Bardou et al., 2026), l'âge antique de ces dépôts laisse penser à une cause anthropique.

Cette séquence présente également un détritisme important vers le sommet (200 cal. BP à aujourd'hui ; 1750 EC à aujourd'hui ;

Fig. 2). La présence associée d'indicateurs de pâturage dans le pollen (*Plantago*, Bardou et al., 2026) et les NPPs (*Sporormiella*-type, *Coniochaeta*, *Cercophora*, *Sordaria*-type, *Trichuris* ; Piroud et al., 2026) traduit la présence locale de troupeaux, sans doute à l'origine d'une déforestation locale. Les arbres enregistrés dans le pollen (*Castanea sativa*, *Pinus sylvestris*-type ; Bardou et al., 2026) révèlent les cultures (châtaigneraies) et l'installation de pinèdes pionnières lors de la révolution industrielle.

La séquence CDC5 (Fig. 3B) est caractérisée par trois phases importantes de détritisme, marquées par la présence de sables et de graviers :

- A la base (970-760 cal. BP ; 980-1190 EC), la présence de fourreaux de Trichoptères et de *Carex* (Fig. 6) révèle l'existence d'un ruisseau tourbeux. Les faibles concentrations polliniques (Bardou et al., 2026) traduisent la présence d'eau courante.
- Entre 410 et 290 cal. BP (1540-1660 EC), l'enregistrement d'organismes aquatiques sous forme de macrorestes (*Ranunculus* sect. *Batrachium*, Trichoptères ; Fig. 6) et de pollen (*Callitriche-Potamogeton* ; Bardou et al., 2026) traduit la persistance locale du ruisseau. Les occurrences polliniques de plantes adventices (*Arenaria serpyllifolia*, *Chenopodium*, *Scleranthus*) et cultivées (*Fagopyrum*) (Bardou et al., 2026), ainsi que d'indicateurs de pâturage (*Coniochaeta*, *Sordaria*-type, *Plantago* ; Bardou et al., 2026 ; Piroud et al., 2026), suggèrent à la même époque la présence d'activités anthropiques à proximité de la tourbière. De plus, la présence d'un charbon d'Ericaceae de montagne (490-240 cal. BP ; 1460-1710 EC) pourrait révéler des feux pastoraux (écobuage), pratique encore existante de nos jours en Cévennes (Sraïri et al., 2025).
- Au sommet de la séquence (10 cal. BP à aujourd'hui ; 1940 EC à aujourd'hui), la présence de taxons rudéraux et de *Juncus* (Mälson et al., 2008), ainsi que la présence de champignons coprophiles (Piroud et al., 2026) traduisent l'intensification pastorale dans la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle en

Cévennes (Hass et al., 2022). L'augmentation des pins (*Pinus sylvestris*-type ; Bardou et al., 2026) révèle les conséquences de la déprise agricole et des politiques de reboisement de la révolution industrielle (de Beaulieu & Pons, 1979 ; Reille, 1988).

La base très minérale de la séquence CDC6 (Fig. 5) est quasiment stérile (Bardou et al., 2026) et révèle là encore la présence d'un ruisseau très actif, à l'origine de la zone tourbeuse actuelle. La partie supérieure de la séquence présente également une importante phase de détritisme avec la présence de sable, argile et limons (Fig. 5B) et de *Glomus* (Piroud et al., 2026). Ici aussi, l'enregistrement de pollen de *Plantago* (Bardou et al., 2026) et de spores de champignons coprophiles (*Coniochaeta*, *Sordaria*-type, *Sporormiella*-type ; Piroud et al., 2026) révèle l'existence de pâturage local.

Les dernières phases de détritisme enregistrées dans les 3 sites sont au moins en partie contemporaines. Les enregistrements sédimentologiques et microfossiles (Bardou et al., 2026) similaires traduisent un forçage anthropique commun, datant probablement du 20<sup>e</sup> siècle.

Les différentes phases de détritisme enregistrées à l'échelle de la Combe des Cades révèlent la présence locale d'un système fluvial actif et d'un milieu ouvert lié aux activités agro-pastorales anciennes à l'échelle du bassin versant.

### 3- Végétation locale

L'analyse macrofossile (Fig. 6), n'ayant été réalisée qu'à CDC5, n'apporte des informations sur la végétation locale que sur les derniers 1000 ans. On peut noter que les macrorestes identifiés révèlent l'existence passée de deux grands types de communautés végétales : la première est constituée de taxons hygro-hydrophiles et correspond à la végétation naturelle du site, tandis que la seconde, composée de taxons adventices-rudéraux, traduit la proximité de zones perturbées par les activités humaines.

Nos résultats révèlent également l'existence

passée sur ce site d'espèces absentes de la végétation actuelle et pour certaines rares : *Meesia triquetra*, *Potamogeton*, *Ranunculus* sect. *Batrachium*, *Rhynchospora alba*. La découverte de *Meesia triquetra* (identification : S.D. Muller & V. Hugonnot) est particulièrement intéressante : c'est en effet la première mention de cette espèce dans le Parc National des Cévennes (T. Rossignol & E. Sulmont, com. pers.) et la plus méridionale du Massif central. *Meesia triquetra* est une mousse nordique, caractéristique des stades pionniers des fens alcalins extrêmement riches (Hallingbäck et al., 2008 ; Peterka et al., 2020), en fort déclin dans le sud de l'Europe (Rehell & Virtanen, 2016), où elle est considérée comme une relictive glaciaire (Odgaard, 1989). *Palustriella falcata*, bien qu'encore localement présente dans la Combe des Cades (T. Rossignol & E. Sulmont, com. pers.), n'a pas été observée en 2025 sur les tourbières étudiées (Muller et al., 2026). C'est une espèce circumboréale de tourbières calcaires oligotrophes (Dierßen, 2001), également rare en France. L'enregistrement macrofossile de CDC5 (Fig. 6) révèle sa présence locale plus de 1000 ans et sa disparition de la tourbière étudiée au 20<sup>e</sup> siècle, probablement au moment où celle-ci est colonisée par l'eupatoire et le frêne.

La présence d'organismes aquatiques (*Potamogeton*, *Ranunculus* sect. *Batrachium*, Trichoptères) tout au long de la séquence (Fig. 6) traduit la permanence du ruissellement alimentant la tourbière (Munger et al., 2014), et l'existence au sein de celle-ci de zones d'eau libre. L'enregistrement continu des *Carex* et l'occurrence de *Rhynchospora alba*, qui correspondent bien à l'enregistrement pollinique des Cyperaceae (Bardou et al., 2026) et des radicelles et des champignons parasites de cette famille (Piroud et al., 2026), traduisent l'existence de communautés herbacées de tourbière se développant en bordure des ruisselets.

### 4- Limites

Plusieurs contraintes ont orienté le choix d'échantillonnage et d'analyse. La durée limitée de l'étude (3 mois) a nécessité une

priorisation des analyses. Les analyses macrofossiles et de susceptibilité magnétique n'ont pu être réalisées que sur la carotte CDC5, considérée comme la plus représentative en termes de préservation macrofossile.

L'étude peut présenter un biais d'observateur, la description stratigraphique étant effectuée par des observateurs différents. L'échantillonnage espacé de 8 cm pour la méthode Troels-smith et de 10 cm pour l'analyse macrofossile, bien que standard en paléoécologie, limite la résolution temporelle et peut sous-estimer les fluctuations rapides. De plus, le faible nombre de datations <sup>14</sup>C (une résolution chronologique d'environ 500 ans), limite potentiellement la précision des transitions écologiques rapides. Enfin, la résolution spatiale du capteur MS3 Bartington de 1 cm génère une corrélation entre les mesures consécutives.

## CONCLUSION

Notre étude apporte la première mention de *Meesia triquetra* dans le Parc National des Cévennes. Elle révèle l'existence passée d'une communauté bryologique de fen alcalin à très fort enjeu conservatoire (Odgaard, 1989), constituée de *Calliergonella cuspidata*, *Meesia triquetra*, *Palustriella* cf. *falcata* et *Ptychostomum pseudotriquetrum*.

Nos données permettent également de reconstituer l'histoire de ces milieux humides depuis 2600 ans. Bien que les premiers 1500 ans soient mal caractérisés, les données obtenues à la base de CDC5 (datée d'environ 1000 ans) et de CDC6 (non datée) montrent l'existence ancienne de cours d'eau plus importants qu'aujourd'hui. Au cours du dernier millénaire, l'ensemble des zones humides de la Combe des Cades semble avoir évolué vers des fens alcalins dominés par des Cyperaceae (*Carex* spp., *Rhynchospora alba*), parcourus de ruisselets et de zones d'eau libre abritant des potamots, des renoncules aquatiques et des larves de Trichoptères. La présence d'un cortège de plantes adventices/rudérales dans les assemblages macrofossiles traduit l'anthropisation de la zone, également montrée par Bardou et al.

(2026) et Piroud et al. (2026).

Enfin, nos résultats révèlent que la destruction des tourbières (par exemple, à CDC5, où elle a été remplacée par une communauté à eupatoire et frêne) a eu lieu très récemment, au cours de la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle (de Beaulieu & Pons, 1979 ; Reille, 1988). L'augmentation du détritisme à ce moment-là traduit le changement d'usage des terres en amont du site, avec de possibles défrichements et mises en cultures (Devillers & Provansal, 2003).

## REFERENCES

- Anonyme (2008). *Fiche de synthèse du document d'objectifs du site Natura 2000 ZSC « Combe des Cades » (FR9101362)*. Parc national des Cévennes, Florac, 6 p.
- Barber K.E. (1993). Peatlands as scientific archives of past biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2 : 474-489.
- Bardou L., Roumieu E. & Stein A. (2026). Changements de végétation et anthropisation dans la Combe des Cades (Cévennes, France) : étude pollinique. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 39-55.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5 : 512-518.
- Cappers R.T.J. & Bekker R.M. (2013). *A manual for the identification of plant seeds and fruits*. Groningen Archaeological Studies (vol. 23). Barkhuis Publishing, Groningen, 273 p.
- Cousin T., Mazouni S. & Zecchini V. (2026). Installation et dynamique du pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) et du pin sylvestre (*P. sylvestris*) dans la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 75-89.
- Cubizolle H. (2009). *Paléo-environnements*. Armand Colin, Paris, 271 p.
- Dauzat A. & Rostaing C. (1963). *Dictionnaire étymologique des noms de lieux en France*. Librairie Larousse, Paris, 738 p.
- De Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc

- National des Cévennes. *Annales du Parc National des Cévennes*, 1 : 101-128
- Devillers B. & Provansal M. (2003). La morphogenèse d'un géosystème cultivé depuis le Néolithique récent : les petits bassins versants de la moyenne vallée de l'Hérault (France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 9 (2) : 83-98.
- Den Hartog C. & Segal S. (1964). A new classification of the water-plant communities. *Acta Botanica Neerlandica*, 13 : 367-393.
- Dierßen K. (2001). Distribution, ecological amplitude and phytosociological characterization of European bryophytes. *Bryophytorum Bibliotheca*, Band 56, J. Cramer Verlag, Berlin, 289 p.
- Dinckal A., Fisher E.C., Herries A.I.R. & Marean C. W. (2022). Mapping magnetism: Geophysical modelling of stratigraphic features using in situ magnetic susceptibility measurements at Pinnacle Point 5–6 North, South Africa. *Geoarchaeology*, 37 (6) : 840-857.
- Docquier C. & Terreaux de Félice H. (2017). Reconstruction des variations hydrologiques d'une tourbière du Cantal (France) : environnement de dépôt et conservation des rhizopodes. *Orpalm Synthesis*, 10 (2) : 49-61.
- 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.
- Drelon N.B. & Galant P. (2009). Histoire, bilan et perspectives pour les monuments mégalithiques en Languedoc et en Roussillon. In : M. Leduc (éd.), *Les sites mégalithiques : Conservation et mise en valeur, un enjeu européen*. Actes du colloque, 18-20 novembre 2009, Toulouse, pp. 1-15.
- George P. & Verger F. (1996). *Dictionnaire de la géographie (6e éd. mise à jour)*. Presses Universitaires de France, Paris, 496 p.
- Grimm E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13 (1) : 13-35.
- Haas J.N., Cubizolle H., Argant J., de Beaulieu J.-L. & Dendievel A.-M. (2022). The Late Quaternary flora, vegetation and landscape of the Massif Central (France) under climatic and anthropogenic constraints. *Quaternary International*, 636 : 1-8.
- Hallingbäck T., Lönnell N. & Weibull H. (2008). *Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna [AJ 24-36], Bladmossor. Kompaktmossor – kapmossor: Bryophyta: Anoetangium–Orthodontium*. Artdatabanken, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, 485 p.
- Holden J. (2005). Peatland hydrology and carbon release: Why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363 (1837) : 2891-2913.
- Juggins S. (2024). Package "rioja" (version 1.0-7). [Logiciel R, CRAN].
- Koning C.O. & Ashworth S.M. (2019). *Wading Right In: Discovering the Nature of Wetlands*. University of Chicago Press, Chicago, 276 p.
- Lamentowicz M., Andrews L., Czerwiński S. & Marcisz K. (2025). Multi-proxy palaeoecological studies from peatlands: A comprehensive review of recent advances and future developments. *Earth-Science Reviews*, 271 : 105278.
- Leenhardt R., Leenhardt C., Barrière O., Cabannes N. & Tourrand J.-F. (2025). Past, current and future changes in transhumance in the Cévennes, France. In : M.T. Sraïri, J.-F. Tourrand, M. Chedid, M. Opplert & M.-C. Maraval (éds.), *Past, present and future challenges in mountain transhumance*. CIRAD, Montpellier, pp. 223-240.
- Limpens J., Berendse F., Blodau C., Canadell J.G., Freeman C., Holden J., Roulet N., Rydin H. & Schaepman-Strub G. (2008). *Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis*. *Biogeosciences*, 5 : 1475-1491.
- Liu Q., Roberts A.P., Larrasoana J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L. &

- Oldfield F. (2012). Environmental magnetism: principles and applications. *Reviews of Geophysics*, 50 (4) : RG4002.
- Mälson K., Backéus I. & Rydin H. (2008). Long-term effects of drainage and initial effects of hydrological restoration on rich fen vegetation. *Applied Vegetation Science*, 11 (1) : 99-106.
- Muller S.D., Henriot C. & Terral J.-F. (2026). Les zones tourbeuses alcalines de la Combe des Cades (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 9-21.
- 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.
- Muller S.D., Richard P. J. & 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) : 649-664.
- Munger J.L., Pellerin S., Larocque M. & Ferlatte M. (2014). Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau entre tourbière et aquifère. *Le Naturaliste canadien*, 138 (1) : 4-12.
- Odgaard B. V. (1989). Glacial relicts, and the moss *Meesia triquetra* in Central and Western Europe. *Lindbergia*, 14 : 73-78.
- Payette S. & Rochefort L. (2001). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Presses de l'Université Laval, Québec, 621 p.
- Pautou G. & Baier P. (1983). Le passage d'un espace aquatique à un espace semi-aquatique avec formation d'une tourbière à sphaignes : exemple de l'étang et des marais du Grand-Lemps (Isère). *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, 52 (6) : 174-191.
- Perry C. T. & Taylor K. G. (2007). *Environmental sedimentology*. Blackwell, Oxford, 460 p.
- Peterka T., Hájková P., Mikulášková E., Aunina L., Dítě D., Pawlikowski P., Štechová T. & Hájek M. (2020). Vegetation affinity of the moss species *Meesia triquetra*, *Paludella squarrosa*, *Pseudocalliergon trifarium* and *Scorpidium scorpioides* across European regions. In : L. Söderström, J.J. Engel, J. Kucera (éds.), *Contributions to morphology, taxonomy, distribution and ecology of bryophytes. Jiří Váňa in memoriam*. Schweizerbart and Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, pp. 133-157.
- Piroud J., Ramond Y. & Sarrazin A. (2026). Paléoenvironnements des tourbières de la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère) : étude des palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 57-74.
- Porley R., Papp B., Söderström L. & Hallingbäck T. (2008). European bryophyte conservation in the new millennium. In : H. Mohamed, B.B. Baki, A. Nasrulhaq-Boyce & P.K.Y. Lee (éds.), *Bryology in the new millennium*. University of Malaya, Kuala Lumpur, pp. 459-485.
- Posit Team. (2025). *RStudio: Integrated development environment for R* [Logiciel]. Posit, PBC. <https://posit.co/>
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.5.2) [Logiciel]
- Rambal S., Bruley E., Mouillot F. & Lauvaux T. (2021). Enhanced Spring Warming in a Mediterranean Mountain: In Quest for Multi Causalities. *Journal of Mediterranean Climate Studies*, 12 (3) : 45-62.
- Rehell S. & Virtanen R. (2016). Rich-fen bryophytes in past and recent mire vegetation in a successional land uplift area. *The Holocene*, 26 (1) : 136-146.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif Central, France) : réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 1988-2 : 3-7.
- Roudil J.-L. (1984). Languedoc-Roussillon. *Gallia Préhistoire*, 27 (2) : 349-373.
- Rundgren M., Kokfelt U., Schoning K. & Wastegård S. (2023). Holocene wet shifts in NW European bogs: Evidence for the roles of external forcing and internal feedback from a high-resolution study of peat properties, plant macrofossils and testate amoebae. *Journal of Quaternary Science*,

38 (3) : 423-439.

- Rydin H. & Jeglum J. K. (2013). *The biology of peatlands (2e éd.)*. Biology of Habitats. Oxford University Press, Oxford, 369 p.
- Sraïri M.T., Tourrand J.-F., Chedid M., Opplert M. & Maraval M.-C. (2025). *Past, Present and Future Challenges in Mountain Transhumance*. CIRAD, Montpellier, 152 p.
- Swindles G.T., Mullan D.J., Brannigan N.T., Fewster R.E., Sim T.G., Gallego-Sala A., Blaauw M., Lamentowicz M., Jassej V.E.J., Marcisz K., Green S.M., Roland T.P., Loisel J., Amesbury M.J., Blundell A., Chambers F.M., Charman D.J., Evans C.R.C., Feurdean A., & Galloway J.M. (2025). Climate and water-table levels regulate peat accumulation rates across Europe. *Plos One*, 20 (7) : e0327422.
- Tong C.H.M., Noumonvi K.D., Ratcliffe J., Laudon H., Järveoja J., Drott A., Nilsson M.B. & Peichl M. (2024). A drained nutrient-poor peatland forest in boreal Sweden constitutes a net carbon sink after integrating terrestrial and aquatic fluxes. *Global Change Biology*, 30 (3) : e17246.
- Troels-Smith J. (1955). *Karakterisering af løse jordarter*. Danmarks Geologiske Undersøgelse, 4. Række, 3 (10), Reitzel, Copenhagen, 73 p.
- Vilar L., Caudillo G. & de Rigo D. (2016). *Juniperus oxycedrus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In : J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant & A. Mauri (éds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. e013abb+.
- Walden J., éd. (1999). Environmental magnetism: A practical guide. Technical Guide 6. *Quaternary Research Association*, London, 243 p.

# CHANGEMENTS DE VEGETATION ET ANTHROPISATION DANS LA COMBE DES CADES (CEVENNES, FRANCE) : ETUDE POLLINIQUE

Lucas Bardou <sup>1</sup>, Elisa Roumieu <sup>2</sup>, Aurore Stein <sup>3</sup>

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

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

<sup>1</sup> lucasbardou04@gmail.com, <sup>2</sup> elisa.roumieu@orange.fr, <sup>3</sup> aurore17.stein@gmail.com

Encadrement : Camille Henriët, Serge Muller

*Citation* : Bardou L., Roumieu E. & Stein A. (2026). Changements de végétation et anthropisation dans la Combe des Cades (Cévennes, France) : étude pollinique. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 39-55.

---

**Résumé** : L'histoire et la dynamique de la végétation de trois tourbières résiduelles de la Combe des Cades, au cours des deux derniers millénaires, a été reconstituée à partir d'une étude pollinique. La présence de marqueurs de dégradation sur l'ensemble du complexe tourbeux a mis en évidence l'impact anthropique. Une étude approfondie révèle qu'une des trois tourbières, initialement dominée par les Cyperaceae, évolue vers une frênaie au début du 21<sup>e</sup> siècle.

**Mots clés** : Massif central, conservation, tourbières, Holocène, impacts humains

**ABSTRACT**: *Vegetation changes and human impact at Combes des Cades (Cévennes, France): a pollen-based study.* Vegetation history and dynamics of three peatlands of *la Combe des Cades* during the last two millennia has been reconstructed through a pollen study. The presence of degradation markers throughout the peaty complex has highlighted the anthropogenic impact. Finally, an in-depth study revealed that one of the three peatlands, initially a Cyperaceae fen, evolved to a *Fraxinus* grove in the early 21<sup>st</sup> century.

**Keywords**: Massif central, conservation, peatlands, Holocene, human impact

**L**es tourbières sont des zones humides qui accumulent de la matière organique dont la décomposition est fortement ralentie par leur saturation en eau. Elles forment ainsi de véritables puits de carbone et archives du passé (Gorham, 1991 ; Page & Baird, 2016). La tourbe, formée par l'accumulation de matière organique, contient de nombreux restes microfossiles, tels que des spores, des grains de pollen et des palynomorphes non polliniques. L'étude du pollen permet, entre autres, la reconstruction des dynamiques végétales passées et, plus globalement, des changements climatiques et anthropiques

(Reille, 1990). En plus d'être des archives exceptionnelles, les milieux tourbeux abritent une grande richesse d'espèces, parfois spécifiques à ces environnements, ce qui constitue un réel enjeu de conservation.

L'étude de ces archives au cours des dernières décennies a permis de retracer les dynamiques de végétation de la fin du Pléistocène à aujourd'hui (Reille, 1987, 1988 ; Muller, 2005). Entre -15 600 et -12 600 ans, le réchauffement tardiglaciaire entraîne, dans toute l'Europe sud-occidentale, une dynamique des communautés végétales : la steppe-toundra caractéristique du climat glaciaire est remplacée par des végétations ligneuses, progressivement dominées par les

genévriers (*Juniperus*), les bouleaux (*Betula*) et les pins (*Pinus*). Il y a environ 11 500 ans, avec le réchauffement du début de l'Holocène, l'Europe se couvre de forêts de chênes (*Quercus* décidus) et de noisetiers (*Corylus avellana*). Ces forêts diversifiées, riches en ormes (*Ulmus*), érables (*Acer*), frênes (*Fraxinus*) et tilleuls (*Tilia*), remplacent les forêts boréales (Muller, 2005). L'arrivée de la culture néolithique en Europe marque le début de l'agropastoralisme, qui restructure profondément les paysages (Iversen, 1973 ; Behre, 1981 ; Galop et al., 2003). Ces modifications sont enregistrées dans les archives sédimentaires et certains taxons constituent ainsi des marqueurs biostratigraphiques, comme le châtaignier (*Castanea sativa*), introduit par les Grecs il y a 2 500 ans (Muller, 2005 ; Conedera et al., 2004), ou encore le pin (*Pinus sylvestris*-type), marqueur de la déprise agricole et du reboisement de la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, au moment de la révolution industrielle (Reille, 1988).

Ces changements paysagers, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique, sont largement documentés dans les Cévennes (Guenet, 1986 ; Reille, 1988 ; de Beaulieu et al., 1991). L'étude présentée dans cet article porte sur trois carottes issues de trois tourbières distinctes (CDC1, CDC5 et CDC6)

appartenant au complexe tourbeux de la Combes des Cades, au sein du Parc national des Cévennes (Lozère, Massif Central, France : Fig. 1). Notre travail vise (1) à comparer les communautés végétales passées aux actuelles (identifiées à partir de relevés phytosociologiques), (2) à retracer les dynamiques de végétation à l'échelle régionale à l'aide d'analyses polliniques et enfin (3) à mettre en évidence la qualité de l'enregistrement à travers l'abondance pollinique relative des différents sites.

Deux des carottes étudiées (CDC1 et CDC5) ont été datées au radiocarbone afin d'intégrer les dynamiques végétales et anthropiques dans un contexte chronologique. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet d'étude de cette zone, sous l'égide du Parc national des Cévennes, visant, dans un premier temps, à comprendre le milieu étudié, et, dans un deuxième temps, à définir des mesures de conservation adaptées. Cette étude est d'autant plus importante que ces milieux, sensibles au changement climatique, subissent souvent des pressions anthropiques les endommageant, comme la pratique du drainage (Holden et al., 2003). Par ailleurs, les tourbières restent des environnements rares à ces latitudes et notamment en France (Cubizolle & Sacca, 2004 ; Tanneberger, 2017).



Figure 1. Localisation de la Combes des Cades et des trois tourbières étudiées (Google satellite)

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Contexte géographique et phytosociologique des tourbières de la Combes des Cades

Le complexe tourbeux de la Combes des Cades ([Table 1](#)), d'une superficie de 304 ha, est situé en Lozère (Massif Central, France), au sein du parc national des Cévennes. Il est inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO comme paysage culturel de l'agropastoralisme méditerranéen. Ce site est classé Natura 2000, soit un espace naturel visant à préserver la biodiversité tout en conciliant les activités humaines agropastorales (agriculture, pâturage, sylviculture).

Située dans le bassin versant du Tarn, du confluent de l'Alignon au confluent de la Brousse, sur le contrefort du massif du Mont Lozère, cette zone correspond à un affleurement du socle hercynien ([Deroin & Prost, 1993](#)). Le Mont Lozère est principalement granitique, témoin de l'ancienne chaîne Varisque qui s'étendait sur le territoire français. Par-dessus cette couche, une couverture liasique d'origine sédimentaire a été déposée, riche en calcaires dolomitiques. Cette histoire géologique complexe engendre un milieu riche en failles et en résurgences ([Goubet, 2025](#)), où les tourbières du site de la Combes des Cades se sont formées.

Table 1. Coordonnées géographiques des zones d'études

	Latitude (dd)	Longitude (dd)	Altitude (m)
Complexe tourbeux	44.4106042° N	3.57844375° E	850-1180
CDC1	44.417282° N	3.565646° E	1 044
CDC5	44.411828° N	3.571616° E	1 002
CDC6	44.411392° N	3.574413° E	1 034

La particularité des tourbières étudiées réside dans leur alcalinité liée à la nature calcaire et dolomitique des formations géologiques environnantes. Elles présentent un pH plus élevé (>6) que celui des tourbières acides caractérisées par un pH inférieur à 4 ([Julve et al., 1989](#)), comme celles habituellement rencontrées sur le Mont Lozère ([Terral & Muller, 2020](#)). Les tourbières de la Combes des Cades sont mésotrophes, c'est-à-dire qu'elles contiennent une quantité non négligeable de phosphore et d'azote, ce qui favorise le développement d'une végétation différente et spécifique à ces conditions.

La géologie du site permet d'expliquer l'alimentation en eau de ces tourbières minérotrophes. L'eau de pluie s'infiltre dans la couche sédimentaire jusqu'au socle imperméable, formant ce qu'on appelle le mur de la nappe. Au contact de ce dernier, l'eau s'écoule le long du paléorelief jusqu'aux émergences où se sont formées les tourbières.

Le réseau hydrographique de la zone est marqué par trois ruisseaux : le ruisseau de la Combes des Cades, le ruisseau de Lachamp et le ruisseau des Combettes.

Le climat particulier du site ([Gachon, 1946](#)), à la transition entre les zones méditerranéenne et montagnarde, entraîne des alternances entre des périodes de sécheresse, de gel et de fortes pluies lors des événements cévenols. La moyenne annuelle des températures avoisine 14°C ; les précipitations s'élèvent à 1 284 mm/an.

Dans ce complexe, trois tourbières ont été étudiées : CDC1, CDC5 et CDC6 ([Table 1](#)). La végétation diffère entre les trois sites, mais demeure spécifique à la Combes des Cades. Les fens sont caractérisés par plusieurs espèces de *Carex* (*C. davalliana*, *C. demissa*, *C. echinata*, *C. flacca*, *C. hirta*, *C. lepidocarpa*, *C. nigra*), ainsi que par *Cirsium palustre*, *Juncus acutiflorus* et *Lotus*

*pedunculatus*. Certaines plantes, comme *Carex davalliana*, *Parnassia palustris* et *Sanguisorba officinalis*, reflètent leur caractère alcalin. La tourbière CDC5, en partie boisée (frênaie à *Fraxinus excelsior*), est dominée par un couvert herbacé pauvre, composé d'*Eupatorium cannabinum*, répandue dans les mégaphorbiaies hygrophiles, et de *Galium mollugo*.

## 2- Terrain

Le 27 août 2025, une séquence sédimentaire a été prélevée sur la tourbière CDC6 d'une profondeur de 304 cm. Les carottes des deux autres sites, CDC1 (184 cm) et CDC5 (176 cm), ont été réalisées précédemment, le 18 juin 2025. Les carottages ont été effectués à l'aide d'un carottier russe d'1 m de longueur et de 5 cm de diamètre. Des relevés phytosociologiques ont été réalisés sur chaque site de carottage afin de recueillir des données sur la végétation actuelle. Des transects ont également été réalisés afin d'obtenir la topographie des zones étudiées (Muller et al., 2026), à l'aide d'une tige métallique, pour permettre une meilleure compréhension de la formation des tourbières. Cela a permis d'identifier les profondeurs maximales, où les carottages ont été réalisés. L'accumulation a atteint des profondeurs supérieures à 2 m à CDC5 et à 3 m à CDC6. À CDC1, l'accumulation s'est faite de manière hétérogène, avec certaines profondeurs dépassant 2 m.

## 3- Extraction chimique du pollen, datation des séquences et identification du pollen

### *Extraction chimique du pollen et préparation des lames*

L'extraction des grains de pollen et des spores a été réalisée conformément au protocole de Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986). Un total de 26 échantillons de 1 cm<sup>3</sup> ont été prélevés le long des 3 séquences CDC 1, 5 et 6, tous les 32 cm. Le volume des échantillons de sédiment a été mesuré par déplacement d'eau, puis les sédiments ont été tamisés à 0,5 mm. Plusieurs étapes ont permis

d'éliminer le matériel non pollinique : les carbonates (acide chlorhydrique, HCl, 20 %), la matière organique (hydroxyde de potassium, KOH, 10 % et acétolyse, mélange d'anhydride acétique et d'acide sulfurique concentré), la silice (acide fluorhydrique, HF, 70 %).

Les lames ont été montées à partir des culots et les lamelles fixées à l'aide d'histolaque. Pour éviter la migration du matériel pollinique au sein des lames, elles ont été stockées à l'horizontale.

### *Datation radiocarbone*

Afin d'avoir une idée précise de l'âge des sédiments étudiés, deux échantillons de CDC1 (à ~190 et 100 cm) et de CDC5 (à ~175 et 125 cm) ont été envoyés au Poznań Radiocarbon Laboratory (Pologne) pour une analyse au <sup>14</sup>C. Les âges étalonnés sont exprimés en années cal. BP (*calibrated before present*). Le présent est conventionnellement fixé à l'année 1950. Avec ces résultats, un modèle d'âge a été construit à l'aide du package « Clam » de R (Blaauw, 2010).

### *Observation et identification au microscope*

Les comptages ont été réalisés à l'aide de microscopes (Leica DM750, DM1000, DM LS2 et Olympus CX43), au grossissement x40, par trois analystes. L'identification a été effectuée à l'aide de la collection de référence de l'ISEM et de l'atlas de Reille (1992). Un premier comptage préliminaire de toutes les lames a été effectué afin de déterminer quels niveaux présentaient les plus fortes concentrations polliniques, et donc d'obtenir une tendance des concentrations polliniques le long des carottes. Ce travail a permis de sélectionner les séquences (CDC1 entière, CDC5 entière et CDC6 de 0 à 128 cm) à étudier en priorité et qui bénéficieront d'une analyse détaillée. Chaque lame a été analysée par les trois observateurs, sur des lignes distinctes, afin de limiter le biais observateur. Notre analyse s'est limitée aux taxons polliniques suivants : *Abies alba*, *Castanea sativa*, Cichorioideae, *Erica*-type, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*-type, *Plantago* et Poaceae, ainsi qu'Asteroideae, *Fraxinus* et *Galium*-type pour la tourbière CDC5. Les

autres taxons polliniques non identifiés ont été regroupés sous le terme « Indéterminés ».

#### 4- Traitement des données et analyses statistiques

Les sommes polliniques de nos comptages, trop faibles pour être représentatives, ne permettent pas de construire des diagrammes en pourcentages. Nous travaillerons donc ci-après uniquement avec les concentrations polliniques (exprimées en nombre de grains.cm<sup>-3</sup>). Après addition des comptages des différents observateurs, un diagramme des concentrations polliniques en cm<sup>3</sup> a été réalisé à l'aide des packages « Tidyverse », « Rioja » et « Vegan » du logiciel R.

Deux tests de corrélation linéaire de Pearson ont été réalisés avec le logiciel R entre nos concentrations et celles obtenues par notre encadrant (Serge Muller).

Les concentrations polliniques ont été calculées selon la formule suivante :

$$C = \frac{NP \times LT \times VC}{LC \times VG \times VS}$$

Avec : C, concentration pollinique ; NP, nombre de grains de pollen comptés ; LT, nombre total de lignes ; VC, volume du culot (ml) ; LC, nombre de lignes comptées ; VG, volume de la goutte (ml) ; VS, volume de sédiment (cm<sup>3</sup>).

### RESULTATS

#### 1- Datation radiocarbone

Les datations obtenues indiquent que le début de la sédimentation remonte à l'Âge du Fer (2610 cal. BP) à CDC1 et au Moyen Âge (970 cal. BP) à CDC5 (Muller et al., 2026). La séquence CDC6 n'a pas pu être datée à temps pour la rédaction de cette étude.

#### 2- Comptage préliminaire, diagramme pollinique et corrélation linéaire

Des tests de corrélation de Pearson ont été réalisés entre nos concentrations polliniques et celles de notre encadrant pour CDC5. Le premier par profondeur (r=0,91 ; p<0,01) et le second par profondeur et par taxons (r=0,87 ; p<0,01). Cela montre que nos résultats sont corrélés à ceux de S. Muller et qu'ils suivent la même tendance (Annexe 1).

Les comptages préliminaires (concentrations totales sans identification ; Fig. 2) montrent une forte variabilité entre les carottes et des concentrations polliniques faibles par rapport aux autres tourbières du Mont Lozère, telles que la tourbière des Nassettes (Bonnet et al., 2020), avec des moyennes d'environ 32 000 (CDC1), 22 500 (CDC5) et 2 100 grains.cm<sup>-3</sup> (CDC6). Les 3 séquences étudiées montrent deux maximums, le premier en profondeur (128 cm à CDC1, 96 cm à CDC5 et 65 cm à CDC6) et le second en surface. Les niveaux situés en dessous de 160 cm à CDC6 sont quasiment stériles. Sur l'ensemble des carottes (Figs. 3 et 4 ; Annexe 2), les taxons les plus représentés sont *Pinus sylvestris*-type (en surface) et les Poaceae.

À CDC1 (Fig. 3A), les PNA et *Abies alba* dominant dans les échantillons les plus profonds. Les PNA et les PA s'équilibrent à 50 cal. BP, puis le PA domine en surface. À CDC5 (Fig. 4), les Cyperaceae sont fortement représentées au-dessus de 160 cm de profondeur, à l'exception de la surface, où *Fraxinus* et *Galium*-type dominant. On note l'occurrence de *Callitriche/Potamogeton* de 4100 à 200 cal. BP, de *Fagopyrum esculentum* entre 410 et 100 cal. BP, de *Secale cereale* de 200 à 30 cal. BP et de *Triticum* entre 410 et -30 cal. BP. Enfin, à CDC6 (Fig. 3C), le PA est toujours dominant, sauf à 128 cm, et on observe la présence de *Castanea sativa*, un marqueur chronostratigraphique, à 64 cm.

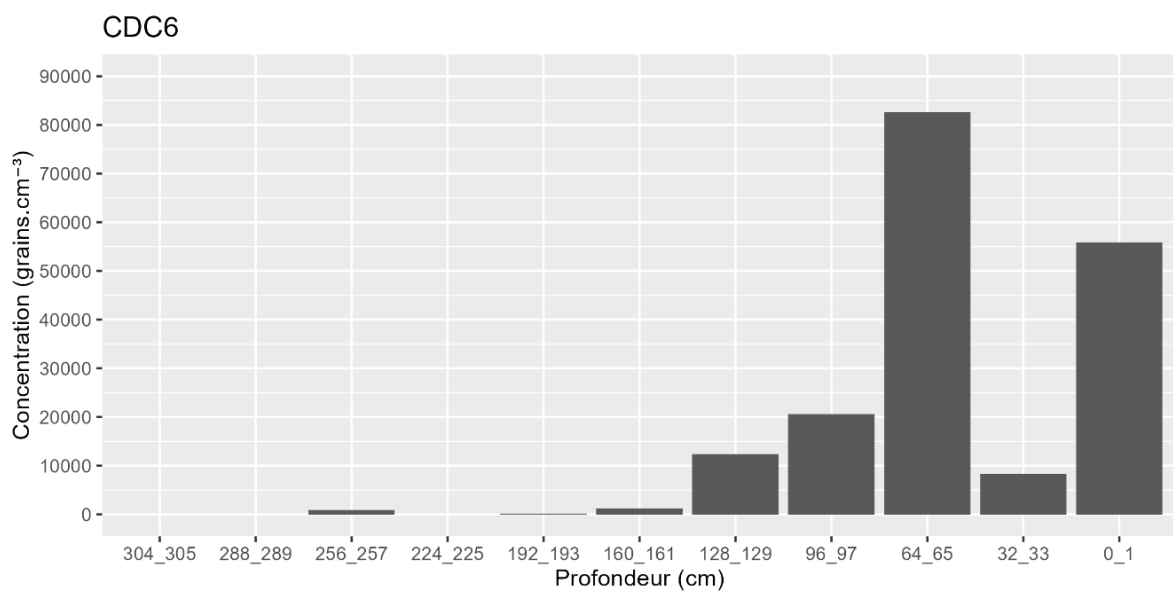
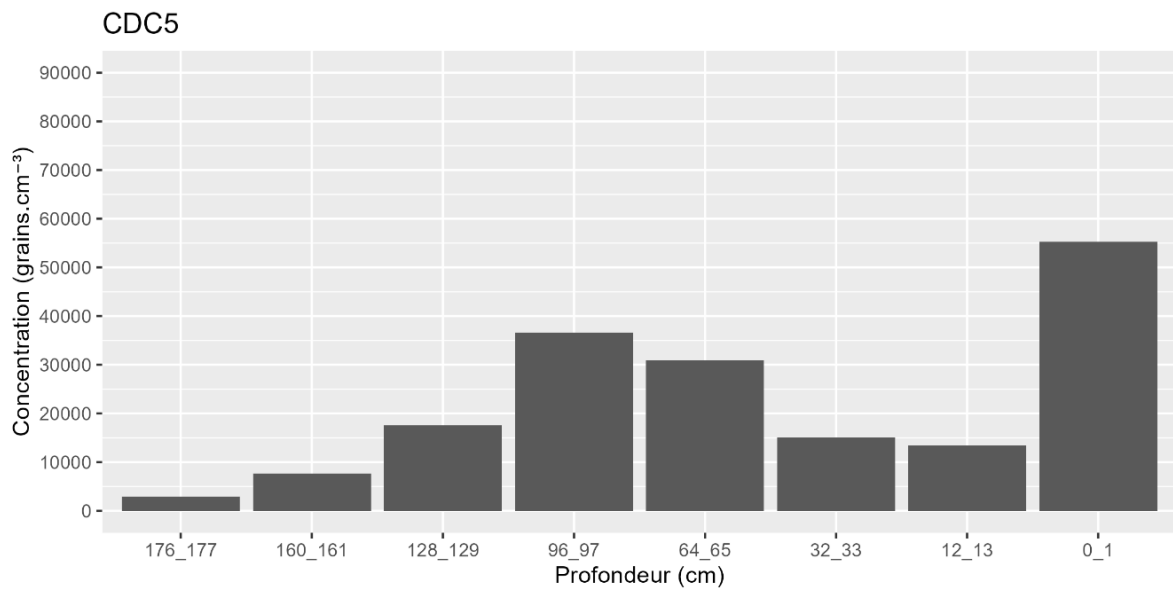
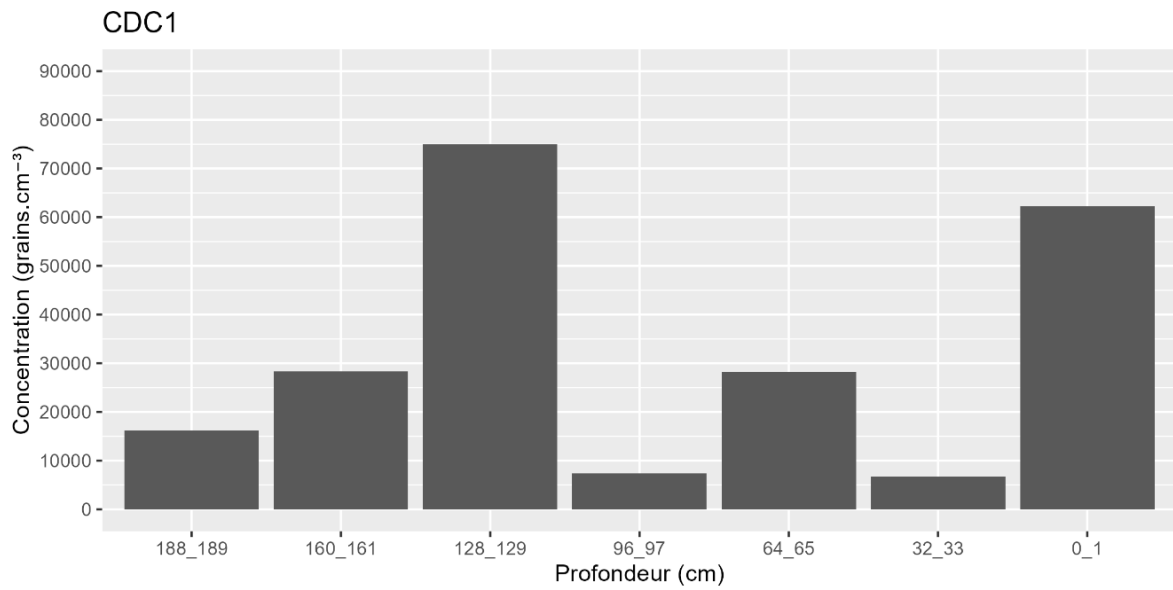


Figure 2. Concentrations polliniques (cm<sup>3</sup>) des trois carottes en fonction de la profondeur

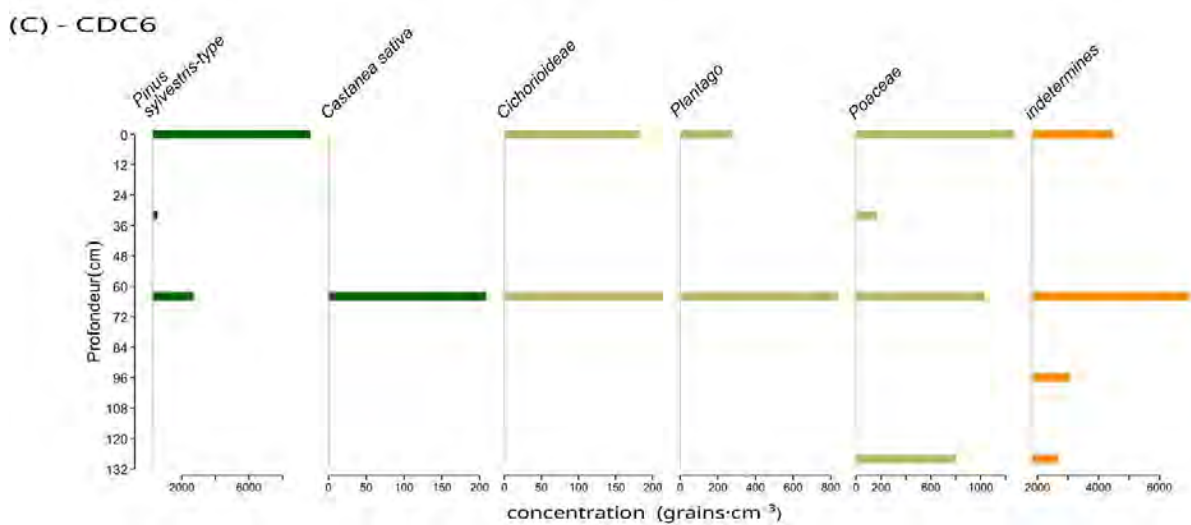
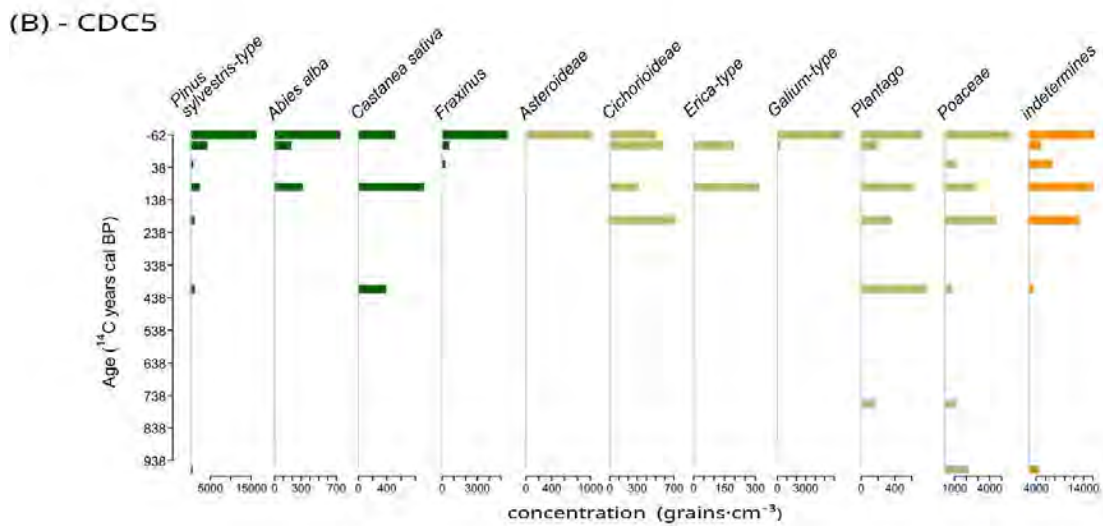
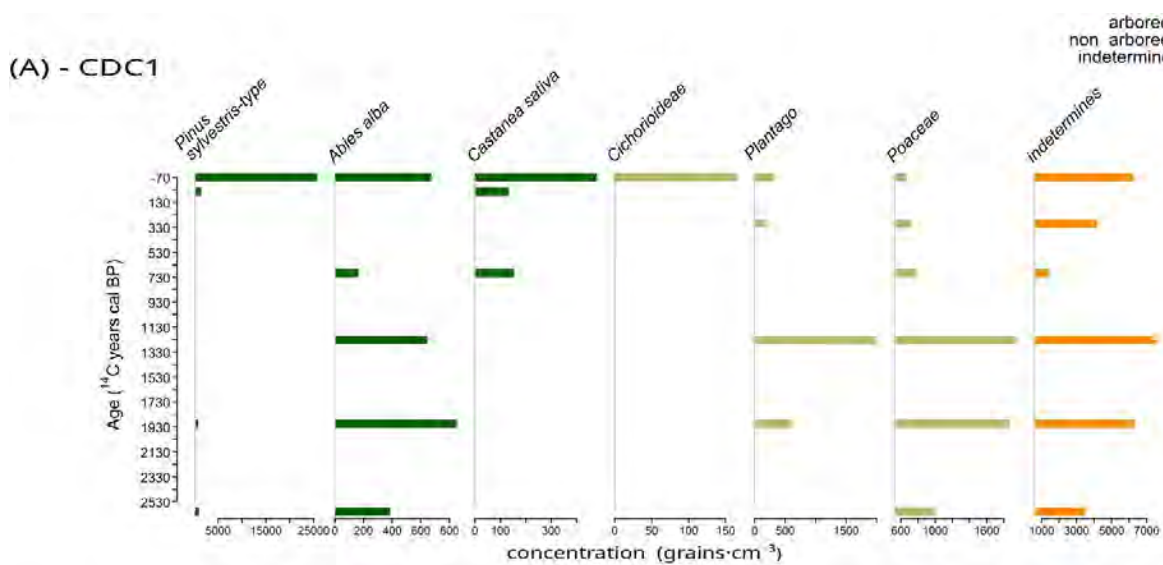


Figure 3. Diagrammes polliniques en concentrations des trois séquences étudiées : A, CDC1 ; B, CDC5 ; C, CDC6. Les diagrammes A et B sont représentés en fonction de l'âge (cal. BP). Le diagramme C est présenté en fonction de la profondeur (cm). En vert, pollen arboréen (PA) ; en jaune, pollen non arboréen (PNA) ; en orange, pollen indéterminé.

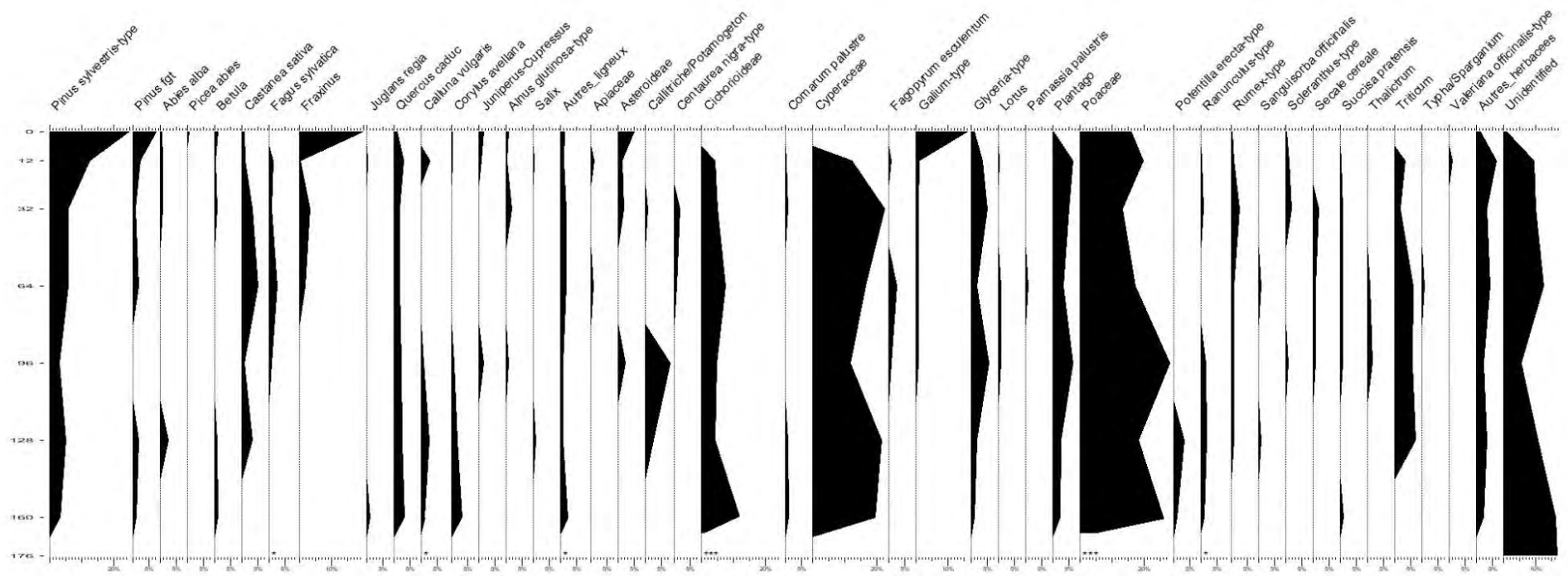


Figure 4. Diagramme pollinique en pourcentage de CDC5 (analyse : S.D. Muller)

## DISCUSSION

L'étude de la carotte CDC5 a été réalisée à partir des données de Serge Muller représentées sur la [Figure 4](#) en pourcentage. Le diagramme de nos concentrations ([Fig. 3](#)) réalisé pour CDC5 permet d'obtenir une idée des incertitudes liées aux comptages.

### 1- Chronologie

Seules les carottes CDC1 et CDC5 ont pu être datées à temps pour l'étude. Ainsi, pour la carotte CDC6, seule une estimation de l'âge à partir de la présence de certains taxons a pu être réalisée. Ces taxons sont le châtaignier (*Castanea sativa*), le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*), le noyer (*Juglans regia*) et le pin (*Pinus sylvestris*-type). L'introduction en Méditerranée occidentale de *Castanea sativa* et de *Juglans regia* est datée du III<sup>e</sup> siècle BCE (Before Common Era) ([Conedera et al., 2004](#) ; [Montecchi & Rattighieri, 2013](#)). Les plantations ne sont pas très importantes à l'Antiquité et ne commencent à être organisées qu'au Moyen Âge. Il faut toutefois attendre les XI<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles pour voir apparaître de grandes châtaigneraies. Le sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum*) fait son apparition en Bretagne dès la fin du XIII<sup>e</sup> siècle, mais les occurrences régulières n'apparaissent qu'au XIV<sup>e</sup> siècle et au début du XV<sup>e</sup> siècle autour de Rennes ([Reinbold, 2017](#)). Il est fort probable que la culture du sarrasin se soit répandue sur le territoire français durant cette période, atteignant ainsi les régions plus méridionales, comme les Cévennes.

À la fin du réchauffement du Tardiglaciaire, *Pinus* colonise l'Europe avant de régresser dans le Massif Central au début de l'Holocène, sous l'effet de la compétition des chênaies ([Muller, 2005](#)). La nette augmentation de *Pinus sylvestris*-type dans les niveaux de surface reflète les politiques de reboisement de la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, et la déprise agricole liée à la révolution industrielle ([Reille, 1988](#) ; [de Beaulieu & Pons, 1979](#)).

La base de CDC1 est datée à 2600 cal. BP, durant l'Âge du fer. *Castanea sativa* est

observé pour la première fois dans cette séquence à 700 cal. BP, soit il y a environ 1250 ans, ce qui correspond à une période postérieure à l'introduction du châtaignier. L'augmentation de *Pinus sylvestris*-type est enregistrée au début du XIX<sup>e</sup> siècle, ce qui correspond une nouvelle fois aux données historiques. Les marqueurs chronologiques retenus pour l'étude correspondent bien aux âges de la carotte, obtenus par datation <sup>14</sup>C.

L'âge basal de la séquence CDC5, estimé à 970 cal. BP, correspond au Moyen Âge en Europe. La base de la carotte ne contient que très peu d'informations polliniques, puisqu'un ruisseau s'écoulait probablement à cet endroit à cette époque ([Belkacemi et al., 2026](#)). *Fagopyrum esculentum* est enregistré entre 410 et 100 cal. BP. Ce qui correspond aux éventuelles dates de propagation des plantations de sarrasin sur le pourtour méditerranéen. L'augmentation de *Pinus sylvestris*-type est enregistrée à 30 cal. BP, ce qui correspond aux années 1920.

Les datations radiocarbone n'étant pas disponibles pour CDC6, seuls les marqueurs palynostratigraphiques permettent d'obtenir une estimation relative de sa chronologie. La présence de *Castanea sativa* à 64 cm de profondeur indique pour cette profondeur un âge minimum postérieur à l'Antiquité et l'augmentation des concentrations de *Pinus sylvestris*-type au-dessus de 32 cm de profondeur marque la révolution industrielle ([Reille, 1989](#)). La séquence CDC6, plus longue que CDC5, pourrait être plus ancienne, mais l'absence de pollen dans les couches minérales en dessous de 160 cm empêche toute reconstitution paléoenvironnementale.

### 2- Histoire de la végétation régionale

La zone étudiée a été marquée depuis les années 1960 par d'importants changements paysagers : par exemple, l'expansion des pinèdes, qui arrivent désormais au niveau de CDC1, et la création d'un chemin reliant les deux branches du GR 670 (Annexe 3).

Les niveaux basaux de la carotte CDC1, datés à 2600 cal. BP, sont marqués par la présence

d'*Abies alba*, *Pinus sylvestris*-type et Poaceae. L'occurrence du sapin, dont le pollen est mal dispersé (de Beaulieu, 1977 ; Reille, 1990), suggère l'existence de forêts matures. Sa disparition pourrait être liée à un défrichement régional (Lemée, 1995). La forte concentration de Poaceae suggère une origine locale (par exemple, la molinie, encore présente aujourd'hui sur les tourbières) ou l'existence à proximité de prairies (pâturages ou fauche). Le pollen de Cichorioideae, en raison de sa grande résistance, est parfois un marqueur de dégradation des assemblages polliniques (Wacnik et al., 2016). Cette hypothèse est toutefois peu probable, au vu de la diversité pollinique observée ici (Fig. 4). Il pourrait en conséquence traduire l'existence de prairies à proximité des zones humides.

Le milieu de la carotte CDC5 est resté assez ouvert depuis le Moyen Âge jusqu'à l'apparition de la frênaie actuelle (Annexe 4). Les assemblages basaux révèlent une tourbière à Cyperaceae, comprenant *Comarum palustre*, *Potentilla erecta*-type, *Ranunculus*-type et *Succisa pratensis*, entourées de prairies de Cichorioideae, *Plantago* et Poaceae (Fig. 4). L'enregistrement, entre 400 et 200 cal. BP, de *Callitriche/Potamogeton*, taxon caractéristique de milieux aquatiques d'eau douce, révèle la présence d'un cours d'eau à la Renaissance. Enfin, les niveaux basaux de CDC6 ne fournissent que peu d'informations, si ce n'est la présence d'une zone ouverte, avec la présence de Poaceae et d'un faible taux de PA. La présence d'un cours d'eau aux abords de cette tourbière jusque dans les années 1960 (Annexe 3) pourrait y expliquer la faible conservation des grains de pollen.

### 3- Marqueurs d'anthropisation

*Plantago*, un marqueur de pâturage (Behre, 1981), est enregistré dès 2000 cal. BP à CDC1 (Fig. 3). Il traduit l'existence locale, à l'Antiquité, de pratiques pastorales, connues par ailleurs dans le Massif central dès l'Âge du Bronze (de Beaulieu et al., 1991 ; Dendievel et al., 2019 ; Reille, 1989). L'enregistrement de la callune (*Calluna*

*vulgaris*) (Fig. 4), que l'on peut trouver à la fois sur landes sèches et buttes de tourbière, traduit sans doute aussi la présence de pâturage (Baudière, 1972 ; Dendievel et al., 2019).

Plusieurs taxons révèlent également l'existence locale passée de champs cultivés dans l'environnement des tourbières : *Fagopyrum*, *Secale cereale* et *Triticum* (Fig. 4). Cela correspond bien aux données de Pudilo Avila & de Beaulieu, (2006), qui montrent que les pratiques agricoles étaient maximales sur le Mont Lozère vers la fin de la période gallo-romaine (Pudilo Avila & de Beaulieu, 2006). *Glyceria*-type, qui comprend l'avoine (*Avena sativa*) et l'orge (*Hordeum vulgare*), comprend également les espèces hygrophiles du genre *Glyceria*, qui pouvaient être présentes dans les cours d'eau de la Combes des Cades. Il n'est malheureusement pas possible de discriminer ces taxons.

L'enregistrement de *Castanea sativa* à partir de 700 cal. BP traduit vraisemblablement l'expansion régionale des châtaigneraies au Moyen Âge.

Enfin, l'augmentation récente (datée à - 30 cal. BP, soit dans les années 1980) à CDC5 des Asteroideae, *Fraxinus* et *Galium*-type (Figs. 3 et 4) traduit l'installation sur le site de la végétation actuelle dominée par *Eupatorium cannabinum*, *Fraxinus excelsior* et *Galium mollugo* (Muller et al., 2026). Cette végétation a remplacé la végétation hygrophile préexistante, dominée par les Cyperaceae (pollen et radicules ; Piroud et al., 2026). Un changement d'activité agricole pourrait avoir favorisé la colonisation de cet espace par le frêne commun (Marigo et al., 2000).

### 4- Limites de l'étude

La forte teneur en minéraux des séquences analysées et leurs faibles concentrations polliniques ont rendu complexes l'analyse et l'interprétation des résultats. Cette faible abondance du pollen peut être expliquée par l'existence d'une zone de passage d'eaux courantes, peu favorables au dépôt des microfossiles.

Enfin, nos concentrations sont inférieures à celles de notre encadrant, ce qui peut être expliqué par le fait que nous sommes débutants. Toutefois, la significativité des tests de corrélation permet de considérer que nos résultats sont exploitables.

## CONCLUSION

En s'accumulant, la tourbe conserve des grains de pollen, ce qui permet de retracer l'évolution des tourbières et, ici, celle du complexe tourbeux alcalin de la Combes des Cades. Comme le montrent *Plantago*, un taxon pollinique marqueur de pâturage, et les Cichorioideae et Poaceae, caractéristiques des milieux ouverts, la zone est pâturée depuis au moins l'Antiquité. L'agriculture est quant à elle présente depuis le Moyen Âge, avec notamment des cultures de seigle, de blé et peut-être également de sarrasin. La tourbière CDC5, qui était une tourbière à Cyperaceae (Figs. 3 et 4 ; Piroud et al., 2026) abritant une population de *Meesia triquetra* (Belkacemi et al., 2026), est détruite dans les années 1980 et remplacée par la végétation actuelle à frêne, eupatoire et gaillet. Enfin, à partir de la révolution industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle, l'ensemble des tourbières enregistre l'expansion des pins sur les versants (Cousin et al., 2026).

Le complexe tourbeux de la Combes des Cades a été soumis à des activités anthropiques continues depuis au moins 2600 ans. Mais la végétation de tourbière s'est maintenue jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle, et ce n'est que très récemment qu'elle s'est dégradée, certaines espèces ayant même disparu du site (Belkacemi et al., 2026).

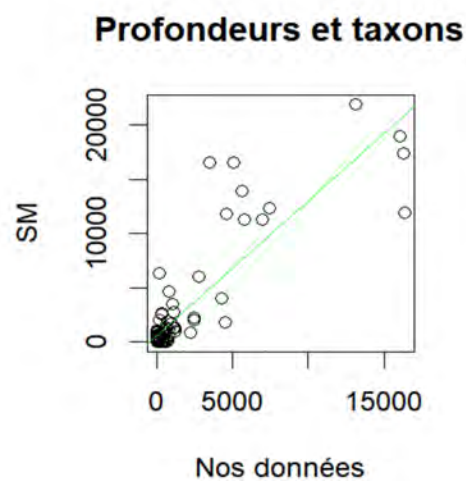
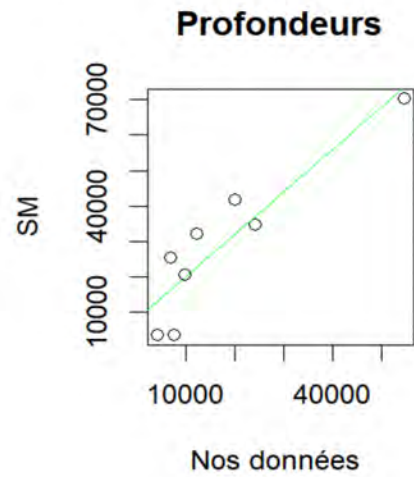
## REFERENCES

- Baudière A. (1972). Contribution à l'étude de la végétation des landes des Monts de l'Espinouse (Cévennes occidentales). *Bulletin de la Société Botanique de France*, 119 (3) : 65-109.
- Behre K.-E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23 : 225-245.
- Belkacemi T., Haverlant O. & Spigarelli L. (2026). Dynamique hydrologique et succession végétale des fens alcalins de la Combe des Cades (Parc National des Cévennes) : approche croisée de la sédimentologie et de l'analyse macrorestes. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 23-38.
- Blaauw M. (2010). Methods and code for "classical" age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5 (5) : 512-518.
- Cousin T., Mazouni S. & Zecchini V. (2026). Installation et dynamique du pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) et du pin sylvestre (*P. sylvestris*) dans la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 75-89.
- Conedera M., Krebs P., Tinner W., Pradella M. & Torriani D. (2004). The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany*, 13 : 161-179.
- Cubizolle H. & Sacca C. (2004). La conservation des tourbières. Enjeux patrimoniaux, modalités de gestion et jeux d'acteurs. *Géocarrefour*, 79 (4) : 267.
- de Beaulieu J.-L. (1977). *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène des Alpes méridionales françaises*. Thèse de Doctorat en Sciences, Université d'Aix-Marseille III, 358 p.
- de Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc National des Cévennes. *Annales du Parc National des Cévennes*, 1 : 101-128.
- de Beaulieu J.-L., Pons A. & Reille M. (1991). La végétation du Massif central depuis 15 000 ans (The history of the vegetation in the Massif central for 15000 years). *Bulletin de l'Association de géographes français*, 68 (1) : 3-10.
- Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. (2020). Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-46.
- Dendievel A.-M., Dietre B., Cubizolle H.,

- Hajdas I., Kofler W., Oberlin C. & Haas J.N. (2019). Holocene paleoecological changes and agro-pastoral impact on the La Narce du Béage mire (Massif Central, France). *The Holocene*, 29 (6) : 992-1010.
- Deroin J.-P. & Prost A. (1993). Déformation tardi-hercynienne du batholite de Villefort (Mont Lozère et Massif de la Borne) et ses rapports avec les sédiments permien du Pont-de-Montvert (Cévennes, Sud-Est du Massif central). *Géologie de la France*, 2 (2) : 23-30.
- Gachon L. (1946). Les variétés régionales du climat dans le Massif Central et le vrai Massif Central climatique. *Géographie Alpine*, 34 : 5-40.
- Galop D., Mazier F., Lopez-Saez J.A. & Vannièr B. (2003). Palynologie et histoire des activités humaines en milieu montagnard. Bilan provisoire des recherches et nouvelles orientations méthodologiques sur le versant nord des Pyrénées. *Archéologie du Midi Médiéval*, 21 : 1-159.
- Gorham E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1 (2) : 182-195.
- Goubet P. (2025). *Compte rendu d'étude commandée par le Parc national des Cévennes. Diagnostic fonctionnel des zones humides alcalines de la zone de conservation spéciale « Combe des Cades » (Ispagnac, Lozère)*. Cabinet Pierre Goubet, Ardes-sur-Couze, 46 p.
- Guenet P. (1986). *Analyse pollinique de la tourbière de Chambedaze et recherches pollen analytiques dans les Monts Dore et le Cézallier, Massif central, France*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille III, 107 p.
- Holdena J., Chapman P.J. & Labadz J.C. (2004). Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography*, 28 (1) : 95-123.
- Iversen J. (1973). *The development of Denmark's nature since the last glacial*. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Copenhagen, 126 p.
- Julve P., Brunhes J. & Miouze C. (1989). Etudes structurales et dynamiques sur des écosystèmes de tourbières acides : 1. Dynamique des groupements végétaux et hydrologie d'une tourbière de l'étage montagnard du Massif Central. *Bulletin d'Ecologie*, 20 (1) : 15-26.
- Lemée G. (1995). Les sapinières disparues et actuelles sur tourbe du Massif Central français. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 61 : 5-32.
- Marigo G., Peltier J., Girel J. & Pautou G. (2000). Success in the demographic expansion of *Fraxinus excelsior* L. *Trees*, 15 (1) : 1-13.
- Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.
- Muller S.D., Henriot C. & Terral J.-F. (2026). Les zones tourbeuses alcalines de la Combe des Cades (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 9-21.
- Montecchi M.C. & Rattighieri E. (2013). *Olea, Juglans and Castanea: the OJC group as pollen evidence of the development of human-induced environments in the Italian peninsula*. *Quaternary International*, 303 : 24-42.
- Page S.E. & Baird A.J. (2016). Peatlands and global change: response and resilience. *Annual Review of Environment and Resources*, 41 : 35-57.
- Piroud J., Ramond Y. & Sarrazin A. (2026). Paléoenvironnements des tourbières de la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère) : étude des palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 57-74.
- Pudilo 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, 312 p.
- Reille M. (1987). L'histoire de la végétation de Margeride (Massif Central, France) depuis quelque cent siècles révélée par l'analyse pollinique de la tourbière de la Fouon de la Bique. *Revue du Gévaudan*, 1987-2 : 17-25.
- Reille M. (1988). Analyse pollinique de la

- tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif Central, France) : réponse à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 1988-2 : 3-7.
- Reille M. (1989). L'origine du Pin à crochets dans le Massif Central français. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 136 (1) : 61-70.
- Reille M. (1990). *Leçons de palynologie et d'analyses polliniques*. CNRS Éditions, Paris, 206 p.
- Reille M. (1992). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Éditions du Laboratoire de botanique historique et palynologie, Marseille, 530 p.
- Reinbold A. (2017). *Dynamiques de la végétation et structuration des paysages : étude interdisciplinaire des paysages agropastoraux des campagnes médiévales du nord de la Haute-Bretagne (XIe–XVIIe s.)*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 2, 524 p.
- Tanneberger F. (2017). The peatland map of Europe. *Mires and Peat*, 19 : 1-17.
- Terral J.-F. & Muller S.D., eds. (2021). Mont Lozère (2). *Orpalm Synthesis*, 14 (1). Université de Montpellier, 152 p.
- Terral J.-F. & Muller S.D., eds. (2024). Margeride 2. *Orpalm Synthesis*, 17 (1). Université de Montpellier, 144 p.
- Wacnik P., Kupryjanowicz M., Mueller-Bieniek A., Karczewski M. & Cywa K. (2016). Determining the responses of vegetation to natural processes and human impacts in north-eastern Poland during the last millennium: combined pollen, geochemical and historical data. *Vegetation History and Archaeobotany*, 25 : 479-498.

ANNEXE 1. Courbes de corrélation pour CDC5 entre nos données de concentration pollinique et celles de Serge Muller, par profondeurs (en haut) et par taxons polliniques et profondeurs (en bas).



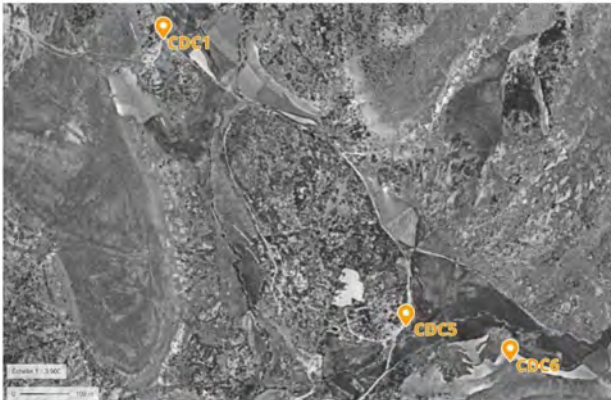
ANNEXE 2. Comptages polliniques (cumul des trois observateurs) pour les trois carottes (CDC1, 5 et 6)

CDC1	Profondeur (cm)	0	32	62	96	128	160	188
	<i>Abies alba</i>	4	-	-	1	2	4	2
	<i>Pinus sylvestris</i> -type	157	23	1	1	1	4	5
	<i>Castanea sativa</i>	3	2	-	1	-	-	-
	<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Erica</i> -type	-	-	-	-	-	-	-
	Cichorioideae	1	-	-	-	-	-	-
	<i>Plantago</i>	2	-	1	-	6	3	-
	Poaceae	4	8	4	5	6	9	5
	Indéterminés	38	9	23	9	23	30	18

CDC5	Profondeur (cm)	0	12	32	62	96	128	160	176
	<i>Abies alba</i>	4	1	0	1	0	0	0	0
	<i>Pinus sylvestris</i> -type	64	22	3	8	3	3	1	2
	<i>Castanea sativa</i>	2	0	0	3	0	1	0	0
	<i>Fagus sylvatica</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Fraxinus</i>	22	3	1	0	0	0	0	0
	<i>Erica</i> -type	0	1	0	1	0	0	0	0
	Asteroideae	4	0	0	0	0	0	0	0
	Cichorioideae	2	3	0	1	2	0	0	0
	<i>Galium</i> -type	27	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Plantago</i>	3	1	0	2	1	2	1	0
	Poaceae	23	1	4	9	13	2	7	7
	Indéterminés	65	26	27	52	38	9	14	14

CDC6	Profondeur (cm)	0	32	64	96	128	160	192
	<i>Abies alba</i>	5	0	0	0	0	0	0
	<i>Pinus sylvestris</i> -type	107	11	13	2	1	0	0
	<i>Castanea sativa</i>	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Fagus sylvatica</i>	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Erica</i> -type	0	2	0	0	0	0	0
	Cichorioideae	2	0	2	0	0	0	0
	<i>Plantago</i>	3	0	4	0	0	0	0
	Poaceae	14	3	5	0	3	0	0
	Indéterminés	50	33	34	23	10	0	0

ANNEXE 3. Évolution de la Combes des Cades par vue aérienne entre 1955 (en haut) et 2023 (en bas) (Géoportail).



ANNEXE 4. Évolution du site CDC5 entre trois photographies aériennes, le 08/06/2004 (en haut), le 13/07/2015 (au milieu) et en 2023 (en bas) (IGN - Remonter le temps). La zone du carottage est mise en évidence par un marqueur rouge.





# PALEOENVIRONNEMENTS DES TOURBIERES DE LA COMBE DES CADES (ISPAGNAC, LOZERE) : ETUDE DES PALYNOMORPHES NON POLLINIQUES

Jonathan Piroud <sup>1</sup>, Ylona Ramond <sup>2</sup>, Aksel Sarrazin <sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>piroudjonathan@gmail.com, <sup>2</sup>ylona.ramond@gmail.com, <sup>3</sup>aksel.sarrazin@gmail.com

Encadrement : Camille Henriët, Serge Muller

*Citation* : Piroud J., Ramond Y. & Sarrazin A. (2026). Paléoenvironnements des tourbières de la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère) : étude des palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 57-74.

---

**Résumé** : Les palynomorphes non-polliniques ont été étudiés sur une séquence du complexe de la Combe des Cades remontant à un millénaire. Ils ont été répertoriés, puis regroupés par affinités écologiques. Les résultats obtenus confirment l'existence ancienne de processus érosifs liés au fonctionnement des ruisseaux. Ils apportent également des renseignements sur l'anthropisation du milieu, déjà visible au Moyen âge. L'augmentation de la diversité des champignons coprophiles entre 1650 et 1850 EC suggère à cette période l'intensification des pratiques pastorales. Dans la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle, l'extension des cultures dans les vallons tourbeux a entraîné la régression des communautés tourbigènes de la Combe des Cades.

**Mots clés** : impact anthropique, agropastoralisme, champignons coprophiles, érosion

**Abstract**: *Paleoenvironments of peatlands of Combe des Cades (Ispagnac, Lozère): study of non-pollen palynomorphs.* Non-pollen palynomorphs were studied in a sequence from the Combe des Cades complex dating back a millennium. They were inventoried and then grouped according to ecological affinities. The obtained results confirm the ancient existence of erosive processes linked to stream flow. They also provide information on the human impact on the environment, already visible in the Middle Ages. The increase in the diversity of coprophilous fungi between 1650 and 1850 CE suggests an intensification of pastoral practices during this period. In the second half of the 20th century, the expansion of agriculture in the peaty valleys led to the decline of the peatland communities of Combe des Cades.

**Keywords**: anthropic impact, agropastoralism, coprophilous fungi, erosion

**U**ne tourbière est un écosystème où s'accumule de la tourbe (matière organique partiellement décomposée), grâce à un bilan hydrique positif créant un engorgement durable et

des conditions anoxiques (Julve, 1996 ; Cugny et al., 2010). L'initiation de l'entourbement dépend de l'installation d'une flore turfigène dans une topographie généralement concave et peu drainée (Pons

et al., 1989 ; Degorce, 1995 ; Cubizolle et al., 2004). Les tourbières se distinguent, selon leur alimentation hydrique, en systèmes ombrotrophes (bogs), alimentés par les précipitations, et minérotrophes (fens), dépendants des eaux de drainage d'un bassin versant (Cubizolle, 2019).

#### *Des archives paléoécologiques*

Au-delà de leur rôle de puits de carbone, les tourbières constituent d'excellentes archives paléoécologiques. Les conditions anoxiques favorisent une bonne conservation du pollen, permettant la reconstitution de la végétation passée. Elles permettent également la conservation d'autres microfossiles biotiques, appelés palynomorphes non polliniques (PNPs). Ces derniers regroupent essentiellement des microrestes végétaux, des microalgues, des spores de champignons, de la microfaune et des protozoaires (Cugny, 2011b). Leur faible dispersion en fait des indicateurs privilégiés des conditions paléoenvironnementales locales (van Geel, 2001), renseignant notamment sur les activités pastorales (Gauthier & Jouffroy-Bapicot, 2021), les dynamiques de feu, la présence de certains taxons végétaux ou animaux (Van Asperen et al., 2021 ; Wellman & Ball, 2021), ainsi que sur le fonctionnement hydrologique et trophique des tourbières (Shumilovskikh et al., 2021).

#### *Origines des tourbières du mont Lozère*

Les plus anciennes tourbières de la région du mont Lozère se sont développées à la fin de la dernière glaciation, qui a modelé les réseaux hydrographiques du Massif central, générant des zones mal drainées propices à l'accumulation de matière organique (Miras et al., 2004 ; Cubizolle et al., 2012 ; Muller et al., 2019). La tourbière des Nassettes, située sur le mont Lozère, a ainsi permis de reconstituer l'histoire de la végétation régionale sur les derniers 15 000 ans (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006 ; Bonnet et al., 2020). Mais beaucoup sont plus récentes et parfois même d'origine anthropique. Quelle que soit leur origine, la plupart des tourbières du Mont

Lozère ont été fortement influencées par les pratiques agropastorales (déboisement, usage du feu) qui ont, à partir du Néolithique, modifié les réseaux hydrographiques et localement favorisé la turfigenèse (Cubizolle, 2009).

#### *Une histoire socio-écologique*

Les steppes à armoises et Amaranthaceae qui dominaient les paysages régionaux au début du Tardiglaciaire sont remplacées au cours du Bölling-Alleröd par des formations arbustives à genévriers et bouleaux, puis arborées à pins (Muller, 2005). Au début de l'Holocène, des forêts caducifoliées à noisetiers et chênes s'installent, avant d'être à leur tour remplacées vers 6300-6000 cal. BP par la hêtraie-sapinière (de Beaulieu & Gilot, 1972 ; de Beaulieu, 1974 ; de Beaulieu & Pons, 1979 ; Heinz & Thiébault, 1998). Les données palynologiques du sud de la France révèlent ensuite une ouverture progressive des paysages à partir du Néolithique, liée à l'essor de l'agriculture et du pastoralisme. Les principaux indices palynologiques de ce changement sont la baisse du pollen arboréen, l'augmentation des herbacées et la présence de spores de champignons coprophiles, témoins de la présence locale d'herbivores (Pulido Avila, 2006 ; Bombeau & Musco de Caires, 2021 ; Clerc et al., 2022). Les feux, utilisés pour l'agropastoralisme, s'intensifient durant les périodes gallo-romaine et médiévale, et se prolongent jusqu'à l'époque industrielle (Reille, 1988 ; Pulido Avila, 2006 ; Servera Vives, 2014). Aujourd'hui, des pratiques agropastorales (pâturage, fauche) persistent autour du complexe tourbeux de la Combe des Cades. S'y ajoutent des usages touristiques susceptibles d'exercer une pression de piétinement sur ces milieux sensibles.

#### *Problématique*

L'étude paléoenvironnementale pluridisciplinaire de la Combe des Cades a pour but de reconstituer l'histoire écologique passée du site et d'évaluer son intérêt conservatoire. Notre travail porte plus particulièrement sur les PNPs. Ces

microfossiles ont déjà été étudiés sur le Mont Lozère, dans la tourbière du Peschio (Bombeau & Musco de Caires, 2021 ; Clerc et al., 2022), où ils révèlent l'émergence de l'agropastoralisme au Néolithique et l'ouverture du milieu environnant la tourbière à l'Antiquité et au Moyen-Age. Leur étude à la Combe des Cades vise à apporter des informations complémentaires de l'étude pollinique, à la fois plus locales et ciblées sur le pastoralisme. Les problématiques auxquelles nous allons essayer d'apporter des éléments de réponse sont : (1) l'hétérogénéité de l'histoire locale du complexe tourbeux de la Combe des Cades, grâce à la comparaison entre les 3 séquences étudiées ; (2) la dynamique passée de la végétation locale et la paléohydrologie ; et (3) l'importance passée du pâturage.

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Zone d'étude et contexte biogéographique

#### *Localisation, géologie et climat*

Avec une superficie de presque 300 ha, le site Natura 2000 de la Combe des Cades (44°24'48.8"N ; 3°34'38.5"E ; altitude moyenne : 1000 m) se trouve dans le département de la Lozère (48), région Occitanie (Fig. 1). Il est situé dans la zone périphérique du Parc national des Cévennes, sur la commune d'Ispagnac, sur les contreforts du Mont Lozère.

Du point de vue géologique, ce complexe tourbeux se trouve sur des substrats mixtes calco-granitiques, à la zone de contact entre le causse de Sauveterre (roches sédimentaires calcaires) et le mont Lozère (granites résultant de l'orogénèse hercynienne) (Bouladon, 1960). De nombreuses failles permettent des résurgences qui sont à l'origine des tourbières de la zone. En suivant leur classification d'après leur alimentation hydrique (Julve, 1996), nous pourrions classer les tourbières de la Combe des

Cades parmi les tourbières minérotrophes (fens) soligènes. Les eaux de ruissellement en partie calcaires font de ce complexe une zone de "tourbières basses neutro-alcalines".

Située sur une zone de transition entre climats méditerranéen, atlantique et continental, la région présente un particulièrement rude, caractérisé par des épisodes de gel hivernal et de sécheresse estivale (DREAL Occitanie, 2006). Cette particularité climatique permet le développement d'une flore de transition entre le midi méditerranéen et le Massif central (Chauvet & Broyer, 1939).

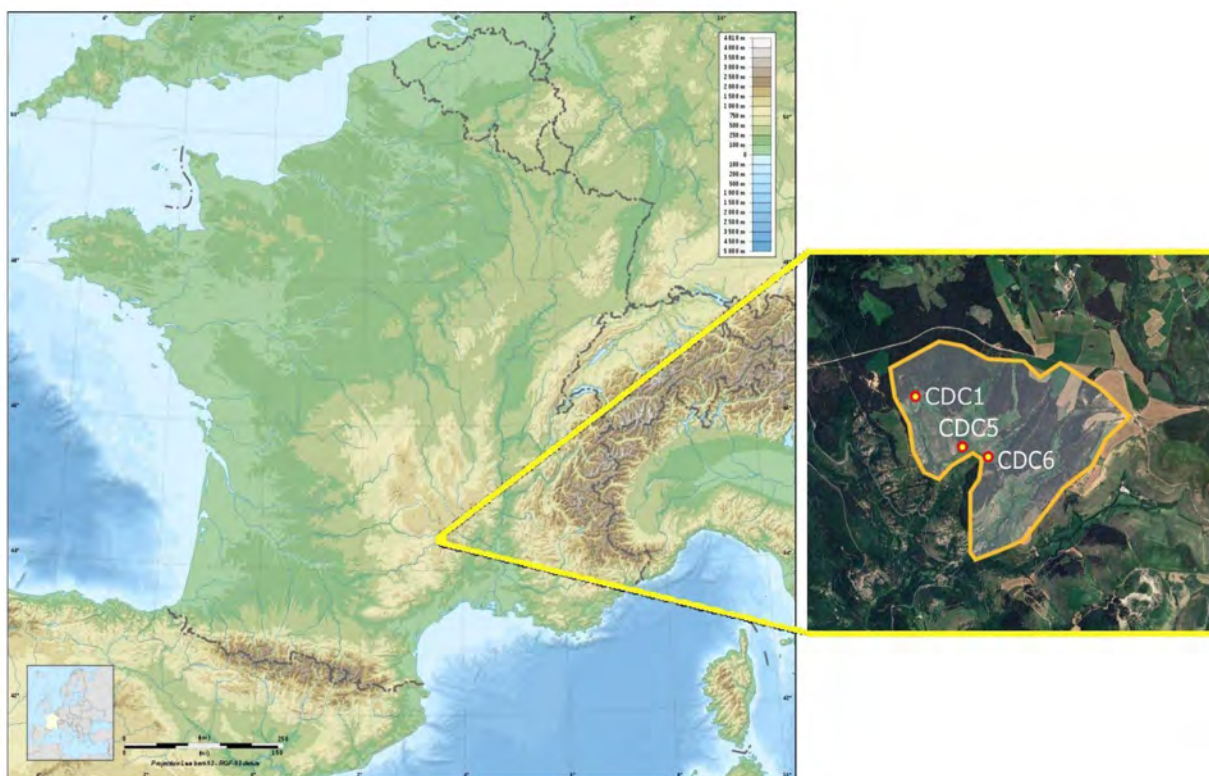
#### *Inventaire floristique du complexe tourbeux*

Les tourbières les moins dégradées sont dominées par des *Carex*, parmi lesquels *C. davalliana*, *C. demissa*, *C. echinata*, *C. flacca* et *C. nigra* (Muller et al., 2026). Elles abritent également d'autres espèces hydrophiles de tourbière, comme *Cirsium palustre*, *Juncus acutiflorus*, *Lotus pedunculatus*, *Molinia caerulea*, *Parnassia palustris* ou *Sanguisorba officinalis*. La tourbière CDC5 diffère par son cortège appauvri, et dominé par *Eupatorium cannabinum*, *Fraxinus excelsior* et *Galium mollugo*.

#### *Faune et flore rares et menacées*

Le site de la Combe des Cades abrite plusieurs espèces rares ou en danger : quelques plantes, comme l'Orchis punaise (*Orchis coriophora*), la Laïche de Davall (*Carex davalliana*) et la Scorzonère pourpre (*Scorzonera purpurea*), mais aussi des animaux, comme l'Écrevisse à pieds blancs (*Austropotamobius pallipes*), la loutre (*Lutra lutra*), le Circaète Jean-le-blanc (*Circaetus gallicus*), l'Alouette lulu (*Lullula arborea*) ou encore le Pie grièche écorcheur (*Lanius collurio*). Toutes ces espèces sont considérées comme d'intérêt communautaire et patrimonial (DREAL Occitanie, 2006).

Figure 1. Localisation de la Combe des Cades et des 3 sites de carottages (sources : Carte du relief de la France, [cartefrance.fr](http://cartefrance.fr), 2025 ; carte satellite, [earth.google.com](http://earth.google.com), 2025)



## 2- Travail de terrain

Des carottages ont été réalisés à l'aide d'un carottier russe de 1 m de long et 5 cm de diamètre (Jowsey, 1966) sur 3 zones tourbeuses : le 18 juin 2025, à CDC1 (profondeur : 184 cm) et CDC5 (profondeur : 176 cm) ; et du 27 au 29 août 2025, à CDC6 (profondeur : 304 cm). Chaque séquence sédimentaire est constituée de plusieurs carottes notées A à D en fonction de leur profondeur. Après prélèvement, une description visuelle a été faite sur le terrain. Les carottes ont été disposées dans des demi-tubes de PVC et emballées hermétiquement. Afin de tracer les profils topographiques des zones, des transects ont été effectués à l'aide de fers à béton de 2 m de long. Des relevés phytosociologiques ont été réalisés sur chaque zone afin de collecter des données sur la végétation actuelle (Muller et al., 2026).

## 3- Travail de laboratoire

### *Extraction des PNPs et montage des lames*

Après description des carottes au laboratoire, nous avons prélevé environ 1 cm<sup>3</sup> de matériel à des profondeurs régulièrement espacées sur les carottes (à 32 cm d'intervalle, plus un prélèvement supplémentaire à 12 cm de profondeur à CDC5) : 7 sur la carotte CDC1, 8 sur la carotte CDC5 et 11 sur la carotte CDC6. Le volume des échantillons a été mesuré par déplacement d'eau. Les PNPs et le matériel pollinique ont été extraits par un traitement chimique suivant la méthode établie par Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986). Pour le montage des lames, 25 µl du culot ont été prélevés à l'aide d'une pipette en verre. Le contenu a été étalé en suivant la forme d'une croix après ajout d'une goutte de glycérine. Une fois la lamelle placée, le montage a été luté à l'histolaque.

### Comptage et identification des PNP

Un premier examen des lames a permis d'exclure les échantillons stériles et de sélectionner ceux retenus pour l'analyse conjointe des PNP et du pollen, en fonction de leur abondance. Les comptages et identifications ont été réalisés au microscope optique (Leica DM750, DM1000, DM LS2 et Olympus CX43) (grossissement  $\times 400$ ). Trois lignes de comptage par lame (« gauche », « milieu », « droite ») ont été définies et réparties entre les observateur·ices. Afin de limiter les biais d'échantillonnage, un minimum de 30 PNP par lame a été fixé ; lorsque ce seuil n'était pas atteint sur une ligne, une à deux lignes supplémentaires pouvaient être ajoutées en prenant une ligne voisine. Les résultats ont ensuite été pondérés en fonction du nombre de lignes comptabilisées par lame.

La séquence CDC5 a été choisie pour sa richesse en PNP. Les 3 échantillons supérieurs de CDC1 ont également été étudiés. L'identification des PNP a été faite sur la base des atlas photographiques de [Jouffroy-Bapicot \(2010\)](#) et [Cugny \(2011\)](#). Les PNP les plus abondants et les mieux identifiés ont été regroupés par préférence écologique ([Table 1](#)). Une fois le quota de PNP atteint pour les 14 lames, les taux de sédimentation basés sur le modèle d'âge ([Muller et al., 2026](#)), et les concentrations et influx en PNP ont été calculés à partir des formules suivantes :

$$(1) C = \frac{NC \times NLT \times VC}{NLC \times VG \times VE}$$

Avec : C, concentration ( $\text{individus}\cdot\text{an}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) ; NC, nombre de PNP comptés ; NLC, nombre de lignes comptées ; NLT, nombre de lignes totales ; VC, volume du culot (ml) ; VG, volume de la goutte (ml) ; VE, volume de l'échantillon (ml).

$$(2) TS = \frac{(P + 1) - PE}{(A + 1) - AE}$$

Avec : TS, taux de sédimentation ; P, profondeur (cm) ; PE, profondeur de l'échantillon (cm) ; A, âge (cal. BP) ; AE, âge de l'échantillon (cal. BP).

$$(3) I = TS \times C$$

Avec : I, influx ; TS, taux de sédimentation ; C, concentration ( $\text{individus}\cdot\text{an}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ).

## 4- Traitement des données

Les données acquises ont été analysées en utilisant les packages "rioja" et "vegan" de R, sous Rstudio (version 4.2.2). Les diagrammes palynologiques ont été réalisés à l'aide de la commande "strat.plot". La zonation a été faite par une classification hiérarchique contrainte selon la distance de dissimilarité de Bray-Curtis en suivant la méthode CONISS ([Grimm, 1987](#)).

## RESULTATS

### 1- Modèle d'âge

Les dates radiocarbone obtenues révèlent que les bases des carottes CDC1 et CDC5 sont datées respectivement à 2600 et 1000 cal. BP (années calendaires *before present*), soit 650 avant (AEC) et 950 de l'ère commune (EC) ([Muller et al., 2026](#)). Les taux de sédimentation montrent des dynamiques similaires, faibles à la base et plus élevées en surface, ce qui traduit à la fois la compaction du matériel et l'effet de la décomposition. A CDC1, le taux de sédimentation apparent initial de 0,04 cm/an augmente jusqu'à 0,66 cm/an ; A CDC5, il passe de 0,08 cm/an à la base à 0,31 cm/an en surface. Les correspondances profondeur-âge des échantillons étudiés sont données [Table 2](#).

Table 1. Liste des PNPs indicateurs identifiés dans les échantillons

Ecologie	PNPs	Codes	Groupe taxonomique	Référence
Milieu acide	<i>Habrotrocha angusticollis</i>	HdV-37	Rotifères	<a href="#">Pociecha et al. (2024)</a>
Milieu alcalin	<i>Spirogyra</i> ?	TM-517	Algues vertes	<a href="#">Cugny (2011)</a>
Eau libre	<i>Botryococcus</i>		Algues vertes	<a href="#">Shumilovskikh et al. (2021)</a>
	<i>Habrotrocha angusticollis</i>	HdV-37	Rotifères	<a href="#">Pociecha et al. (2024)</a>
	<i>Rivularia</i> -type	HdV-170	Cyanophycées	<a href="#">Shumilovskikh et al. (2021)</a>
	cf. <i>Spirogyra</i>	TM-517	Algues vertes	<a href="#">Cugny (2011)</a>
	<i>Zygnema</i> -type	cf. HdV-314b	Algues vertes	<a href="#">Kutikova (2005)</a> ; <a href="#">Bielanska-Grajner et al. (2011)</a>
Milieu sec	Phragmoconidies	HdV-10	Fungi	<a href="#">van Geel (1978)</a>
Milieu ouvert	<i>Gaeumannomyces caricis</i>	cf. HdV-126	Fungi	<a href="#">Cugny (2011)</a>
	<i>Scleroderma</i>	HdV-495	Fungi	<a href="#">Cugny (2011)</a>
Erosion	<i>Glomus</i> cf. <i>fasciculatum</i>	HdV-207	Fungi	<a href="#">Anderson et al. (1984)</a> ; <a href="#">van Geel et al. (1989)</a>
Pastoralisme	<i>Apiosordaria verruculosa</i>	HdV-169	Fungi	<a href="#">Cugny (2011)</a>
	cf. <i>Arnium</i>	TM-392	Fungi	<a href="#">Cugny (2011)</a>
	<i>Arnium</i> cf. <i>imitans</i>	HdV-262		
	<i>Cercophora</i>	HdV-112, TM-247, TM-213	Fungi	<a href="#">Cugny et al. (2010)</a> ; <a href="#">Guarro et al. (2012)</a>
	<i>Podospora</i>	HdV-368	Fungi	<a href="#">Cugny (2011)</a>
	<i>Sordariaceae</i>		Fungi	<a href="#">Van Geel &amp; Aptroot (2006)</a>
	<i>Sporormiella</i> -type	HdV-113	Fungi	<a href="#">Van Geel &amp; Aptroot (2006)</a> ; <a href="#">Doveri (2007)</a> ; <a href="#">Newcombe et al. (2016)</a> ; <a href="#">Doyen &amp; Etienne (2017)</a>
	<i>Trichuris</i>		Nématodes	<a href="#">Brinkkemper &amp; van Haaster (2012)</a> ; <a href="#">Roche et al. (2020)</a>
Anthropisation	<i>Coniochaeta</i>	HdV-6, HdV-172	Fungi	<a href="#">Guarro et al. (2012)</a> ; <a href="#">Jiménez et al. (2019)</a>

Table 2. Correspondance profondeur - âge des échantillons des zones CDC1 et CDC5 et zonation de la séquence CDC5.

Séquence	Profondeur (cm)	Âge (cal. BP)	Âge (ère commune)
CDC1	0	-70	2020
	32	50	1900
	64	300	1650
CDC5	0	-70	2020
	12	-30	1980
	32	30	1920
	64	100	1850
	96	200	1750
	128	410	1540
	160	760	1190
	176	980	970

## 2- Enregistrement des PNPs dans la séquence CDC5

La séquence CDC5 a fait l'objet d'une étude plus approfondie que les deux autres. Les résultats obtenus sont présentés Figures 2 et 3. Notre diagramme (Fig. 2) présente 4 zones, les limites entre zones ayant été fixées à mi-chemin entre les zones adjacentes.

La zone 1 (176-144 cm ; 970-1380 EC) est dominée par des PNPs à écologie variable (des ascomes comme *Pleospora* et des spores de Gastéromycètes), des spores de champignons coprophiles et des restes de microfaune (le Rotifère *Habrotricha angusticollis* et le nématode *Trichuris*).

La zone 2 (144-22 cm ; 1380-1950 EC) est dominée par des PNPs à écologie variable, des paraphyses de *Glomus* cf. *fasciculatum*, des spores de champignons coprophiles (*Cercophora*, *Coniochaeta*, *Sordaria*-type, *Sporormiella*-type) et des radicelles de *Carex*.

La zone 3 (22-6 cm ; 1950-2000 EC) est dominée par des spores de champignons coprophiles, des restes de microfaune (*Habrotricha angusticollis*, le tardigrade *Macrobiotus*, le plathelminthe prédateur

d'invertébrés *Rhabdocoela* et *Trichuris*) et *Glomus* cf. *fasciculatum*.

Enfin, la zone 4 (6-0 cm ; 2000 EC à aujourd'hui) est dominée par des PNPs à écologie variable et des spores de champignons coprophiles.

Le diagramme réalisé par notre encadrant (Fig. 3), présenté en influx, montre clairement une augmentation de l'abondance des NPPs au cours du temps, qui peut être attribuée au régime fluvial de la base de la carotte, peu propice au dépôt des microfossiles, et à l'atterrissement progressif de la zone carottée (Belkacemi et al., 2026). Cette tendance, commune à tous les types de NPPs, ne permet pas de mettre en évidence de changements majeurs dans les assemblages. Tout au plus, il est possible de noter que les champignons sont beaucoup plus abondants et diversifiés que les algues et que la diversité des champignons potentiellement coprophiles augmente entre 1570 et 1780 EC. La fin du 19<sup>e</sup> siècle est en outre marquée par un niveau particulier, où *Sporormiella*-type atteint son maximum, *Entorrhiza* (champignon parasite de Cyperaceae et de Juncaceae ; Bauer et al., 2015 ; Riess et al.,

2019) est très abondant, et où *Gaeumannomyces*, les racelles de *Carex* et les feuilles de Bryophytes atteignent également leurs valeurs maximales.

### 3- Enregistrement des PNPs dans les séquences CDC1 et CDC6

Chacune de ces deux séquences n'a fait l'objet que d'une étude préliminaire, ne portant que sur 3 échantillons pour chacune d'entre elles. Les résultats obtenus sont présentés [Figure 4](#).

La séquence CDC1 est principalement dominée par des restes de microfaune à 64 cm (1650 EC), des racelles de *Carex* et d'hyphopodies de *Gaeumannomyces* cf. *caricis* à 32 cm (1900 EC) et des spores de champignons coprophiles en surface.

La séquence CDC6 est principalement dominée par des PNPs à écologie variable, des racelles de *Carex* et *Gaeumannomyces* cf. *caricis* à 64 cm, des champignons coprophiles et *Glomus* cf. *fasciculatum* à 32 cm, et des PNPs à écologie variable et des restes de microfaune en surface.

### 4- Dynamique passée de la végétation locale et changements paléohydrologiques

La [Table 2](#) renseigne sur l'écologie des palynomorphes non polliniques utilisés comme indicateurs de l'évolution du milieu. La végétation locale est reconstituée par l'observation de racelles de *Carex* et d'hyphopodies de *Gaeumannomyces caricis*. Les co-occurrences courantes entre *Carex* et *Gaeumannomyces* cf. *caricis* confirment l'association de ces 2 taxons ([van Geel & Aptroot, 2006](#)). De plus, l'enregistrement du champignon arbusculaire mycorhizien *Glomus* cf. *fasciculatum* apporte des informations sur le détritisme, car il sporule dans le sol et ses chlamydospores sont susceptibles d'être amenées dans les milieux humides par le détritisme ([Anderson et al., 1984](#) ; [van Geel et al.,](#)

[1989](#)). Toutefois, comme il peut également se développer localement sur les racines des plantes de tourbières ([Kołaczek et al, 2013](#)), son interprétation en termes d'érosion du bassin versant doit être appuyée par d'autres indicateurs, comme la présence de sables ou de graviers. L'observation de PNPs d'algues vertes, telles que *Botryococcus*, *Spirogyra* et Zygnemataceae, indicatrices de conditions humides ([Cugny, 2011](#)), permet de reconstituer la paléohydrologie locale. *Spirogyra* est une algue filamenteuse associée aux petites zones humides riches et alcalines notamment en contexte ouvert et pâturé ([Hainz et al., 2009](#) ; [Cugny, 2011](#)). *Botryococcus* est une algue traduisant la présence de points d'eau douce peu profonds, souvent en milieu tourbeux ([Shumilovskikh et al., 2021](#)).

#### CDC1

*Végétation.* Les concentrations des racelles de *Carex* et des hyphopodies de *Gaeumannomyces* cf. *caricis* présentent une tendance similaire : faibles à 64 cm (1650 EC), ils augmentent à 32 cm (1900 EC) et en surface.

*Hydrologie.* Les concentrations de *Spirogyra*, importants à 64 cm, sont faibles à 32 cm et réaugmentent en surface.

#### CDC5

*Végétation.* La zone 1 présente des concentrations relativement faibles en racelles de *Carex* et les hyphopodies de *Gaeumannomyces* cf. *caricis* sont uniquement présentes à 176 cm (970 EC), en faible concentration. La zone 2 est caractérisée par une augmentation des concentrations de racelles de *Carex*, avec un maximum à 32 cm (1920 EC). Les concentrations des hyphopodies de *Gaeumannomyces* cf. *caricis* restent relativement plus faibles. Les racelles de *Carex* sont totalement absentes des zones 3 et 4, tandis que les hyphopodies de *Gaeumannomyces* cf. *caricis* sont présentes uniquement en zone 3.

Figure 2. Diagramme en concentrations des PNP (en microfossiles/cm<sup>3</sup>) pour la séquence CDC5 (Analyse : Piroud, Ramond & Sarrazin). Les couleurs indiquent le groupe écologique de chaque PNP : en noir, PNP à l'écologie variable ; en rouge, champignons coprophiles ; en marron, champignons micorhiziens, en vert, champignons phytoparasites associés au genre *Carex* ; en orange, microalgues ; en bleu, microfaune (nématodes, protozoaires, tardigrades).

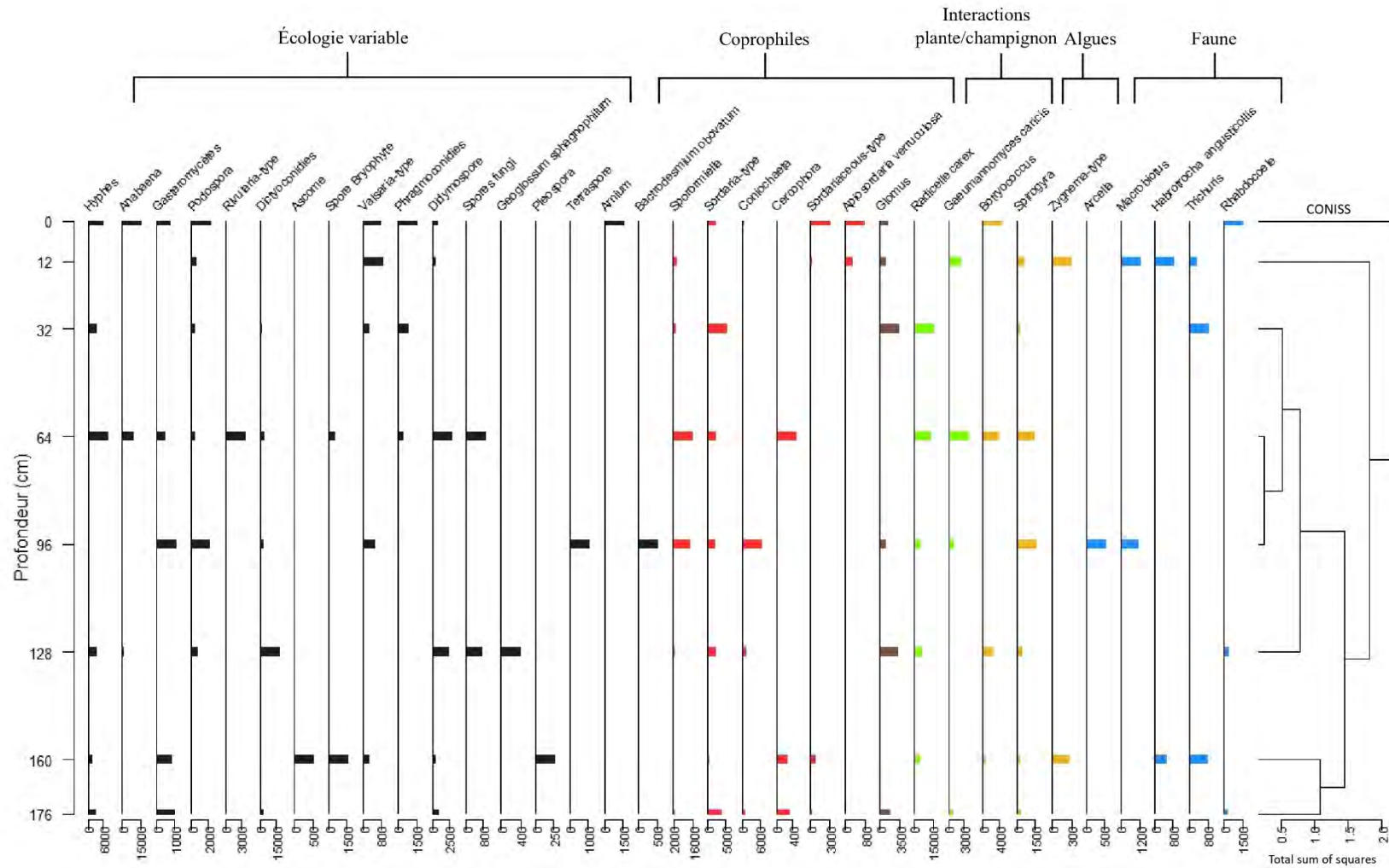
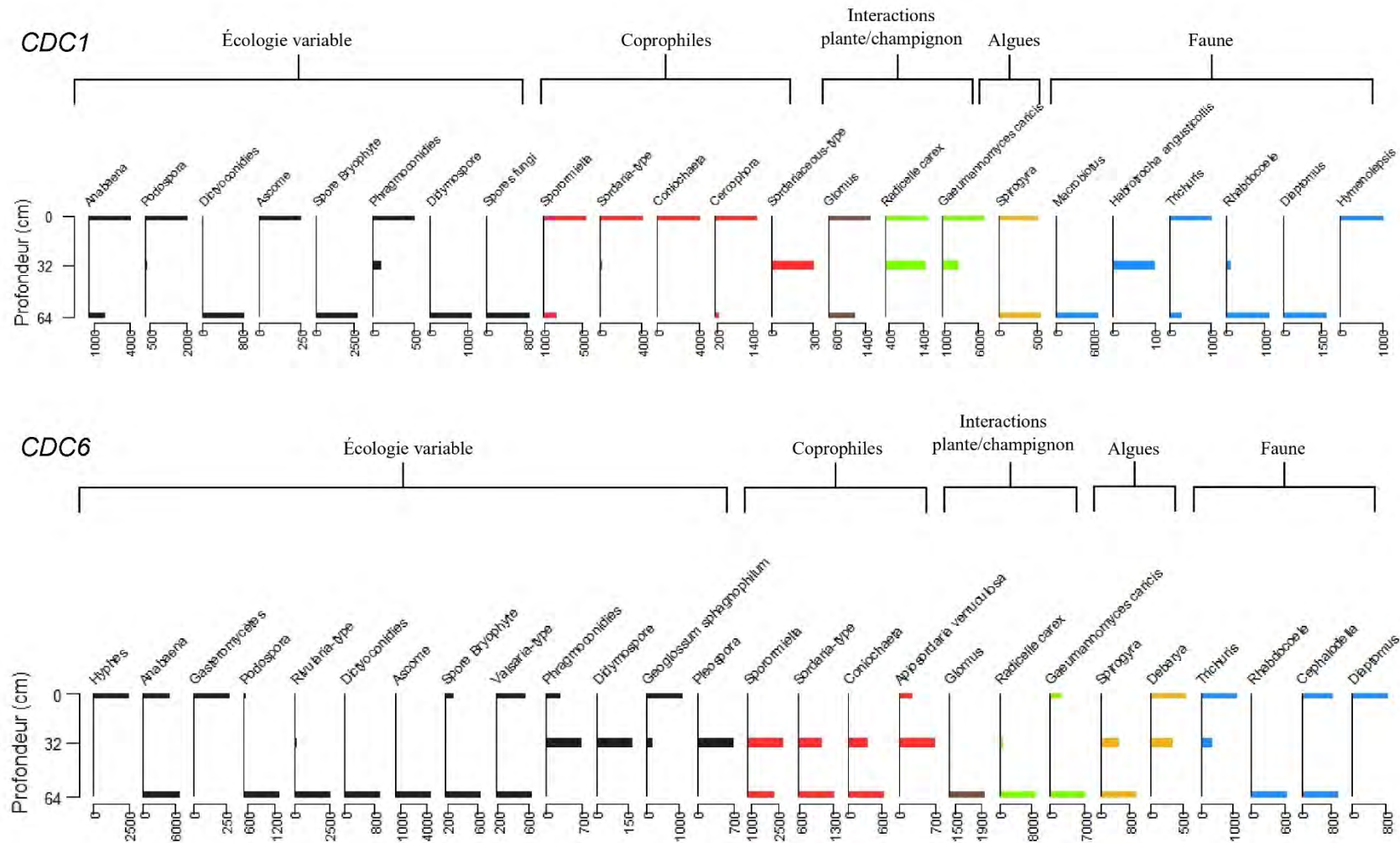




Figure 4. Diagramme en concentrations des PNPs (en microfossiles/cm<sup>3</sup>) pour les séquences CDC1 et CDC6 (Analyse : Piroud, Ramond & Sarrazin).



*Hydrologie.* La zone 1 présente de faibles concentrations d'algues, représentées par *Zygnema*-type uniquement à 160 cm (1190 EC). La zone 2 conserve des concentrations plutôt faibles en algues. *Spirogyra* se retrouve dans toute la zone et présente sa plus forte concentration à 96 cm (1750 EC). L'algue verte *Botryococcus* est présente uniquement à 128 et 64 cm (respectivement 1540 et 1850 EC) tandis que *Zygnema*-type est totalement absente. *Spirogyra* et *Zygnema*-type sont présentes dans la zone 3 à des concentrations relativement. Enfin, *Botryococcus* est la seule algue présente en zone 4.

#### CDC6

*Végétation.* À 64 cm, les racelles de *Carex* et les hyphopodies de *Gaeumannomyces cf. caricis* présentent des concentrations similaires. À 32 cm, les racelles de *Carex* régressent et disparaissent en surface. On observe une dynamique inverse pour les hyphopodies de *Gaeumannomyces caricis*, disparues à 32 cm, mais présentes en faible concentration à 0 cm.

*Hydrologie.* *Spirogyra* est présente à 64 et 32 cm, puis disparaît à 0 cm. L'algue *Debarya* est présente en faibles concentrations à 32 et 0 cm.

### 5- Le pâturage passé

Il est possible de retracer la dynamique du pâturage passé, notamment grâce à la présence de microrestes de champignons saprophytes et coprophiles facultatifs comme *Apiosordaria verruculosa*, *Coniochaeta*, *Sordaria* et *Sporormiella*-type. *Sporormiella*-type, anciennement associée à la mégafaune glaciaire (mammouths), est actuellement liée au pâturage (Van Geel & Aptroot, 2006 ; Davis & Shafer, 2006). Elle est considérée, ainsi qu'*Apiosordaria verruculosa* comme un "dung fungi", un champignon de fumier lié aux herbivores (Van Geel & Aptroot, 2006 ; Doveri, 2007). Toutefois, certains genres inclus dans *Sporormiella*-type, comme *Ohleriella* et *Preussia*, ne sont pas coprophiles (Cugny, 2011 ; Mungai et al.,

2012), ce qui fait de ce taxon un « coprophile facultatif ». *Sordaria*-type correspond à des champignons saprotrophes, en particulier sur sites brûlés, ainsi qu'à des organismes coprophiles facultatifs (Baker et al., 2012). *Coniochaeta* correspond taxon saprotrophe et coprophile facultatif de bovins notamment, avec une affinité variable selon les espèces (Van Geel & Aptroot, 2006 ; Cugny et al., 2010 ; Jiménez et al., 2019).

Les restes de microfaune peuvent aussi servir de proxy pour retracer l'histoire du pâturage passé. C'est le cas par exemple de *Trichuris*, parasite intestinal dont on retrouve les œufs, lié à la présence de porcs, de moutons ou de chèvres (Roche et al., 2020).

#### CDC1

Les profondeurs 64 et 32 cm (respectivement 1650 et 1900 EC) présentent de faibles concentrations de champignons coprophiles, majoritairement *Sporormiella*-type à 64 cm et *Sordariaceus*-type à 32 cm. En surface, les concentrations et la diversité taxonomique sont plus élevés. On retrouve *Cercophora*, *Coniochaeta*, *Sordaria*-type et *Sporormiella*-type.

#### CDC5

La zone 1 présente majoritairement *Sordaria*-type et *Sporormiella*-type, associées à quelques autres champignons coprophiles. La zone 2 est dominée par *Sporormiella*-type qui présente ses plus fortes concentrations à 64 cm (1850 EC). *Coniochaeta* n'apparaît qu'à 96 cm (1750 EC). *Sordaria*-type se retrouve aussi dans cette zone en concentrations relativement homogènes. Globalement, les concentrations des champignons coprophiles sont assez faibles à 128 cm (1540 EC). La zone 3 est dominée par *Sporormiella*-type, mais présente de faibles concentrations pour les autres champignons coprophiles. Enfin, la zone 4 est plutôt diversifiée en champignons coprophiles. On y observe des occurrences d'*Apiosordaria verruculosa*, *Coniochaeta*, *Sordaria*-type, *Sordariaceus*-type et *Sporormiella*-type.

## CDC6

A 64 cm, *Sordaria*-type et *Sporormiella*-type présentent des concentrations plutôt importantes, *Coniochaeta* est présente. À 32 cm, *Sporormiella*-type présente un maximum, *Apiosordaria verruculosa* apparaît. Les concentrations des champignons coprophiles deviennent très faibles en surface et *Coniochaeta* disparaît.

## DISCUSSION

### 1- Histoire locale à l'échelle du complexe tourbeux

Les trois séquences étudiées présentent des cortèges de PNPs relativement similaires (Figs. 2 et 3), ce qui dénote bien leur appartenance à un même complexe humide. Les microalgues sont représentées par *Botryococcus* et des Zygnematophyceae, ce qui correspond à des milieux tourbeux, peu profonds et eutrophes. La présence actuelle de macroalgues du genre *Chara* dans une résurgence proche de CDC6 (Muller et al., 2026) révèle le genre de point d'eau ayant pu accueillir ces microalgues dans le passé. La présence de radicules de *Carex*, associées aux hyphopodies de *Gaeumannomyces caricis*, montre l'existence passée dans les 3 sites de formations herbacées à laîches, ce qui est confirmé par les données polliniques et macrofossiles (Bardou et al., 2026 ; Belkacemi et al., 2026). On peut noter que les deux indicateurs sont absents du niveau de surface de CDC5, ce qui traduit la transformation récente de ce site, très différent aujourd'hui des deux autres, qui sont restés dominés par des formations herbacées à *Carex* (Muller et al., 2026). L'enregistrement des spores de champignons potentiellement coprophiles est continu dans les 3 carottes, suggérant là encore une influence ancienne du pâturage sur l'ensemble du complexe tourbeux.

### 2- Changements paléohydrologiques et dynamique locale de la végétation

À CDC5, les macrorestes révèlent la présence de *Carex* et d'organismes aquatiques (cf.

*Glyceria*, *Potamogeton*, *Ranunculus* sect. *Batrachium*, Trichoptères) tout au long de la séquence (Belkacemi et al., 2026). Ces espèces sont associées depuis 300 ans aux Bryophytes *Palustriella* cf. *falcata* et *Meesia triquetra*, et à la Cypéracée *Rhynchospora alba*, suggérant le développement récent d'une communauté de tourbière alcaline. Les PNPs indicateurs d'humidité (*Botryococcus*, *Habrotricha angusticollis*, *Rivularia*-type, *Spirogyra*, *Zygnema*-type) donnent en revanche un signal plus ambigu : peu abondants à la base, ils augmentent à partir de 1750 EC (Fig. 2). Cette dynamique, également enregistrée à CDC1 (Fig. 2), est attribuée au fait que les ruissellements initiaux, s'ils permettent l'accumulation de dépôts minéraux d'origine détritique (Belkacemi et al., 2026), sont par contre peu propices au développement et au dépôt d'algues planctoniques qui ont besoin d'eau tranquille. De plus, les cortèges enregistrés à CDC5 varient au cours de la séquence : les occurrences de l'algue verte filamenteuse *Zygnema*-type et du rotifère *Habrotricha angusticollis* à 1190 et 1920 EC encadrent une période caractérisée par *Spirogyra* et *Botryococcus* (1540 à 1920 EC). Alors que *Zygnema*-type et *Spirogyra* sont des algues de milieu alcalin et eutrophe (Cugny, 2011 ; Hainz et al., 2009 ; Van Geel et al., 1983), *Botryococcus* et *Habrotricha angusticollis* sont régulièrement trouvés dans des tourbières à sphaignes (Kutikova, 2005 ; Bielańska-Grajner et al., 2011). Ces changements de la composition en PNPs au cours du temps et la coexistence de taxons aux écologies légèrement différentes traduisent probablement l'hétérogénéité spatiale de la tourbière, parcourue de ruisselets et de gouilles qui se déplacent avec l'élévation de la surface de la tourbière. L'analyse réalisée par notre encadrant (Fig. 2), qui ne montre que très peu d'algues et au contraire une abondance de restes fongiques, suggère d'ailleurs un milieu globalement plutôt sec, et est cohérente avec l'hypothèse de ruisselets parcourant la tourbière.

L'abondance locale de diverses espèces de *Carex* est attestée dans les trois tourbières étudiées par la présence d'akènes (Belkacemi

et al., 2026 ; Muller et al., 2026), de pollen de Cyperaceae (Bardou et al., 2026), de radicules de *Carex*, et de restes des champignons phytopathogènes *Entorrhiza* et *Gaeumannomyces* cf. *caricis* (Figs. 2 à 4). La disparition conjointe de ces indicateurs dans le niveau de surface de CDC5 traduit la destruction récente (dans les dernières décennies) de la tourbière, localement remplacée par une mégaphorbiaie à frêne (Muller et al., 2026).

### 3- Importance passée du pâturage

La comparaison des séquences de la Combe des Cades avec celle de la tourbière du Peschio (Bombeau & Musco De Caires, 2021 ; Clerc et al., 2022) met en évidence l'existence passée du pâturage sur l'ensemble du Mont Lozère. Ce pâturage est révélé de manière indirecte à la Combe des Cades par la récurrence de phases de détritisme, identifiées par la présence de sables et de graviers (Belkacemi et al., 2026), associés à des occurrences de *Glomus* cf. *fasciculatum* (Anderson et al., 1984 ; van Geel et al., 1989 ; Kołaczek et al., 2013).

A CDC5, le cortège fongique est dominé par les ascomycètes saprotrophes et coprophiles facultatifs (SCF) *Cercophora* et *Sordaria*-type, accompagnés de diverses Sordariaceae, traduisant un substrat riche en matière organique végétale et fécale en décomposition (Cugny et al., 2010 ; Cugny, 2011 ; Perrotti & Van Asperen, 2019). Bien que ces taxons colonisent aussi d'autres substrats organiques, comme des débris végétaux ou du bois en décomposition (Guarro et al. 2012), leur caractère suggère une présence régulière d'animaux (sauvages ou domestiques).

Dans la zone 2, le cortège des champignons coprophiles se diversifie, avec *Coniochaeta* et *Sporormiella*-type. Bien que certaines espèces du genre *Sporormiella* puissent occasionnellement se développer sur d'autres milieux, son écologie reste avant tout strictement coprophile (Doyen & Etienne, 2017 ; Perrotti & Van Asperen, 2019). Par ailleurs, sa détermination morphologique ne permet pas d'exclure que les spores attribuées

à *Sporormiella*-type incluent également celles de *Preussia*, un genre saprophyte non coprophile (von Arx & van der Aa, 1987 ; Perrotti & Van Asperen, 2019), mais dans cette zone, son rôle d'indicateur de pastoralisme est renforcé par deux observations. D'une part, la présence de *Trichuris* : ce parasite intestinal, inféodé à divers mammifères, est régulièrement associé dans les enregistrements tourbeux à la présence d'excréments d'herbivores (Roche et al., 2020). Sa détection pourrait ainsi signaler une fréquentation du site par le bétail. D'autre part, les données polliniques : l'enregistrement de taxons anthropiques aux affinités rudérales et nitrophiles comme *Plantago* (Montecchi & Rattighieri, 2013 ; Bardou et al., 2026) suggère l'existence de zones de piétinement et un milieu perturbé par des pratiques pastorales. Les occurrences de *Secale cereale* (seigle), *Triticum* (blé), *Fagopyrum esculentum* (sarrasin) et *Juglans regia* (Behre, 1981 ; Montecchi & Rattighieri, 2013 ; Reinbold, 2017 ; Bardou et al., 2026) révèlent les pratiques agricoles régionales.

### 4- Limites de l'étude

La taxonomie et l'écologie des PNPs ne sont pas toujours bien définies (Baker et al., 2012). La conservation différentielle des taxons peut également constituer un biais taphonomique, d'autant plus que le pH peut influencer sur leur préservation (Ejarque et al., 2009 ; Shumilovskikh et al., 2015). Bien que l'abondance des spores de champignons coprophiles dans les séquences de la Combe des Cades suggère la présence passée de troupeaux domestiques, nous ne pouvons exclure l'influence possible des herbivores sauvages. L'échantillon à 160 cm de profondeur à CDC1 devrait faire l'objet d'une analyse afin de pouvoir appuyer les données obtenues avec des PNPs. Enfin, si l'analyse pollinique permet de reconstituer la végétation passée à l'échelle régionale, les PNPs reflètent des dynamiques très locales : un carottage unique ne permet pas de restituer la forte hétérogénéité spatiale de ces milieux puisque quelques centimètres suffisent pour changer totalement la composition de

l'échantillon (Gauthier & Jouffroy-Bapicot, 2021).

## CONCLUSION

L'étude des palynomorphes non polliniques confirme l'intérêt du complexe tourbeux de la Combe des Cades comme archive paléoécologique locale. Les microalgues, cyanobactéries et microrestes fongiques permettent de reconstituer des tourbières parcourues de ruisselets et parsemée de gouilles, développées à partir de résurgence en tête d'un réseau hydrographique. Les radicelles de *Carex*, ainsi que les champignons parasites *Entorrhiza* et *Gaeumannomyces* cf. *caricis*, confirment l'abondance locale des *Carex*, déjà révélée par les données polliniques et macrofossiles (Bardou et al., 2026 ; Belkacemi et al., 2026). Les spores de champignons coprophiles et saprotrophes facultatifs, associées à la présence d'œufs de *Trichuris*, révèlent un pastoralisme ancien, probablement intensifié à partir du 17<sup>e</sup> siècle. L'influence majeure des activités anthropiques est toutefois très récente, et en lien avec la mise en culture mécanisée des sites.

## RÉFÉRENCES

- Anderson R.S., Homola R.L., Davis R.B. & Jacobson Jr. G.L. (1984). Fossil remains of the mycorrhizal fungal *Glomus fasciculatum* complex in postglacial lake sediments from Maine. *Canadian Journal of Botany*, 62 : 2325-2328.
- Baker A. G., Bhagwat S. A. & Willis K. J. (2012). Do dung fungal spores make a good proxy for past distribution of large herbivores? *Quaternary Science Reviews*, 62 : 21-31.
- Bardou L., Roumieu E. & Stein A. (2026). Changements de végétation et anthropisation dans la Combe des Cades (Cévennes, France) : étude pollinique. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 39-55.
- Bauer R., Garnica S., Oberwinkler F., Riess K. & Weiß M. (2015). Entorrhizomycota: A new fungal phylum reveals new perspectives on the evolution of Fungi. *PlosOne*, 0128183.
- Belkacemi T., Haverlant O. & Spigarelli L. (2026). Dynamique hydrologique et succession végétale des fens alcalins de la Combe des Cades (Parc National des Cévennes) : approche croisée de la sédimentologie et de l'analyse macrorestes. *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 23-38.
- Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. In : B.E. Berglund & M. Ralska-Jasiewiczowa (éds.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. John Wiley & Sons, New York, pp. 455-484.
- Bielańska-Grajner I., Cudak A. and Mieczan T. (2011). Epiphytic rotifer abundance and diversity in moss patches in bogs and fens in the Polesie National Park (eastern Poland). *International Review of Hydrobiology*, 96 : 29-38.
- Bombeau A. & Musco de Caires C. (2021). Palynomorphes non-polliniques holocènes et modernes de la tourbière du Peschio (Lozère, France) : utilisation des spores coprophiles, saprophiles et des microalgues pour reconstruire les paléoenvironnements et le pastoralisme. *Orpalm Synthesis*, 14 (1) : 93-108.
- Bonnet C., Filaiti E. & Garcia F. (2020). Histoire et contexte des dynamiques végétales de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, France) depuis le Tardiglaciaire. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 25-46.
- Bouladon J. (1960). Sur les minéralisations en plomb-zinc et antimoine de la périphérie du Mont Lozère. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7 (2) : 906-914.
- Bollena R. S. (1983). Les forêts de la Lozère. *Forêt méditerranéenne*, (1) : 3-44.
- Brinkkemper O. & van Haaster H. (2012). Eggs of intestinal parasites whipworm (*Trichuris*) and mawworm (*Ascaris*): Non-pollen palynomorphs in archaeological samples. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 186 : 16-21
- Chauvet G. & Broyer C. (1939). La végétation du Mont Lozère. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 86 (1) : 52-58.
- Clerc B., David L. & Latapy C. (2022).

- Reconstitution de la dynamique holocène de la tourbière du Peschio (Mont Lozère, France), à partir des palynomorphes non polliniques. *Orpalm Synthesis*, 15 (1) : 89-104.
- Cubizolle H. (2009). *Paléoenvironnements*. Armand Colin, Paris, 272 p.
- Cubizolle H. (2019). Le fonctionnement hydro-écopédologique des tourbières et leur typologie. H. Cubizolle (éds.), *Les tourbières et la tourbe : Géographie, hydro-écologie, usages et gestion conservatoire*. Editions Lavoisier, Paris, pp. 15-30.
- Cubizolle H., Fassion F., Argant J., Latour-Argant C., Galet P. & Oberlin C. (2012). Mire initiation, climatic change and agricultural expansion over the course of the Late Holocene in the Massif Central Mountain Range (France): Causal links and implications for mire conservation. *Quaternary International*, 251 : 77-96.
- 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) : 343-359.
- Cugny C. (2011). *Apports des microfossiles non-polliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen : Entre référentiels actuels et reconstitution du passé*. Thèse de Doctorat, Université Toulouse II - Le Mirail, 280 p.
- Cugny C., Mazier F. & Galop D. (2010). Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque Mountains (western Pyrenees, France): The use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19 : 391-408.
- Davis O. K. & Shafer D. S. (2006). Sporormiella fungal spores, a palynological means of detecting herbivore density. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 237 (1) : 40-50.
- 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.
- de Beaulieu J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont-Lozère : Analyses polliniques et datages. *Comptes rendus Académie des Sciences*, 274 : 1641-1644.
- de Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Recherches pollen-analytiques sur l'histoire de l'action humaine dans la région du Parc National des Cévennes. *Annales du Parc National des Cévennes*, 1 : 101-128.
- Degorce J.-N. (1995). *Les milieux humides dans la Loire*. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, 377 p.
- Doveri, F. (2007). *Fungi fimicoli Italici: a guide to the recognition of basidiomycetes and ascomycetes living on faecal material*. Associazione Micologica Bresadola, Trento, 1104 p.
- Ejarque A., Julià R., Riera S., Palet J. M., Orenge H. A., Miras Y. & Gascón C. (2009). Tracing the history of highland human management in the eastern Pre-Pyrenees: An interdisciplinary palaeoenvironmental study at the Pradell fen, Spain. *The Holocene*, 19 (8) : 1241-1255.
- Gauthier E. & Jouffroy-Bapicot I. (2021). Detecting human impacts: Non-pollen palynomorphs as proxies for human impact on the environment. In : F. Marret, J. O'Keefe, P. Osterloff, M. Pound & L. Shumilovskikh (éds.), *Applications of non-pollen palynomorphs : From palaeoenvironmental reconstructions to biostratigraphy*. Geological Society of London, Londres, pp. 233-244.
- Grimm E.C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13 (1) : 13-35.
- Guarro J., Gené J., Stchigel A. M. & Figueras M. J. (2012). Atlas of soil ascomycetes. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 486p.
- Hainz R., Wöber C. & Schagerl M. (2009). The relationship between Spirogyra filament type groups and environmental conditions in Central Europe. *Aquatic Botany*, 91 (3) :

- 173-180.
- Heinz C. & Thiébaud S. (1998). Characterisation and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during Late and Post-Glacial phases in Southern France. *Quaternary Research*, 50 (1) : 56-68.
- Jiménez D. J., Wang Y., De Mares M. C., Cortes-Tolalpa L., Mertens J. A., Hector R. E., Lin J., Johnson J., Lipzen A., Barry K., Mondo S. J., Grigoriev I. V., Nichols N. N. & Van Elsas J. D. (2019b). Defining the eco-enzymological role of the fungal strain *Coniochaeta* sp. 2T2.1 in a tripartite lignocellulolytic microbial consortium. *FEMS Microbiology Ecology*, 96 (1).
- Jouffroy-Bapicot I. (2010). *Évolution de la végétation du massif du Morvan (Bourgogne, France) depuis la dernière glaciation à partir de l'analyse pollinique : Variations climatiques et impact des activités anthropiques*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 415 p.
- Jowsey P. C. (1966). An improved peat sampler. *New Phytologist*, 65 : 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.
- Kołaczek P., Zubek S., Błaszowski J., Mleczko P. & Margielewski W. (2013). Erosion or plant succession — How to interpret the presence of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) spores in pollen profiles collected from mires. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 189 : 29-37.
- Kutikova L.A. (2005). *Bdelloidnye koovratki fauny Rossii*. KMK, Moscow.
- Miras Y., Vergne V., Guenet P. & Surmely F. (2004). Le Massif Central : premières traces d'anthropisation révélées par l'analyse pollinique des zones humides corrélées aux données archéologiques. In : H. Richard (éds.), *Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Presses Universitaires Franc-Comtoises, Besançon, pp. 89-106.
- Montecchi M. C. & Rattighieri E. (2013). *Olea*, *Juglans* and *Castanea*: the OJC group as pollen evidence of the development of human-induced environments in the Italian peninsula. *Quaternary International*, 303 : 24-42.
- Mungai P. G., Njogu J. G., Chukeatirote E. & Hyde K. D. (2012) Coprophilous ascomycetes in Kenya: *Sporormiella* from wildlife dung, *Mycology*, 3 (4) : 234-251
- Muller, S.D., 2005. Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69
- Muller S. D., Bremond L., Girard V. & Terral J.-F. (2019). Âge des tourbières de la marge méridionale du Massif Central. *Orpalm Synthesis*, 12 (1) : 9-15.
- Muller S.D., Henriot C. & Terral J.-F. (2026). Les zones tourbeuses alcalines de la Combe des Cades (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 9-21
- Perrotti A. G. & Van Asperen E. (2019). Dung fungi as a proxy for megaherbivores: opportunities and limitations for archaeological applications. *Vegetation history and archaeobotany*, 28 (1) : 93-104.
- Pociecha A., Buczek K., Margielewski W., Kupryjanowicz M., Fiłoc M., Korzeń K., Krąpiec M., Sala D., Obidowicz A., Michczyńska D. J., Michczyński A., Borówka R. & Tomkowiak J. (2024). Appearance of the rotifer community as a potential indicator of stable paleohydrological conditions in peatlands since the Late Glacial: A case study of three wetlands in Poland. *Hydrobiologia*, 851 : 2965-2981.
- Pons A., Reille M. & de Beaulieu J.-L. (1989). La végétation du Massif central depuis la fin du dernier glaciaire. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 55 : 87-95.
- Pulido A.-M. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif central (France)*. Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne, 266 p.
- Reille M. (1987). L'histoire de la végétation de Margeride (Massif central, France) depuis quelque cent siècles révélée par

- l'analyse pollinique de la tourbière de la Fouon. *Revue du Gévaudan*, 2 : 17-25.
- 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.
- Riess K., Schön M.E., Ziegler R., Lutz M., Shivas R.G., Piątek M. & Garnica S. (2019). The origin and diversification of the Entorrhizales: deep evolutionary roots but recent speciation with a phylogenetic and phenotypic split between associates of the Cyperaceae and Juncaceae. *Organisms Diversity & Evolution*, 19 : 13-30.
- Roche K., Jouffroy-Bapicot I., Vannièrè B., Le Bailly M. (2020). Ancient parasites from a peat bog: New insights into animal presence and husbandry in Crete over the past 2000 years. *The Holocene*, 30 (9) : 1243-1253.
- 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, 314 p.
- Shumilovskikh L. S., Schlütz F., Achterberg I., Bauerochse A. & Leuschner H. H. (2015). Non-pollen palynomorphs from Mid-Holocene peat of the raised bog Borsteler Moor (Lower Saxony, Germany). *Studia Quaternaria*, 32 : 5-18.
- Shumilovskikh L., O'Keefe J. M. K. & Marret F. (2021). An overview of the taxonomic groups of non-pollen palynomorphs. In : F. Marret, J. O'Keefe, P. Osterloff, M. Pound & L. Shumilovskikh (éds.), *Applications of non-pollen palynomorphs : From palaeoenvironmental reconstructions to biostratigraphy*. Geological Society of London, Londres, pp. 13-61.
- Van Asperen E. N., Perrotti A. & Baker A. (2021). Coprophilous fungal spores: Non-pollen palynomorphs for the study of past megaherbivores. In : F. Marret, J. O'Keefe, P. Osterloff, M. Pound & L. Shumilovskikh (éds.), *Applications of non-pollen palynomorphs : From palaeoenvironmental reconstructions to biostratigraphy*. Geological Society of London, Londres, pp. 245-247.
- van Geel B. (1978). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 : 1-120.
- van Geel B. (2001). Non-pollen palynomorphs. In : J. Smol, H.J.B. Birks & W. Last (éds.), *Tracking environmental change using lake sediments*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 99-119.
- Van Geel B. & Aptroot A. (2006). Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia*, 82 (3-4) : 313-329.
- van Geel B., Coope G.R., van der Hammen T. (1989). Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 60 : 25-129.
- Van Geel B., Hallewas D. P. & Pals J. P. (1983). A late Holocene deposit under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of Noord-Holland, The Netherlands): palaeoecological and archaeological aspects. *Review of palaeobotany and palynology*, 38 (3-4) : 269-335.
- Wellman C. H. & Ball A. C. (2021). Early land plant phytodebris. In : F. Marret, J. O'Keefe, P. Osterloff, M. Pound & L. Shumilovskikh (éds.), *Applications of non-pollen palynomorphs : From palaeoenvironmental reconstructions to biostratigraphy*. Geological Society of London, Londres, pp. 309-320.

# INSTALLATION ET DYNAMIQUE DU PIN NOIR D'AUTRICHE (*PINUS NIGRA* SUBSP. *NIGRA*) ET DU PIN SYLVESTRE (*P. SYLVESTRIS*) DANS LA COMBE DES CADES (ISPAGNAC, LOZERE)

Thomas Cousin <sup>1</sup>, Suad Mazouni <sup>2</sup>, Victor Zecchini <sup>3</sup>

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

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

<sup>1</sup> thomas.cousin@hotmail.com, <sup>2</sup> suad.mazouni@gmail.com, <sup>3</sup> ninozecchini@gmail.com

Encadrement : Jean-Frédéric Terral

Texte revu et corrigé par J.-F. Terral et S.D. Muller

*Citation* : Cousin T., Mazouni S. & Zecchini V. (2026). Installation et dynamique du pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) et du pin sylvestre (*P. sylvestris*) dans la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 75-89.

---

**Résumé** : Le paysage de la Combe des Cades, situé au cœur du Parc National des Cévennes, est aujourd'hui dominé par *Pinus nigra* subsp. *nigra* et *P. sylvestris*. La présente étude croise dendrochronologie, modélisation allométrique de la croissance des arbres et analyse géo-historique pour étudier la dynamique de recolonisation des pins, comparer la croissance des pins sylvestres entre la Combe des Cades et la tourbière des Crozes (Margeride, Haute-Lozère) étudiée en 2024-2025. Les résultats révèlent un peuplement pionnier de *P. nigra* antérieur à 1930 et une expansion massive de *P. sylvestris* (1961-1983) favorisée par la déprise agropastorale. Les modèles montrent également que la croissance des pins sylvestres, plus rapide à la Combe des Cades (étage bioclimatique collinéen et substrat calcaire) qu'aux Crozes (contexte montagnard et substrat granitique) est à déterminisme édapho-climatique.

**Mots clés** : Parc national des Cévennes, dendrochronologie, cartographie diachronique, dynamique forestière

**Abstract**: *Establishment and dynamics of Austrian black pine (Pinus nigra subsp. nigra) and Scots pine (P. sylvestris) in the Combe des Cades (Ispagnac, Lozère).* The landscape of Combe des Cades, located in the heart of the Cévennes National Park, is presently dominated by *Pinus nigra* subsp. *nigra* and *P. sylvestris*. The present study combines dendrochronology, allometric modelling of tree growth and geo-historical analysis to investigate the dynamics of pine recolonization. It also compares the growth of Scots pines between Combe des Cades and Crozes peatland (Margeride, Haute-Lozère) studied in 2024-2025. The results reveal pioneer woods of *P. nigra* prior to 1930 and a massive expansion of *P. sylvestris* between 1961 and 1983, promoted by agro-pastoral abandonment. The models also show that the growth of Scots pines is faster at Combe des Cades (collinean bioclimatic belt and limestone substrate) than at Crozes (mountain and granitic context), indicating an edapho-climatic control.

**Keywords**: Cévennes national Park, dendrochronology, diachronic mapping, forest dynamics

Après les fortes pressions humaines antérieures au Second Empire, la France se retrouve avec une surface forestière réduite. En 1827, le Code forestier est créé pour protéger les forêts restantes et restructurer les initiatives de reboisement, notamment grâce à des espèces importées des colonies de l'époque (Huffel et al., 2019). Au cours de ces programmes de restauration, de nombreuses espèces furent introduites dans le Massif central, comme par exemple le pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *nigra*) et le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) (Reille & Pons, 1982 ; Anonyme, 2017). Le processus de reboisement s'explique également par le déclin progressif des activités agropastorales traditionnelles lié à l'industrialisation (notamment laitière, céréalière ou textile), permettant une recolonisation naturelle des milieux par les ligneux (Cavailhès & Normandin, 1993 ; Dorée, 2001). Les étendues boisées du massif des Cévennes ont ainsi fortement évolué durant ces deux derniers siècles. Couvrant 16% du Parc national des Cévennes au milieu du 19<sup>e</sup> siècle, les espaces boisés se sont étendus jusqu'à atteindre aujourd'hui 72% de recouvrement (Anonyme, 2017).

Le pin sylvestre est l'espèce du genre *Pinus* qui occupe la surface géographique la plus étendue à l'échelle européenne (Médail, 2001). Son implantation et son expansion dans le Massif central ont été facilitées par sa forte plasticité et son adaptation en tant qu'espèce pionnière dans les régions post-agro-pastorales (Mátyás et al., 2003). Sa tolérance aux sols oligotrophes (pauvre en nutriments) et hydromorphes (temporairement saturés en eau) facilite son implantation sur des sols peu profonds (Durrant et al., 2016). Par ailleurs, sa très forte plasticité écologique lui permet de coloniser les substrats calcaire-dolomitiques (minéralisés), tels que ceux rencontrés dans la Combe des Cades. Étant héliophile, le pin sylvestre colonise des milieux ouverts et perturbés, par exemple à la suite des activités agro-pastorales, en régions boréales et montagnaises (Gardner & Chadburn, 2016).

Le pin noir d'Autriche est une espèce de Méditerranée orientale (Barbero et al., 1998 ; Enescu et al., 2016). Il a été abondamment planté en France pour l'exploitation du bois, la lutte contre l'érosion, la reforestation de milieux ouverts et secs (Vacek et al., 2023) ou encore pour lutter contre le réchauffement climatique (Picchio et al., 2022). Également pionnier, il se contente de sols variés (podzols, calcosols, salisols...), grâce à une plasticité écologique très large lui conférant une bonne résistance aux variations d'humidité, de température et de luminosité (Enescu et al., 2016).

Pour étudier la colonisation d'un milieu par ces espèces, connaître l'âge des arbres est nécessaire. Il est possible de comptabiliser le nombre d'unités de croissance sur de jeunes individus (Fritts, 1976). Pour les individus plus âgés dont l'identification et le comptage des unités de croissance sont trop complexes, l'approche dendrochronologique (comptage et analyse de la morphologie des cernes de croissance, témoignages de la croissance radiale de l'arbre et du fonctionnement interannuel du cambium) permet de connaître l'âge des arbres (Schweingruber, 1996 ; Cubizolle, 2009). L'approche pluridisciplinaire adoptée dans ce travail, croisant dendrochronologie, modélisation statistique et cartographie, vise à comprendre la dynamique d'installation spatio-temporelle de *Pinus nigra* subsp. *nigra* et *P. sylvestris* au travers d'une comparaison (étude allométrique) entre la Combe des Cades (Ispagnac, Lozère) et l'environnement immédiat de la tourbière des Crozes (Margeride, Lozère), étudié précédemment par Durand et al. (2025).

## MATERIEL ET METHODES

### 1- Site d'étude

Le travail de terrain s'est déroulé au cœur du Parc National des Cévennes (Massif central), sur la commune d'Ispagnac, au nord-est de la Combe des Cades. La zone étudiée est située entre 850 et 1180 m d'altitude, à la transition entre les étages collinéen et montagnard.

Deux zones d'études ont été délimitées en fonction de la disponibilité des espèces étudiées : ZP1 et ZP2 (Fig. 1).

La ZP1 (44.417353 ; 3.567273) est marquée par un micro-relief irrégulier, ponctué de pentes à très faible dénivelé. Elle présente une strate arbustive dense et diversifiée comprenant des individus âgés de genévrier commun (*Juniperus communis*) et de jeunes individus de chêne sessile (*Quercus petraea*). La strate arborée est exclusivement constituée de pins sylvestres très rapprochés.

La ZP2 (44.418408 ; 3.561277) présente un relief en pente modérée relativement uniforme. C'est un milieu en cours de fermeture, qui présente une canopée et une strate arbustive plus clairsemée comprenant notamment, de jeunes individus de chêne rouvre, de genévrier commun, d'alisier blanc (*Sorbus aria*) et de sapin (*Abies alba*). La couverture végétale au sol est homogène, mais plus faible que dans la ZP1. Les deux espèces de pins coexistent.



Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage (ZP1 et ZP2) dans la Combe des Cades. Fond de carte basé sur l'orthophotographie aérienne contemporaine (2025, IGN).

Notre travail intègre un troisième jeu de données (référéncé PS\_24) issu d'une campagne d'échantillonnage antérieure, réalisée en août 2024 autour de la tourbière des Crozes (Lajo, Margeride ; Durand et al., 2025). Cette station se distingue par des conditions montagnardes continentales (altitude 1380 m) et par un substratum géologique granitique induisant des sols acides et oligotrophes (Henriet et al., 2025).

## 2- Méthodologie d'échantillonnage

L'échantillonnage dendrochronologique a été mené sur deux stations (ZP1 et ZP2). L'effort d'échantillonnage (30 arbres par station) s'est concentré exclusivement sur *P. sylvestris* en

ZP1, et a ciblé spécifiquement *P. nigra* en ZP2. Afin de permettre une analyse spatiale ultérieure, l'intégralité des arbres échantillonnés a fait l'objet d'un géoréférencement systématique (coordonnées GPS).

Le protocole d'estimation de l'âge a été adapté à la physionomie des individus. Pour les individus de moins de 4 m présentant une faible circonférence, l'âge a été estimé *in situ* par le dénombrement des unités de croissance (UC), correspondant à la portion de tige comprise entre deux arrêts successifs de croissance (verticilles d'axes secondaires à ramification sélective acrotone). Pour les individus matures, un carottage radial a été

réalisé à l'aide d'une tarière de Pressler. Dans une démarche stricte de standardisation, la hauteur de prélèvement a été fixée à environ 30 cm au-dessus du sol. Cette hauteur constitue le compromis technique optimal entre l'ergonomie de l'outil de forage et la capture d'un âge au plus proche de la date de germination. Suite au carottage dendrologique, deux mesures de circonférence ont été effectuées sur les troncs à l'aide d'un mètre ruban : la circonférence basale  $C_{\text{base}}$  mesurée à la base du tronc (au niveau du collet) et la circonférence à la hauteur précise du prélèvement  $C_{\text{carotte}}$ .

Les carottes de bois ainsi extraites ont été conditionnées puis analysées en laboratoire (département Biologie-Ecologie, Université de Montpellier). L'âge de l'arbre à la hauteur du carottage a été déterminé par le dénombrement minutieux des cernes annuels de croissance (distinction de l'alternance bois initial/bois final) depuis le cambium jusqu'à la moelle (Annexe 2). Afin de minimiser le biais d'observation, chaque carotte a fait l'objet d'une lecture croisée par trois opérateurs indépendants.

### 3- Traitement des données et analyses statistiques

#### *Structuration des données et des variables*

L'ensemble des analyses a été conduit dans l'environnement R (R Core Team, 2024). Les individus ont été classés selon une variable factorielle « Source » comprenant trois modalités : les pins noirs (PN), les pins sylvestres de la campagne 2025 (PS\_25) et ceux de la campagne 2024 (PS\_24). Cette distinction permet notamment de confronter les dynamiques de croissance des populations de *Pinus sylvestris* de la Combe des Cades et de la tourbière des Crozes, en les analysant indépendamment l'une de l'autre.

Pour chaque arbre, trois variables biométriques ont été utilisées : la circonférence basale ( $C_{\text{base}}$ , en cm), la circonférence à hauteur du prélèvement ( $C_{\text{carotte}}$ , en cm) et l'âge de l'arbre à hauteur de prélèvement correspondant au nombre des cernes de croissance comptabilisées par les

trois opérateurs ( $A_{\text{mesuré}}$ , en années).

#### *Modélisation allométrique de la croissance*

Dans un premier temps, la robustesse du signal dendrochronologique a été évaluée en testant la relation linéaire entre l'âge mesuré ( $A_{\text{mesuré}}$ ) et la circonférence relevée à hauteur du prélèvement ( $C_{\text{carotte}}$ ). Cette étape préalable de validation vise à s'assurer que relation soit suffisamment significative pour faire l'objet d'une modélisation prédictive.

Afin de pallier l'absence de données concernant l'âge réel (date de germination inconnue) et de corriger la sous-estimation inhérente au carottage à 30 cm du sol, une approche par modélisation allométrique a été privilégiée. Pour ce faire, une régression linéaire simple a été ajustée indépendamment pour chaque cohorte selon la méthode des moindres carrés ordinaires (fonction `lm` du package `stats`). L'équation théorique du modèle se définit comme suit :

$$A_{\text{prédit}} = \beta * C_{\text{carotte}} + \alpha + \varepsilon$$

où  $A_{\text{prédit}}$  désigne l'âge théorique estimé par le modèle pour une circonférence donnée. Mathématiquement,  $\beta$  correspond au coefficient directeur de la droite de régression (reflétant le taux d'accroissement moyen de la population),  $\alpha$  représente la constante du modèle (ordonnée à l'origine) et  $\varepsilon$  correspond au terme d'erreur résiduelle, traduisant la variabilité inter-individuelle non expliquée par le modèle. La robustesse de cet ajustement linéaire a été évaluée par le coefficient de détermination  $R^2$ , permettant de quantifier la part de variance de l'âge expliquée par l'allométrie radiale, préalablement à la confrontation des âges théoriques et mesurés.

#### *Estimation de l'âge de l'arbre*

Dans un second temps, ces modèles spécifiques à chaque cohorte ont été utilisés à des fins d'extrapolation. En substituant la circonférence au carottage  $C_{\text{carotte}}$  par la circonférence basale  $C_{\text{base}}$  mesurée au collet de l'arbre, la fonction de prédiction a permis d'estimer l'âge total  $A_{\text{estimé}}$  des individus. Cette extrapolation postule que le patron de croissance juvénile suit la même trajectoire

linéaire que celle modélisée pour le reste de la vie de l'arbre. Les données ainsi standardisées ont permis de reconstituer les chronologies d'installation et les structures démographiques des peuplements étudiés.

#### 4- Analyse spatiale et approche géohistorique

Afin de contextualiser les dynamiques mises en évidence par l'approche dendrochronologique, une analyse diachronique (ou géohistorique ; [Jacob-Rousseau, 2009](#)) a été entreprise. L'évolution spatio-temporelle du couvert arboré a été évaluée au moyen du géoportail historique de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (<https://remonterletemps.ign.fr/>).

La confrontation des orthophotographies aériennes anciennes (1944, 1963, 1981, 1994 et 2025) ont permis de caractériser l'état d'ouverture initial du milieu et de suivre la progression de sa fermeture. En complément, les coordonnées géographiques (GPS) et altitudinales des individus échantillonnés ont été croisées avec la topographie numérique (pentes et dénivelés) afin d'analyser la ségrégation spatiale des deux espèces de pin. Cette projection spatiale a également permis de repositionner les individus les plus âgés (doyens) dans la matrice paysagère des années 1950, afin d'évaluer leur isolement et leur potentiel rôle de semenciers ([Fig. 2](#)). Enfin, la Carte d'État-Major (1820-1866) a été utilisée pour discriminer le boisement étudié d'autres noyaux de boisements plus anciens (e.g., secteur de La Borie), susceptibles d'avoir constitué des populations sources ([Fig. 3](#)).

Les analyses spatiales ont été réalisées avec QGIS version 3.40.14 ([Moyroud & Portet, 2018](#)). L'analyse spatiale s'appuie sur plusieurs sources : images satellites, orthophotographies (1944, 1963, 1981, 1994 et 2025) et relevés dendrométriques réalisés en 2025. L'ensemble des données a été traité

dans QGIS. Les points GPS des pins noirs et sylvestres ont été importés sous forme de table géoréférencée, puis convertis en couche vectorielle ponctuelle associée à l'âge prédit par le modèle statistique. Une symbologie par règles a été définie afin de représenter simultanément l'espèce et la classe d'âge des individus, ainsi que l'écart entre âge prédit et âge mesuré sur cernes. Parallèlement, une représentation schématique des orthophotographies a été réalisée pour synthétiser les dynamiques sur environ un siècle, en distinguant notamment les coupes. Ce schéma interprétatif, non métrique mais référé à des repères paysagers stables (relief, pistes, vallons), vise à restituer qualitativement la trajectoire globale du peuplement au-delà des seules cohortes échantillonnées. Les zones d'étude y ont été ajoutées avec un géoréférencement approximatif à partir des points GPS, afin de situer les cohortes datées par rapport aux principales phases d'extension ou de régression. Les couches schématiques ont ensuite été superposées à la couche de fond constituée par l'orthophotographie la plus récente, utilisée comme référence spatiale actuelle pour comparaison.

## RESULTATS

### 1- Modèles allométriques de croissance

#### *Calibration des modèles*

L'étape de calibration préliminaire confirme de manière très significative l'existence d'une relation linéaire entre l'âge mesuré des individus et leur circonférence au point de prélèvement ([Table 1](#)). Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenus quantifient la robustesse de ces modèles d'allométrie radiale : ils sont de 0,62 pour la cohorte de *Pinus sylvestris* de la Combe des Cades (PS\_25), de 0,77 pour *P. nigra* (PN) et de 0,80 pour la population de *P. sylvestris* de la tourbière des Crozes (PS\_24).



Figure 2. Analyse diachronique de l'ouverture du paysage au milieu du 20<sup>e</sup> siècle. L'orthophotographie historique (1944/1950, IGN) permet de visualiser l'isolement spatial de l'individu pionnier de *Pinus nigra* (PN4) au sein d'une matrice agropastorale encore largement déboisée.

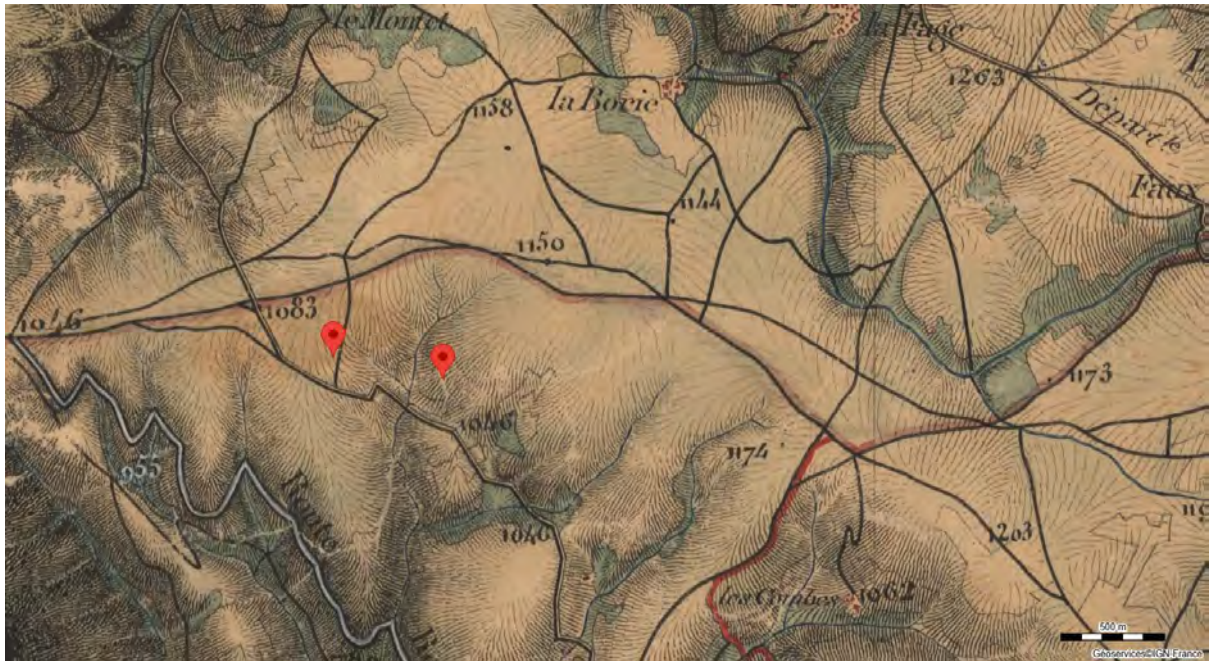


Figure 3. État du couvert forestier au 19<sup>e</sup> siècle selon la Carte d'État-Major de 1820-1866. La superposition des sites d'échantillonnage actuels illustre l'absence majoritaire de boisements anciens sur le secteur d'étude de la Combe des Cades lors de la période pré-RTM.

Table 1. Paramètres des modèles de régression linéaire allométrique liant l'âge (années) à la circonférence de la carotte ( $C_{\text{carotte}}$ , en cm) pour les trois populations étudiées. Les coefficients de l'équation sont accompagnés de leur erreur standard ( $\pm ES$ ).

Groupe	Effectif	Équation du modèle	R <sup>2</sup>	p-value
PN	28	Age = 0,25 $\pm$ 0,03 x $C_{\text{carotte}}$ + 28,81 $\pm$ 2,75	0,77	< 0,001
PS_24	63	Age = 1,17 $\pm$ 0,07 x $C_{\text{carotte}}$ + 7,37 $\pm$ 2,26	0,80	< 0,001
PS_25	26	Age = 0,25 $\pm$ 0,04 x $C_{\text{carotte}}$ + 24,15 $\pm$ 5,23	0,62	< 0,001

### L'analyse des droites de régression

Les deux cohortes échantillonnées sur le site de la Combe des Cades (PN et PS\_25) présentent des dynamiques allométriques relativement proches, tant au niveau de la pente des droites (coefficient directeur) que de l'ordonnée à l'origine (Fig. 4). Par contre, la comparaison des modèles d'accroissement de 2025 (PN et PS\_25) avec celui de 2024 (PN\_24) montre une différence significative : à circonférence égale, un individu issu du

groupe PS\_24 présente un âge modélisé significativement supérieur à celui de ses homologues de la Combe des Cades (PN et PS\_25) (Fig. 4). La population des pins sylvestres du site des Crozes (PS\_24) se singularise donc par un coefficient directeur particulièrement élevé ( $\beta=1,17$ ), indiquant un accroissement circonférentiel lent, le modèle prédisant qu'il faut en moyenne plus d'une année pour générer 1 cm de circonférence supplémentaire.

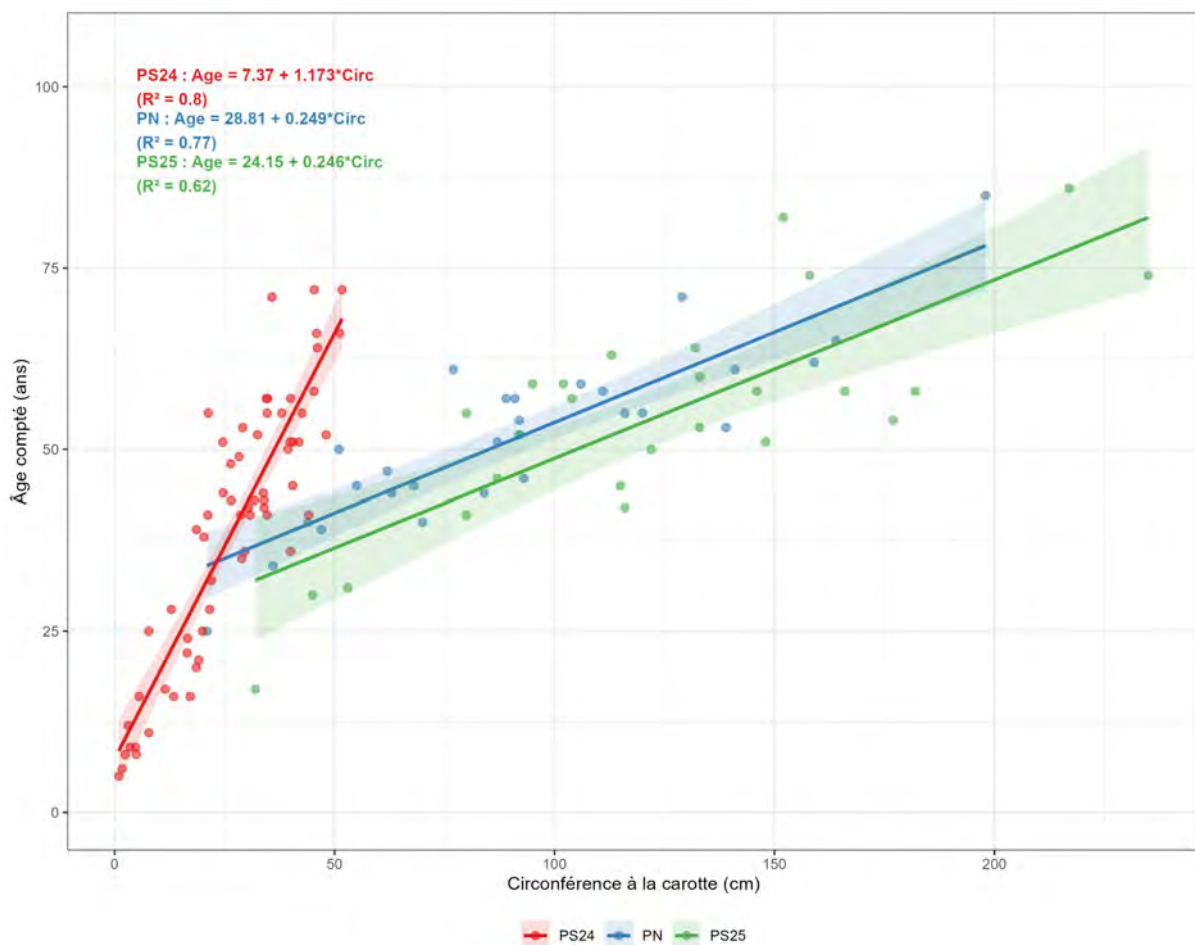


Figure 4. Modélisation allométrique de la croissance radiale pour les trois populations étudiées. Les droites de régression illustrent l'ajustement linéaire entre la circonférence mesurée à la hauteur de carottage ( $C_{carotte}$ ) et l'âge dendrochronologique brut. Les zones ombrées de part et d'autre des droites représentent les intervalles de confiance à 95 %.

## 2- Identification des cohortes fondatrices et biais d'estimation

L'extrapolation de l'âge total, calculé à partir de la circonférence à la base du tronc, a permis d'estimer l'âge des individus pionniers de la population échantillonnée. L'analyse des

données révèle un décalage chronologique strict entre les taxons. Le doyen absolu du corpus est un pin noir (PN4), dont l'âge total estimé par le modèle est de 93 ans (installation vers 1933). Il convient toutefois de préciser une limite méthodologique inhérente à cet individu. En raison de

contraintes morphologiques *in situ*, le carottage n'a pu être réalisé à la hauteur standardisée (30 cm), mais a dû être effectué à environ 2 m du sol. De fait, l'âge modélisé de 93 ans constitue une borne inférieure stricte, le modèle sous-estimant mathématiquement le temps nécessaire à l'individu pour atteindre cette hauteur de prélèvement atypique. L'âge réel de cet individu fondateur est donc significativement supérieur à l'estimation fournie.

À l'inverse, aucun représentant de *Pinus sylvestris* n'a été recensé dans cette classe d'âge. Les individus les plus âgés de cette essence affichent un âge maximal estimé à 85 ans (installation vers 1940) à la Combe des Cades (individu PS26), et à 78 ans

(installation vers 1947) aux Crozes. Cette disjonction temporelle entre l'apparition du doyen introduit (dont l'ancienneté est sous-estimée) et l'émergence plus tardive des premiers individus de l'espèce indigène constitue une caractéristique majeure de l'échantillon.

Par ailleurs, l'application de ce modèle allométrique a permis de quantifier et de corriger significativement le biais inhérent à la hauteur de carottage. Comme le détaille la **Table 2**, le test t de Student sur échantillons appariés démontre que le gain d'âge modélisé (de + 2,29 à + 4,10 années en moyenne selon les cohortes) est très significatif, justifiant ainsi la nécessité de cette correction méthodologique.

Table 2. Analyse de l'impact de la correction allométrique sur l'estimation de l'âge pour les trois populations. Résultats des tests t de Student pour échantillons appariés comparant l'âge dendrochronologique mesuré (Âge mesuré) et l'âge total estimé (Âge final).

Groupe	Effectif	Gain d'âge moyen	Statistique t	p-value
PN	28	+ 3,23	- 6,17	< 0,001
PS_24	63	+ 2,29	- 3,91	< 0,001
PS_25	26	+ 4,10	- 4,35	< 0,001

### 3- Structure démographique des peuplements

L'analyse de la distribution des fréquences d'âges, intégrant les âges à la fois estimés par modélisation et déterminés *in situ* par le dénombrement des unités de croissance, met en évidence une architecture démographique caractérisée par deux dynamiques temporelles distinctes (**Fig. 5**). Le trait majeur de cette distribution réside dans une forte concentration des effectifs au sein de la classe des 50-60 ans. Ce pic de recrutement d'individus s'observe de manière synchrone chez les trois groupes étudiés (PN, PS\_24,

PS\_25), marquant la principale vague de colonisation (installation au cours des décennies 1960 et 1970).

Parallèlement, l'inclusion des individus juvéniles révèle une dynamique de recrutement récente. Cette composante est particulièrement visible aux Crozes (PS\_24). Loin de présenter un hiatus de régénération, l'effectif important recensé dans les classes d'âges inférieures témoigne d'une strate arbustive active, confirmant que le processus de fermeture se poursuit actuellement par l'installation de nouvelles cohortes sous le couvert des individus pionniers.

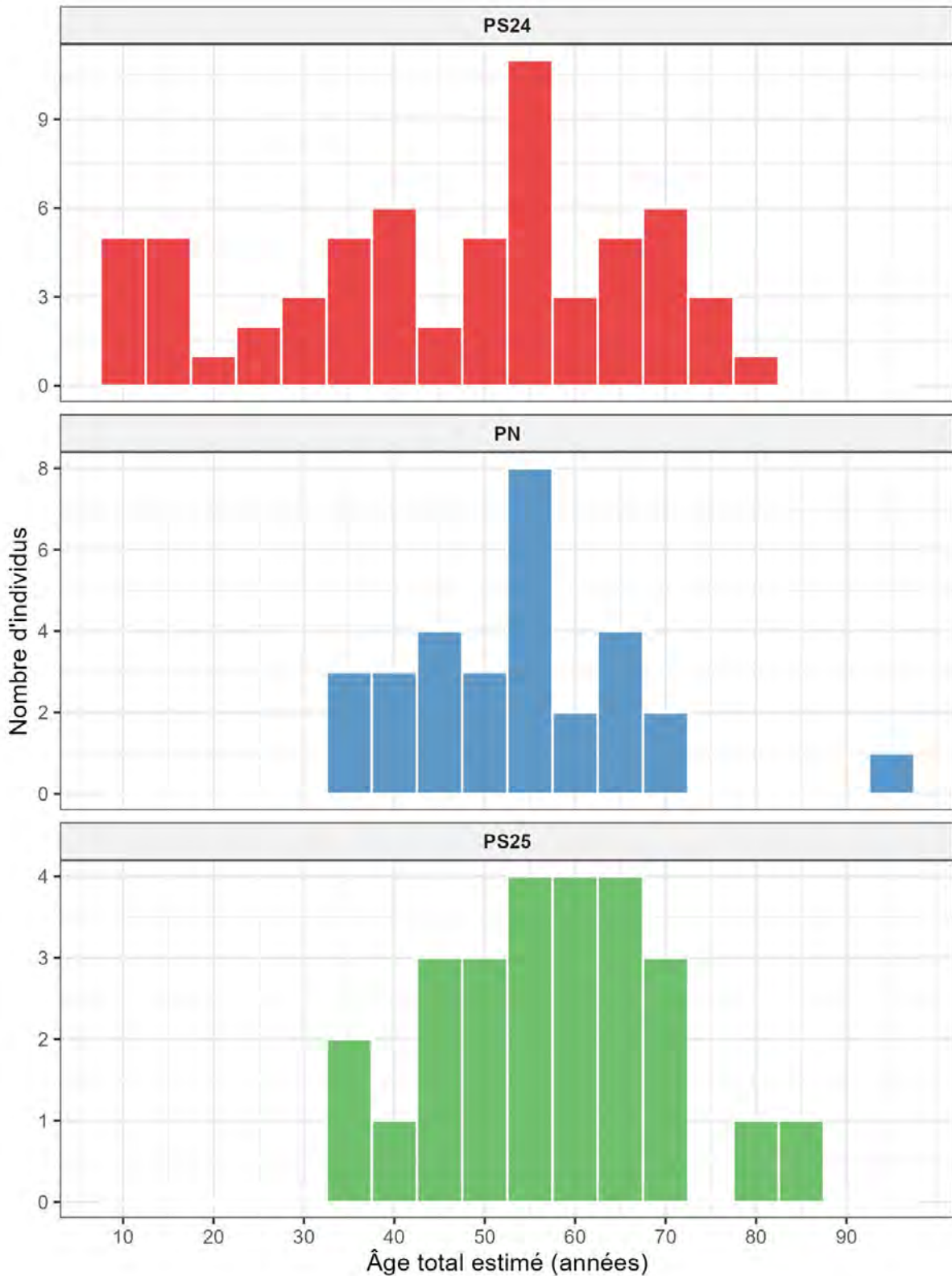


Figure 5. Architecture démographique des peuplements étudiés. Les histogrammes détaillent la distribution des fréquences des âges totaux au sein des trois cohortes (PN, PS\_24, PS\_25). Ces âges absolus, intégrant les données corrigées par modélisation et les comptages directs par unités de croissance pour les juvéniles, sont regroupés par classes d'âge de 5 ans.

#### 4- Analyse spatiale

La répartition des individus de pins (Fig. 6) est assez homogène entre les deux zones d'étude. Concernant les pins noirs, les individus majoritaires assez dispersés dans la zone sont de classes d'âge intermédiaires (40-60 ans), indiquant une plus grande répartition spatiale de jeunes pousses à une époque précise datant de 1940 à 1950. La plupart des arbres les plus anciens (60 à 85 ans) sont regroupés au centre de la zone d'étude où la densité de points est la plus élevée. Les arbres plus jeunes (autour de 30 ans) sont très rares, et se trouvent principalement entre plusieurs individus bien plus âgés.

Concernant les pins sylvestres, les individus majoritaires sont aussi de classes d'âge intermédiaire (40-60 ans) et sont en grande partie regroupés autour des quelques individus plus âgés (70-86 ans). Ces individus sont répartis uniformément sur la zone

d'étude. Les individus les plus jeunes sont rares et dispersés dans la cohorte de manière hétérogène : un seul est inclus dans la concentration d'individus tandis que les autres sont situés plus au sud autour desquels on trouve des individus pour la plupart de classe d'âge intermédiaire.

Le modèle (Fig. 6) présente une précision globalement bonne, avec des écarts moyens faibles. Les erreurs maximales observées atteignent des surestimations jusqu'à 17 ans et des sous-estimations allant jusqu'à 12 ans sur certains individus. Pour le pin noir, la surestimation touche toutes les tranches d'âge avec des intensités variables. Chez le pin sylvestre, les écarts les plus marqués se concentrent sur les individus les plus jeunes. Il ne semble pas avoir de corrélation entre la répartition spatiale des individus et les erreurs du modèle.

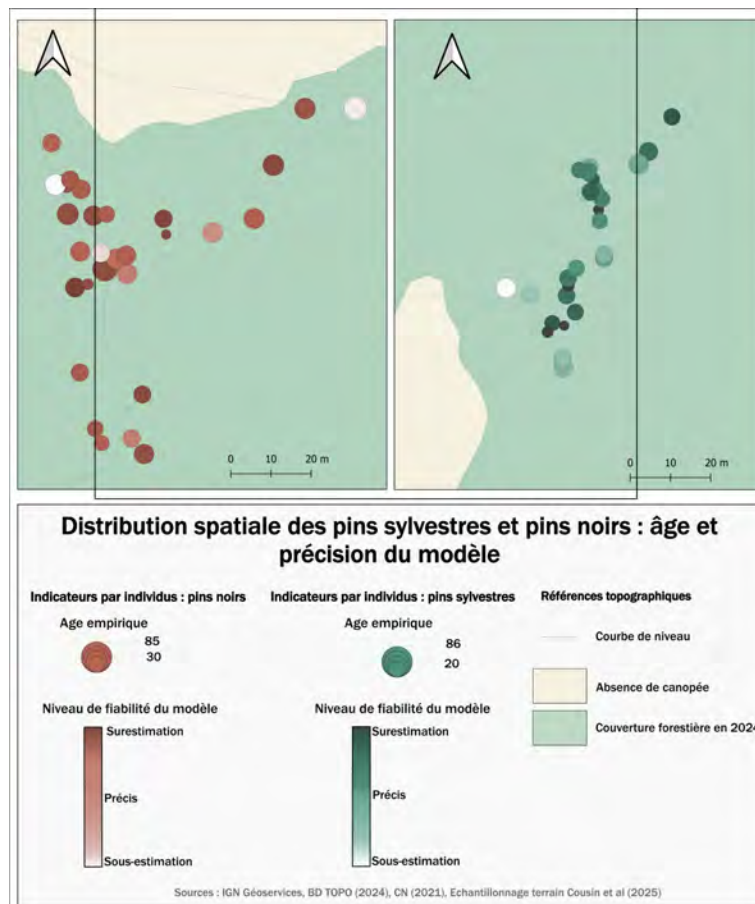


Figure 6. Distribution spatiale de l'âge des pins sylvestres et pins noirs

Les individus de pin sylvestre semblent être mieux représentés par le modèle lorsqu'ils sont en bordure sud du site d'étude (ZP1), mais aucune corrélation n'est observée entre la répartition spatiale des individus et les erreurs de prédiction du modèle.

La **Figure 7** révèle une évolution des étendues boisées en moins de 80 ans. La couche de 1944 représente l'emprise forestière la plus réduite parmi les orthophotographies. En une vingtaine d'années, la surface boisée a triplé. Entre 1961 et 1974, la surface de la pinède fluctue : certaines zones perdent en densité ou voient disparaître totalement des individus, tandis que d'autres poursuivent la dynamique d'afforestation. En 1994, la surface forestière continue de croître, mais la superficie nouvellement colonisée présente un début d'essoufflement par rapport aux périodes antérieures.

Le polygone dénudé situé à l'est de la zone d'étude, accolé à la ZP2, illustre bien la dynamique autour de ce secteur : il était autrefois plus étendu qu'actuellement (**Fig. 7**). Au cours du temps, sa taille oscille, sans se limiter à une simple réduction progressive. Sa superficie maximale hors 1944 est atteinte en 1994, moment où sa forme se modifie vers le sud-est. La configuration actuelle de cette plaine n'a donc pas été stable au cours du temps et ne correspond pas non plus à son extension minimale dans l'histoire étudiée. Par ailleurs, les pins noirs s'installent dans une zone ayant fait l'objet d'une recolonisation : après l'expansion marquée de 1963, cette zone subit une légère réduction peu avant 1981, tandis que les pins sylvestres se situent plutôt dans un espace dont la surface se stabilise dès 1963.

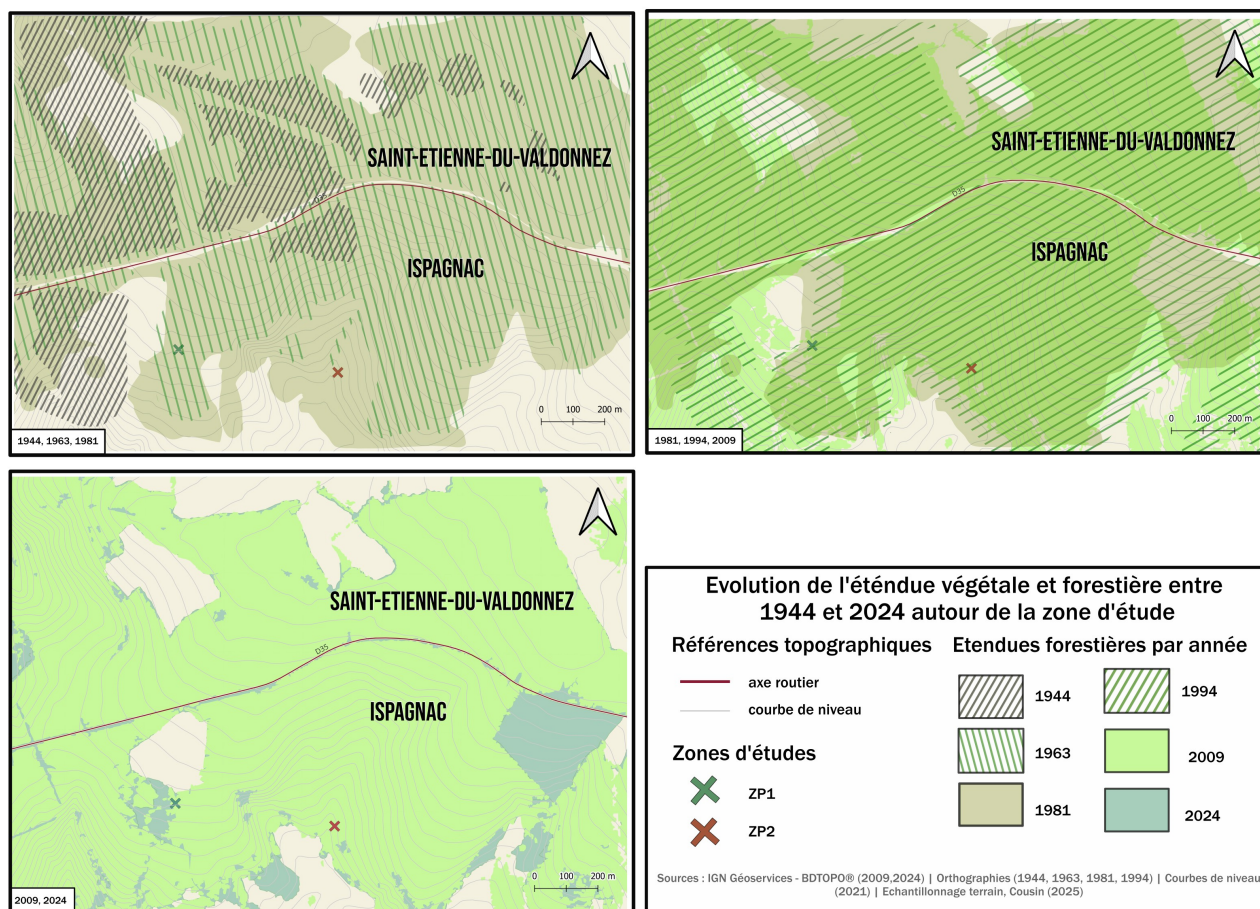


Figure 7. Dynamique forestière post-1944 selon les orthophotographies IGN

## DISCUSSION

### 1- Forçage anthropique originel et dynamique d'installation pionnière

L'analyse croisée des structures démographiques et de l'approche géohistorique permet de retracer avec précision la trajectoire successione des peuplements dominés par le pin sylvestre et le pin noir d'Autriche. L'identification d'un pin noir (PN4) comme doyen absolu du peuplement, avec une installation antérieure au début des années 1930, soulève la question de l'origine de cette cohorte fondatrice. Son isolement spatial (Fig. 2) traduit une colonisation spontanée à partir de plantations régionales. Dans le contexte de dégradation généralisée des versants cévenols par le surpâturage ovin à la fin du 19<sup>e</sup> et au début du 20<sup>e</sup> siècle (Anonyme, 2017 ; Huffel et al., 2019), l'introduction de ce taxon particulièrement rustique répondait aux logiques de fixation des sols opérées par les services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) (Anonyme, 2017 ; Vacek et al., 2023).

Ce noyau artificiel initial a par la suite joué un rôle fonctionnel déterminant, agissant comme un pôle semencier stratégique. L'émergence plus tardive du pin sylvestre (dont les doyens apparaissent aux alentours de 1940-1947) illustre une nouvelle phase de colonisation spontanée, également à partir d'arbres introduits. Son installation coïncide avec la Seconde Guerre mondiale. Toutefois, si quelques plantules ont pu survivre à cette époque, l'analyse diachronique des orthophotographies révèle que le paysage n'a pas été abandonné immédiatement. Au contraire, le milieu a été maintenu partiellement ouvert durant les décennies suivantes par un « va-et-vient » de coupes liées aux besoins d'exploitation locaux (possiblement bois de chauffage et reconstruction post-guerre) (Huffel et al., 2019). Ces perturbations anthropiques périphériques ont d'ailleurs constitué des opportunités, favorisant ponctuellement la dissémination du pin noir dans les milieux ouverts en lisière de ses plantations initiales.

L'analyse cartographique diachronique corrobore parfaitement cette dynamique locale : les individus de pin noir échantillonnés se situent précisément dans un secteur ayant subi un recul forestier suivi d'une recolonisation, en bordure directe d'une ancienne trouée de végétation d'origine anthropique.

### 2- De l'exode rural à la transition sylvatique

L'architecture démographique globale du peuplement, marquée par une concentration unimodale massive des effectifs autour de 50-60 ans, traduit l'ultime phase de mutation du paysage de la région. Le pic de recrutement, parfaitement synchrone chez les trois groupes étudiés, correspond à une vague d'installation massive au cours des années 1961-1983. Contrairement à la période de la seconde guerre mondiale où les coupes maintenaient le milieu ouvert, cette décennie signe la fin définitive de l'agropastoralisme traditionnel et l'arrêt visible de l'exploitation locale du bois, marquant l'apogée de l'exode rural des Trente Glorieuses (Cavailhès & Normandin, 1993 ; Dorée, 2001). Cette période charnière s'inscrit également dans un changement de paradigme de gestion du territoire avec la création du Parc National des Cévennes en 1970, aboutissement de près de vingt années de discussions institutionnelles préalables en faveur de la protection des milieux (Anonyme, 2017). L'abandon total des parcours a libéré de vastes surfaces, permettant aux graines issues des rares arbres fondateurs pionniers de saturer définitivement l'espace disponible.

Si l'intégration des comptages par Unités de Croissance (UC) démontre que les peuplements ligneux étudiés maintiennent une dynamique de recrutement, les observations de terrain et les principes de succession écologique suggèrent que ces pinèdes représentent une phase de transition dans la succession. L'augmentation graduelle de la densité du peuplement accroît la compétition intraspécifique pour la lumière et les nutriments. À terme, la densification de la canopée modifiera le microclimat local, le

rendant défavorable à la régénération de ces essences héliophiles. Conformément aux dynamiques paysagères documentées dans les Cévennes, cette fermeture du milieu devrait favoriser l'implantation d'essences sciaphiles et compétitrices, telles que le chêne rouvre (*Quercus petraea*) sur les versants ensoleillés, ainsi que le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le sapin sur les secteurs plus frais (Anonyme, 2017). La pinède actuelle, héritage des reboisements anthropiques et de la déprise agricole, joue ainsi un rôle d'espèce ingénieure préparant le retour des climax forestiers feuillus de la base de l'étage montagnard.

### 3- Le déterminisme édapho-climatique de la croissance radiale du pin sylvestre

Au-delà de l'histoire de l'installation et de la dynamique de recolonisation des deux espèces de pin, nos modèles mettent en exergue une dichotomie fondamentale dans les dynamiques d'accroissement radial, dictée fort probablement par la conjonction de facteurs environnementaux. La croissance drastiquement contrainte de la population des Crozes (PS\_24 :  $\beta = 1,17$ ) contraste de manière frappante avec la vigueur des individus de la Combe des Cades (PS\_25 : PN,  $\beta = \sim 0,25$ ).

Cette disjonction s'explique en premier lieu par un gradient altitudinal induisant un forçage thermique déterminant. Une interpolation des données climatiques (Barry & Chorley, 2010 ; Météo-France, 2023) souligne ce différentiel : la température moyenne oscille entre 10,5 et 12,5°C à la Combe des Cades (~1060 m), contre seulement 8,5 à 10°C aux Crozes (~1380 m), avec des minimales hivernales plus sévères. Sur le plan biogéographique, ce sont ces conditions climatiques distinctes qui façonnent les cortèges floristiques, lesquels définissent à leur tour l'appartenance de la végétation du secteur des Cades à une zone de transition collinéenne-montagnarde, et celle de la station des Crozes à l'étage montagnard marqué par une forte continentalité. Ce stress thermique raccourcit drastiquement la période de végétation de la population PS\_24. Comme le montrent Li et al. (2021), l'activité

cambiale requiert un seuil thermique d'environ 5°C. L'exposition aux gelées tardives, inhérente à cette altitude, retarde considérablement la mise en place du bois initial. Enfin, la synergie de ces forçages climatiques (froid et vent) est exacerbée par une contrainte lithologique. Contrairement à la Combe des Cades alimentée par des eaux calcaires, le secteur des Crozes est localisé sur un socle siliceux (granites) où le sol est maigre, peu profond, acide et oligotrophe.

### CONCLUSION

L'étude dendrochronologique couplée à une analyse géohistorique menée dans la Combe des Cades met en lumière les dynamiques complexes de boisement ayant façonné ce territoire au cours du siècle dernier. Loin d'être le résultat d'une colonisation spontanée, les pinèdes étudiées trouvent leurs origines dans une combinaison de forçages anthropiques historiques. L'implantation pionnière de *Pinus nigra* subsp. *nigra*, est probablement consécutive aux opérations de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) du début du 20<sup>e</sup> siècle. Par la suite, la déprise agropastorale massive des Trente Glorieuses, dont les effets sur la fermeture du milieu se sont poursuivis jusqu'au début des années 1980, a permis la l'expansion de *Pinus sylvestris*.

Outre la chronologie d'installation, la modélisation de la croissance radiale des arbres en fonction du temps a révélé un déterminisme édapho-climatique du fonctionnement cambial. Le contraste majeur de développement observé entre les individus évoluant sur le substrat calcaire de la Combe des Cades et ceux de la station granitique montagnarde des Crozes confirme la plasticité écologique du pin sylvestre, mais souligne également sa sensibilité aux variables stationnelles. À terme, ces pinèdes pionnières, héritages d'une transition socio-économique, semblent vouées à évoluer vers une fermeture progressive du milieu, favorisant l'implantation d'arbres plus compétitifs, comme le chêne sessile, le hêtre et le sapin.

Afin d'approfondir les résultats préliminaires présentés ici, d'éventuelles futures campagnes

d'échantillonnage pourraient s'orienter vers la dendroclimatologie et quantifier ainsi l'impact des forçages climatiques interannuels sur la croissance. Sur le plan de la prospection spatiale, les noyaux semenciers originels de *Pinus sylvestris* pourraient être cherchés en altitude, notamment aux abords de la route départementale D35.

## REFERENCES

- Anonyme (2017). *Les forêts anciennes du Parc national des Cévennes : état des lieux*. Parc national des Cévennes, Florac.
- Barbero M., Loisel R., Quézel P., Richardson D.M. & Romane F. (1998). Pines of the Mediterranean Basin. In : D.M. Richardson (éd.), *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 153-170.
- Barry R.G. & Chorley R.J. (2010). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, London, 511 p.
- Cavailhès J. & Normandin D. (1993). Déprise agricole et boisement : état des lieux, enjeux et perspectives dans le cadre de la réforme de la PAC. *Revue forestière française*, 45 (4) : 465-482.
- Cubizolle H. (2009). *Paléoenvironnements*. Armand Colin, Paris, 272 p.
- Dorée A. (2001). Impact des activités sylvopastorales sur la colonisation et la régénération naturelles de *Pinus sylvestris* L. dans les Baronnies. *Forêt méditerranéenne*, 22 (1) : 87-92.
- Durand M., Panaïotis Y. & Viala A. (2025). Installation et expansion du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) sur et autour de la tourbière des Crozes (Lajo, Lozère) pendant la période contemporaine. *Orpalm Synthesis*, 18 (1) : 33-46.
- Durrant T.H., de Rigo D. & Caudullo G. (2016). *Pinus sylvestris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In : J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant & A. Mauri (éds.), *European atlas of forest tree species*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 845-846.
- Enescu C. M., de Rigo D., Caudullo G., Mauri A. & Houston Durrant T. (2016). *Pinus nigra* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In : J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant & A. Mauri (éds.), *European atlas of forest tree species*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 134-135.
- Fritts H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, 567 p.
- Gardner M. & Chadburn H. (2016). *Pinus sylvestris* (Europe assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2016, e.T42418A95846320.
- Henriet C., Ejarque A., Luelmo R., Muller S.D. & Terral J.-F. (2025). Le complexe tourbeux de Lajo, Margeride (Lozère) : les tourbières des Crozes et de Bos Grond. *Orpalm Synthesis*, 18 (1) : 9-31.
- Huffel G., Ballu J.-M. & Morin G.-A. (2019). *Histoire des forêts françaises : de la Gaule chevelue à nos jours*. CNPF, Centre national de la propriété forestière, 240 p.
- Jacob-Rousseau N. (2009). Géohistoire/géohistoire : quelles méthodes pour quel récit ? *Géocarrefour*, 84 (4) : 211-216.
- Li J., Song F., Jin Y., Yun R., Chen Z., Lyu Z., Zhao Y. & Cui D. (2021). Critical temperatures controlling the phenology and radial growth of *Pinus sylvestris* var. *Mongolica* on the southern margin of a cold temperate coniferous forest. *Ecological Indicators*, 128 : 107674.
- Mátyás C. & Ackzell L. (2003). *Technical guidelines for genetic conservation and use for Scots pine (Pinus sylvestris)*. Euforgen, Rome, 6 p.
- Médail F. (2001). Biogéographie, écologie et valeur patrimoniale des forêts de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) en région méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne*, 22 : 5-22.
- Météo France (2023). Normales climatologiques 1991–2020 – Station du Mont Aigoual (1567 m). Météo France, Toulouse.
- Moyroud N. & Portet F. (2018). Introduction to QGIS. In : QGIS Project (éd.), *QGIS and generic tools*. QGIS Project, pp. 1-17.
- Muller S.D., Henriet C. & Terral J.-F. (2026).

Les zones tourbeuses alcalines de la Combe des Cades (Mont Lozère). *Orpalm Synthesis*, 19 (1) : 9-21.

Picchio R., Tavankar F., Rafie H., Rezaei Kivi A., Jourgholami M., & Lo Monaco A. (2022). Carbon storage in biomass and soil after mountain landscape restoration: *Pinus nigra* and *Picea abies* plantations in the Hyrcanian region. *Land*, 11 (3) : 422.

R Core Team (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Reille M. & Pons A. (1982). L'histoire récente de *Pinus silvestris* L. en Margeride (Massif Central, France) et la signification de cette essence dans la végétation actuelle. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série III, Sciences de la Vie*, 294 : 471-474.

Schweingruber F.H. (1996). *Tree Rings and Environment: Dendroecology*. Paul Haupt, Birmensdorf, Switzerland, 609 p.

Vacek Z., Cukor J., Vacek S., Gallo J., Bažant V. & Zeidler A. (2023). Role of black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) in European forests modified by climate change. *European Journal of Forest Research*, 142 (6) : 1239-1258.