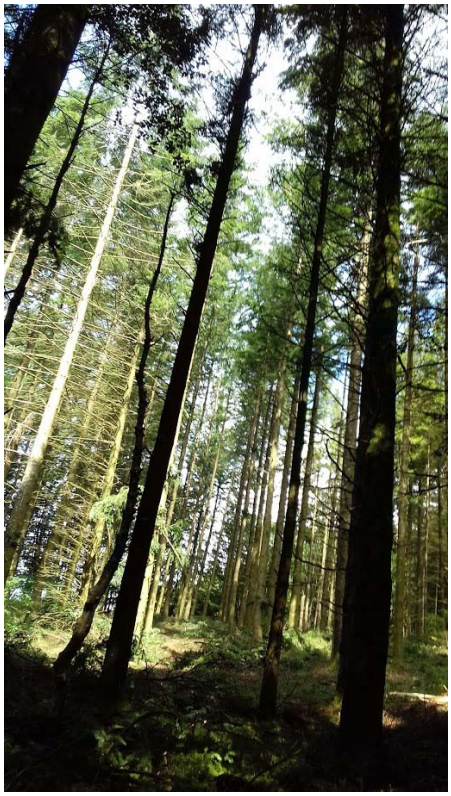
Orpalm

Synthesis

2018

No 11 (1)

Monts de Lacaune



A gauche : Highland cattles, gestionnaires à temps plein de la tourbière de Canroute
A droite : Futaie de résineux, seconde zone atelier de ORPAM2017 (J.-F. Terral)

ORPALM Synthesis
Revue bisannuelle
de Paléoécologie
n°11 (1) - Année 2018

Editeurs en chef
Jean-Frédéric TERRAL [1,2]
Serge MULLER [1,2]

Editeurs associés
Stéphanie BODIN [1,2]
Laurent BRÉMOND [1,3]
Benoît BROSSIER [1,4]

[1] ISEM
[2] UM2, [3] EPHE, [4] CNRS

Auteurs
Nassima BENSID, Gabrielle PIAU, Cindy SIREJACOB, Tony THOMAS-CLÉMENT

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
1e trimestre 2018
Université de Montpellier

ORPAM 2017-2018 : Cap sur le plateau d'Anglès et les monts de Lacaune (Tarn)

Dans le Tarn, théâtre des investigations « ORPAMiennes » de la cuvée 2017-2018 (5-7 septembre 2017), du plateau d'Anglès aux Monts de Lacaune en passant par les berges de l'Agout, les précipitations moyennes fluctuent entre 1400 et 1800 mm/an (données Météo France). Bien que la période la plus chaude et la plus sèche de l'année soit le mois de juillet, cette région située au cœur du PNR du Haut-Languedoc ne présente pas de période à fort déficit hydrique. Aussi, elle bénéficie des influences combinées, d'une part océaniques lui conférant une pluviométrie quasi-régulière tout au long de l'année, et d'autre part montagnarde (altitude comprise entre 700 et 1297 m), expliquant la rudesse de certains hivers, la fréquence des gelées et des épisodes neigeux. Ces conditions climatiques représentent des atouts, à la fois pour le développement des forêts, donc de la sylviculture, et des tourbières. Pour les tourbières ou « sagnes », s'ajoutent la nature du substrat et des facteurs topographiques (dépression ou faible pente) qui assurent l'imperméabilité du sol, permettent un régime hydrique régulier et constant, et favorisent l'accumulation de matière organique et réduisent l'activité des microorganismes décomposeurs. Ces différents milieux ou écosystèmes aux destins croisés, ont des valeurs biologiques, écologiques (incluant des aspects fonctionnels), paysagères, historiques, économiques (…) communes, même si les enjeux écologiques les concernant, en termes de biodiversité, de résistance aux perturbations, de résilience et de conservation, sont différents.

La forêt, ennemie de la tourbière ? L'arbre ou plutôt la succession végétale (comprenez, compétition par les ligneux) sont montrés du doigt dans les changements de fonctionnement des tourbières. Fermeture progressive du milieu, augmentation de l'ombrage, apport de litière, perturbation de l'alimentation en eau sont autant de facteurs considérés comme perturbateurs pour les tourbières ouvertes. Pourtant, certaines formations arborées, telles que les pineraies, boulaies et pessières, intègrent pacifiquement les complexes tourbeux, (re)constituant des équilibres écologiques anciens. De par leur caractère remarquable, les tourbières boisées constituent des formations désormais classifiées dans la directive Habitats de la Communauté européenne.

La tourbière de Canroute est l'une des zones humides les plus intéressantes des Monts de Lacaune. Le nom de Canroute viendrait de l'occitan « calm », lande, et « route », cassée, et signifierait « lande cassée » ou « lande cultivée » (com. pers. Péire Thouy). Cette tourbière est la première zone atelier sur laquelle les étudiants ont pu réaliser des sondages profonds pour des analyses sédimentologiques et paléoécologiques. Si la forêt peut parfois être l'ennemie de la tourbière, la tourbière, elle, enregistre l'histoire de la forêt. Canroute appartient à l'ensemble tourbeux actif à sphaignes du Margnès. C'est une tourbière soligène (tourbière de pente) alimentée par un réseau de sources et bordée par des boisements de résineux et de feuillus (Aulnes, Saules et Chênes). Une partie de la zone est acquise en 1998 par le Conservatoire des Espaces Naturels (CEN) qui met en œuvre des actions de préservation, de gestion, de restauration et de pédagogie : entretien des zones ouvertes, maintien du fonctionnement hydrologique, exploration et préservation des habitats et de

la biodiversité animale et végétale, création d'un sentier et d'un ponton de découverte, mise en place de passerelles permettant d'éviter les ruisseaux d'écoulement et de clôtures pour « sanctuariser » certaines aires sensibles abritant, pour ne citer que lui, un rare Lycopode. Enfin, des vaches *Highland Cattle* ont été acquises. Installées sur la zone humide, elles paissent paisiblement et font office de jardiniers à temps plein et de gestionnaire écologique du complexe tourbeux. Merci au PNR du Haut-Languedoc, au CEN Midi-Pyrénées, et en particulier à Frédéric Néri, pour nous avoir permis de travailler sur la tourbière.

La forêt, en particulier la futaie irrégulière de résineux située à proximité du village d'Anglès, est la seconde zone atelier. Le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*, originaire d'Amérique du nord), l'Epicéa (*Picea abies*, introduit depuis les Alpes) et le Sapin pectiné (*Abies alba*, indigène) sont les trois essences, des résineux, les plus exploitées. Elles constituent un peu plus de 40% des boisements et des reboisements (données issues de l'inventaire forestier) et sont utilisés comme bois d'œuvre et bois d'industrie (fabrication de palettes, contreplaqués, tuteurs…). Les peuplements de feuillus parmi lesquels le Hêtre (*Fagus sylvatica*), le Chêne rouvre (*Quercus petraea*), le Chêne pédonculé (*Q. robur*) et le Châtaignier (*Castanea sativa*) constituent près de 51% des boisements. Ces espèces sont utilisées essentiellement comme bois de chauffage ou pour la fabrication de piquets de clôture (châtaignier et son bois quasi-imputrescible chargé de tanins), même si les plus beaux (et rares) sujets peuvent être exploités en menuiserie et ébénisterie.

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

Nous sommes très reconnaissant à Mathias Bonneau, bûcheron écologue, gestionnaire intelligent, érudit, écrivain, dessinateur, et avant tout passionné de son pays et de la forêt, de nous avoir guidé sur sa parcelle, parlé de son histoire, expliqué son métier et de nous avoir permis de carotter à la sonde de Pressler des Douglas, Sapins et Epicéas. Un grand merci au département Biologie-Ecologie (Faculté des Sciences, Université de Montpellier) et à l'Institut des Sciences de l'Evolution-Montpellier (ISEM, UMR 5554) qui nous permet de développer, grâce à la mise à disposition de plateaux techniques, cet apprentissage par la recherche et pour la recherche. Un immense merci à Florence et Jérôme Moise pour leur accueil au Roussinas (Anglès). L'équipe pédagogique était cette année constituée de : Stéphanie Bodin (doctorante), Laurent Brémond, Benoît Brossier, Vincent Girard, Johann Housset (PNR à l'époque), Marion Lestienne (doctorante), Serge Muller et Jean-Frédéric Terral. Ce travail a fait l'objet d'une intervention dans le cadre de la journée « aspects culturels des tourbières », organisée par le Pôle-Relais Tourbières (programme Tourbières du Massif Central), au Soulié, le 26 avril 2018.

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

La horde des bucherons sauvages d'ORPAM 2017 en pleine action de déforestation, sous le regard amorphe de la fonction publique, qui a exceptionnellement abandonné son costume rouge traditionnel.

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 3e et 4e 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 2017-2018
Monts de Lacaune

Muller S.D., Brémond L., Girard V. & Terral J.-F. : *Végétation de la tourbière de Canroute, dans les Monts de Lacaune (Le Margnès, Tarn)* 9

Piau G. & Bensid N. : *Etude comparée de l'accroissement radial de trois espèces de Pinaceae en contexte sylvicole dans le Parc naturel du Haut-Languedoc* 15

Sirejacob C. & Thomas-Clément T. : *Histoire de la végétation depuis 7000 ans dans les Monts de Lacaune* 27

Bourgeat E. & Monjaret O. : *Macrocharbons : paléo-feux et influence anthropique dans la tourbière de Canroute (Tarn)* ..... non publié

Huperzia selago (Lycopodiaceae), le lycopode selagine, un survivant de la dernière période glaciaire qui s'est maintenu dans les massifs forestiers et les montagnes de l'Europe méridionale *(photo : S. Muller)*

VEGETATION DE LA TOURBIERE DE CANROUTE, DANS LES MONTS DE LACAUNE (LE MARGNES, TARN)

Serge D. Muller [1], Laurent Brémond [2], Vincent Girard [3], Jean-Frédéric Terral [4]

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

[1] serge.muller@umontpellier.fr, [2] laurent.bremond@umontpellier.fr,
[3] vincent.girard@umontpellier.fr, [4] jean-frederic.terral@umontpellier.fr

Citation : Muller S.D., Brémond L., Girard V. & Terral J.-F. (2018). Végétation de la tourbière de Canroute, dans les Monts de Lacaune (Le Margnès, Tarn). *Orpalm Synthesis*, 11(1) : 9-13.

Résumé : La tourbière de Canroute est la plus remarquable tourbière à sphaignes du département du Tarn. Elle abrite un cortège floristique riche, comportant 9 espèces de sphaignes et plusieurs herbacées rares, dont certaines avec une forte affinité océanique (en particulier, *Carex binervis*, *Narthecium ossifragum* et *Rhynchospora alba*), ce qui la distingue des tourbières des Monts de l'Espinouse et des Cévennes.

Mots clés : Massif Central, zone humide, conservation, sphaignes, influence océanique

Abstract: *Vegetation of Canroute peatland, in Lacaune hills (Le Margnès, Tarn)*. The Canroute peatland is the most remarkable peat-forming habitat of the Tarn French department. It houses a high plant diversity, with 9 species of *Sphagnum* and several rare herbs, including some with a strong oceanic affinity (notably, *Carex binervis*, *Narthecium ossifragum* and *Rhynchospora alba*), which distinguishes it from similar habitats of Monts de l'Espinouse and Cévennes.

Keywords: Massif Central, wetland, conservation, peat mosses, oceanic influence

La tourbière de Canroute est installée dans un petit vallon à 790 m d'altitude, près du hameau de Lassouts (commune du Margnès), dans les Monts de Lacaune (43°38'48"N ; 02°34'35"E ; alt. 790 m). Elle constitue la plus remarquable tourbière à sphaignes du département du Tarn, et est gérée depuis 1998 par le Conservatoire des Espaces Naturels Midi-Pyrénées (CREN Midi-Pyrénées, 2007).

Une visite du site préliminaire au stage ORPAM a été réalisée le 13 juillet 2017. Les observations et relevés floristiques réalisés permettent de caractériser la végétation du milieu.

MATERIEL ET METHODES

1- Terrain

Des échantillons de sphaignes ont été prélevés à différents endroits du site pour permettre leur identification. Un relevé phytosociologique (Braun-Blanquet, 1932) a été réalisé dans la partie centrale la tourbière, où ont été prélevées deux carottes, qui ont atteint la profondeur de 115 cm. Ce relevé a été complété par un inventaire rapide de l'ensemble du site.

2- Laboratoire

L'identification des Marchantiophytes et des Bryophytes a été réalisée avec microscope

optique et binoculaire, à l'aide des flores de Daniels & Eddy (1985) et de Frey et al. (2006).

RESULTATS

1- Relevé phytosociologique et inventaire botanique

L'inventaire des principales espèces de la tourbière de Canroute (Table 1) a permis d'identifier 50 espèces dont 39 Phanérophytes et 11 bryophytes *s.l.*. Le relevé phytosociologique (Table 2) a quant à lui permis d'évaluer l'abondance locale des 24 espèces présentes à proximité immédiate du lieu de carottage. Ces données constituent le référentiel actuel de l'étude paléoécologique à venir.

2- Identification des Marchantiophytes et des Bryophytes

L'inventaire réalisé (Table 3) a permis d'identifier une Marchantiophyte (*Calypogeia sphagnicola*), une mousse (*Polytrichastrum formosum*) et 8 espèces de sphaignes, appartenant à 4 sections (auxquelles s'ajoute une espèce identifiée antérieurement par F. Prud'homme).

Les sphaignes les plus abondantes sont *S. papillosum*, qui constitue des buttes dans la partie centrale de la tourbière, *S. inundatum* qui occupe les dépressions humides, et *S. subnitens*, qui forme des buttes dans la partie haute.

Table 1. Inventaire botanique non exhaustif de la Tourbière de Canroute

Ligneux	Herbacées	bryophytes *s.l.*
Alnus glutinosa	*Carex binervis*	*Aulacomnium palustre*
Calluna vulgaris	*Carex demissa*	*Calypogeia sphagnicola*
Genista anglica	*Carex echinata*	*Polytrichastrum formosum*
Frangula alnus	*Carex panicea*	*Sphagnum capillifolium*
Populus tremula	*Carex rostrata*	*Sphagnum subnitens*
Salix atrocinerea	*Carum verticillatum*	*Sphagnum angustifolium*
Salix aurita	*Cirsium palustre*	*Sphagnum fallax*
	Drosera rotundifolia	*Sphagnum palustre*
	Eleocharis multicaulis	*Sphagnum papillosum*
	Epilobium palustre	*Sphagnum auriculatum*
	Eriophorum angustifolium	*Sphagnum inundatum*
	Holcus lanatus	
	Huperzia selago (bord de la rivière)	
	Hypericum elodes	
	Juncus acutiflorus	
	Juncus bulbosus	
	Juncus effusus	
	Lotus pedunculatus	
	Lysimachia tenella (= *Anagallis tenella*)	
	Lysimachia vulgaris	
	Menyanthes trifoliata	
	Molinia caerulea	
	Nardus stricta	
	Narthecium ossifragum	
	Potamogeton polygonifolius	
	Potentilla erecta	
	Ranunculus flammula	
	Rhynchospora alba	
	Scutellaria minor	
	Succisa pratensis	
	Viola palustris	
	Wahlenbergia hederacea	

Table 2. Relevé phytosociologique réalisé dans la partie centrale de la tourbière de Canroute

Surface du quadrat	100 m²		
Espèce	Recouvrement	Espèce	Recouvrement
Calluna vulgaris	1	*Juncus acutiflorus*	4-5
Genista anglica	1	*Lotus pedunculatus*	1
Frangula alnus	+	*Molinia caerulea*	4-5
Salix atrocinerea	1	*Narthecium ossifragum*	1
Salix aurita	1-2	*Potamogeton polygonifolius*	1
Carex demissa	+	*Potentilla erecta*	1
Carex echinata	2-3	*Ranunculus flammula*	+
Carex panicea	+	*Scutellaria minor*	1
Carum verticillatum	2	*Succisa pratensis*	+
Epilobium palustre	+	*Viola palustris*	2
Eriophorum angustifolium	+	*Sphagnum inundatum*	2
Hypericum elodes	1.2	*Sphagnum papillosum*	2

Table 3. Détail des Marchantiophytes et Bryophytes identifiés sur la tourbière de Canroute

Famille	Genre	Section	Espèce	Localisation
Aulacomniaceae	*Aulacomnium*	–	*A. palustre* (Hedw.) Schwägr.	Butte à *S. subnitens*
Calypogeiaceae	*Calypogeia*	–	*C. sphagnicola* (Arnell & J.perss.) Warnst. & Loeske	Butte à *S. subnitens*
Polytrichaceae	*Polytrichastrum*	–	*P. formosum* (Hedw.) G.L.Sm.	Bosquet tourbeux
Sphagnaceae	*Sphagnum*	*Acutifolia*	*S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw.	Butte haut tourbière
			S. subnitens Russ. & Warnst.	Très abondante, buttes et platières, bosquet tourbeux
		Cuspidata	*S. angustifolium* (Warnst.) C.E.O. Jens.	Bois sous la station de *Maianthemum bifolium*
			S. fallax (Klinggr.) Klinggr.	Platière haut tourbière
			S. flexuosum Doz. & Molk.	Identification François Prud'homme
		Sphagnum	*S. palustre* L.	Bois sous la station de *Maianthemum bifolium*, bosquet tourbeux
			S. papillosum Lindb.	Buttes centre tourbière
		Subsecunda	*S. auriculatum* Schimp.	Platière haut tourbière
			S. inundatum Russ.	Dépressions humides au centre et en bas tourbière

DISCUSSION

1- Biogéographie

Le cortège floristique de la tourbière de Canroute est marqué par la présence de plusieurs espèces à affinité océanique : *Carex binervis*, *Carum verticillatum*, *Narthecium ossifragum*, *Rhynchospora alba*, *Scutellaria minor* et *Walhenbergia hederacea*. Ces espèces se trouvent ici proches de leur limite sud-occidentale de distribution : seul *Carum verticillatum* atteint le Caroux vers le sud et les Cévennes vers l'ouest (Aigoual, Mont Lozère). Sur l'Aigoual, cette espèce n'est d'ailleurs présente que sur le versant occidental du massif (tourbière du Bonheur).

Carex binervis et *Narthecium ossifragum* sont les espèces les plus dépendantes de l'influence océanique : on ne les trouve en France que sur la façade atlantique. Elles sont notamment assez fréquentes dans les tourbières du Finistère.

Les sphaignes observées sont toutes des espèces à large répartition, que l'on trouve depuis l'Arctique jusque dans le sud de l'Europe (Daniels & Eddy, 1985). Deux d'entre elles (*S. auriculatum* et *S. subnitens*) atteignent l'Afrique du Nord (Muller et al., 2010, 2011).

2- Richesses spécifiques

La richesse en Phanérophytes (39 espèces) se situe dans la moyenne haute de celle d'autres tourbières étudiées selon la même méthodologie : entre 23 et 43 espèces pour les tourbières de l'Aigoual, entre 25 et 39 espèces pour les tourbières du Caroux, et 38 espèces pour la tourbière de Lapsou, dans le Cantal (Dubois & Plancher, 2017).

La richesse en Bryophytes, et en particulier en sphaignes (9 espèces), est en revanche plus élevée que celle des autres sites étudiés : 4 espèces de sphaignes au maximum pour les tourbières de l'Aigoual, 6 pour celles du Caroux (Kotarba et al., 2009) et 7 pour celle du Cantal.

3- Enjeux de conservation

L'habitat en lui-même constitue un fort enjeu de conservation. Les tourbières ont depuis très longtemps été drainées, pâturées et/ou cultivées, ce qui explique leur actuelle rareté en Europe sud-occidentale. La région étudiée, à l'extrême sud du Massif Central, se situe en outre sur la limite méridionale de ces écosystèmes. On trouve des milieux tourbeux plus au sud (en Espagne, en Italie, jusqu'au Maghreb), mais leur richesse spécifique se réduit fortement au fur et à mesure que l'on se déplace vers le sud.

Outre l'enjeu conservatoire lié à l'habitat, cinq espèces bénéficient de statuts de protection à l'échelle nationale ou régionale : *Carex binervis*, *Drosera rotundifolia*, *Eleocharis multicaulis*, *Huperzia selago* et *Hypericum elodes* (CREN Midi-Pyrénées, 2007).

4- Dynamique récente et perturbations

La tourbière de Canroute est pâturée depuis 1982 par des vaches (d'abord des Aubracs, puis des Highland Cattle), qui ont permis d'ouvrir le milieu en limitant notamment le développement des saules (*Salix aurita* et *S. atrocinerea*).

L'ouverture du milieu a certainement été favorable aux espèces herbacées patrimoniales et aux sphaignes, mais le piétinement empêche a priori la formation de buttes de sphaignes élevées, et maintient le tapis herbacé sous la forme de platières parsemées de petites buttes clairsemées.

La présence de nombreuses plantules de saules sur la tourbière traduit la dynamique successionnelle active, qui ne peut clairement être contrôlée que par le maintien d'une perturbation permanente.

CONCLUSION

En dépit de sa localisation méridionale et de la forte anthropisation régionale, la tourbière de Canroute est un milieu extrêmement intéressant et relativement bien préservé, qui bénéficie depuis près de 20 ans d'une maîtrise foncière par le CEN Midi-Pyrénées.

Cette tourbière n'a pourtant encore jamais été étudiée pour son contenu paléoécologique, qui permettra de préciser sa date et son mode d'initiation, sa dynamique végétale postglaciaire, et les éventuelles perturbations anthropiques qui ont pu l'affecter. Ces données représentent des informations majeures pour aider à sa gestion conservatoire sur le long terme. Ce travail, entrepris cette année dans le cadre d'ORPAM 2017, sera réalisé dans un cadre paléoécologique régional bien défini par plusieurs études palynologiques antérieures :

- Massif du Caroux (de Beaulieu, 1967 ; Pulido Avila, 2006 ; Lacand et al., 2016)
- Massif du Somail (de Beaulieu, 1967, 1969 ; Pulido Avila, 2006)
- Monts de l'Espinouse (de Beaulieu, 1967, 1969 ; Pulido Avila, 2006)
- Monts de Lacaune (de Beaulieu & Evin, 1974 ; de Beaulieu, 1981)

RÉFÉRENCES

Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community* (translation by H.S. Conard & G.D. Fuller). McGraw Hill Book, New York.

CREN Midi-Pyrénées (2007). *La tourbière de Canroute*. Fiche du Conservatoire Régional de Espaces Naturels de la région Midi-Pyrénées, 2 p.

Daniels R.E. & Eddy A. (1985). *Handbook of European Sphagna*. Inst. Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Huntingdon.

de Beaulieu J.-L. (1967). *Recherches pollenanalytiques sur les tourbières des Monts de l'Espinouse (Hérault)*. Diplôme d'Etudes Supérieures (Sciences Naturelles), Université d'Aix-Marseille, Marseille.

de Beaulieu, J.-L. (1969). Analyses polliniques dans les monts de l'Espinouse (Hérault). *Pollen et Spores*, 11 (1) : 83-96.

de Beaulieu, J.-L. & Evin, J. (1972). Analyses polliniques et datages 14C dans les Monts de Lacaune (Tarn). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, Série D, 274 : 3531-3534.

de Beaulieu, J.-L. (1974). Évolution de la végétation sur la bordure montagneuse cévenole au postglaciaire, d'après les pollens. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.

de Beaulieu, J.-L. (1981). Analyse pollinique de tourbières sur la marge occidentale et septentrionale des Causses. *Paléobiologie continentale*, 12 (1) : 117-130.

Dubois M. & Plancher C. (2017). Dynamiques paléoenvironnementales holocènes de la tourbière de Lapsou (Cantal, France). *Orpalm Synthesis*, 10 (2) : 37-48.

Frey W., Frahm J.-P., Fischer E. & Lobin W. (2006). *The liverworts, mosses and ferns of Europe*. T.L. Blockeel (ed.), Harley, Colchester.

Kotarba A., Moresco E. & Roux L. (2009). Inventaire et cartographie des sphaignes du Caroux. *Orpal Synthesis*, 2 : 7-14.

Lacand, M., Sampy, T. & Toumoulin, A. (2016). Évolution de la Tourbière de la Lande et de la végétation du Haut-Languedoc lors des 900 dernières années (étude palynologique). *Orpalm Synthesis*, 9 (1) : 31-44.

Muller S.D., Daoud-Bouattour A., Belouahem-Abed D., Ben Haj Jilani I., Ben Saad-Limam S., Benslama M., Ferchichi-Ben Jamaa H., Rhazi L. & Ghrabi-Gammar Z. (2010). Peat mosses (*Sphagnum*) and related plant communities of North Africa. I. The Numidian-Kroumirian range (Algeria-Tunisia). *Flora Mediterranea*, 20 : 159-178.

Muller S.D., Rhazi L., Saber E.-R., Rifai N., Daoud-Bouattour A., Bottollier-Curtet M., Ben Saad-Limam S. & Ghrabi-Gammar Z. (2011). Peat mosses (*Sphagnum*) and related plant communities of North Africa. II. The Tingitanean-Rifan range (northern Morocco). *Nova Hedwigia*, 93 : 335-352.

Pulido Avila, M.G. (2006). *Conséquences de l'anthropisation sur la dynamique postglaciaire de la végétation dans le sud du Massif Central, France*. Doctorat, Université d'Aix-Marseille, Marseille.

ETUDE COMPAREE DE L'ACCROISSEMENT RADIAL DE TROIS ESPECES DE PINACEAE EN CONTEXTE SYLVICOLE DANS LE PARC NATUREL DU HAUT-LANGUEDOC

Gabrielle Piau [1], Nassima Bensid [2]

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

[1] gabrielle.piau@etu.umontpellier.fr, [2] nassima.bensid@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Benoît Brossier

Citation : Piau G. & Bensid N. (2018). Etude comparée de l'accroissement radial de trois espèces de Pinaceae en contexte sylvicole dans le Parc naturel du Haut-Languedoc. *Orpalm synthesis*, 11 (1) : 15-26.

Résumé : Dans un contexte global de changement climatique, les sylviculteurs doivent choisir avec soin les essences adaptées à leur milieu de culture. L'influence de tels changements sur la croissance des arbres est mesurable par étude dendrochronologique. Ici, trois espèces forestières (le douglas *Pseudotsuga menziesii*, le sapin *Abies alba* et l'épicéa *Picea abies*) ont été échantillonnées dans une plantation du Parc naturel du Haut-Languedoc. Le douglas présente de vrais avantages sylvicoles, mais pas en milieu méditerranéen. L'épicéa apparaît comme l'espèce la moins adéquate dans ce milieu et pour cette activité. Finalement, le sapin semble le mieux adapté aux contraintes régionales.

Mots clés : Dendroécologie, changement climatique, Blue Intensity, conifères, largeur de cernes

Abstract: *Comparative study of the radial growth of three Pinaceae species in a sylvicultural context in the Haut-Languedoc Natural Park.* In a global context of climate change, foresters need to carefully choose the tree species that suit their growing environment. The influence of such changes on tree growth is measurable by dendrochronological study. Here, three forest species (douglas *Pseudotsuga menziesii*, fir *Abies alba* and spruce *Picea abies*) are sampled in a plantation of the Parc Naturel du Haut Languedoc. Douglas comes out with real advantages in silviculture, but not in a Mediterranean environment. Spruce appears as the least adequate species in this environment and for this activity. Finally, fir seems the best suited to the regional climate stress.

Keywords: Dendroecology, climate change, Blue Intensity, conifers, ring width

Le quatrième rapport du GIEC confirme que le réchauffement mondial, dont l'intensité « au cours du XXe siècle est sans précédent depuis 1000 ans et sans doute au-delà », est « très vraisemblablement » d'origine anthropique (GIEC, 2007 ; Roman-Amat, 2007). Une étude effectuée par Moisselin et al. (2002) est également arrivée aux mêmes conclusions. Les impacts et les conséquences sur les écosystèmes forestiers sont variés et peuvent concerner les aires de répartition, la reproduction ou la croissance des arbres (Roman-Amat, 2007). L'un des secteurs les plus touchés par ce phénomène est la sylviculture, primordiale en termes de ressources. La compréhension de l'impact du réchauffement global nécessite toutefois un suivi à l'échelle du siècle (Aussenac & Guehl, 1998 ; Roman-Amat, 2007). Plusieurs

influences liées aux changements climatiques peuvent être identifiées (Aussenac & Guehl, 1998). Pour les espèces dont le débourrement est conditionné par l'augmentation des températures printanières, comme les conifères, une augmentation de 2°C pourrait causer des dégâts importants, notamment sur la croissance. Le réchauffement en automne et en hiver pourrait cependant avoir un impact positif, en retardant l'apparition des premières gelées qui constituent un facteur limitant pour certaines espèces à période de croissance longue et tardive (cèdre, douglas, épicéa de Sitka, peupliers). Si toutefois les températures augmentent mais que le régime hydrique reste satisfaisant, il ne devrait pas y avoir de fortes perturbations pour les espèces constituant la forêt française actuelle. Le régime hydrique (cumul de précipitations annuelles et répartition saisonnière) est un élément déterminant pour les arbres et les peuplements forestiers (Aussenac & Guehl, 1998 ; Lebourgeois, 2006).

Il existe un domaine d'étude permettant d'observer l'influence de ces changements sur les espèces forestières. Il s'agit de la dendrochronologie (du grec *dendros*, l'arbre et *chronos*, le temps), l'étude de la croissance des arbres au cours du temps. Cette discipline consiste à analyser les cernes de croissance annuelle des arbres pour reconstituer des chronologies. La dendroécologie est ainsi la science qui utilise la dendrochronologie pour analyser les processus écologiques historiques qui impactent la croissance des arbres (Latte et al., 2012).

La présente étude vise à comprendre, via la dendrochronologie, la réaction de trois espèces aux variations climatiques : l'épicéa (*Picea abies*), le douglas (*Pseudotsuga menziesii)* et le sapin (*Abies alba),* couramment utilisées en sylviculture (Aussenac & Guehl, 1998). Le but, par dendroécologie, est de savoir si l'une de ces essences présente plus d'avantages qu'une autre dans ce contexte climatique, et si oui, laquelle et quels sont ces avantages. Il est à noter que le douglas est une espèce importée du continent nord-américain pour sa qualité de bois. Ce n'est donc peut-être pas l'essence la mieux adaptée au climat méditerranéen, alors que les deux autres espèces que sont le sapin et l'épicéa sont indigènes.

MATERIEL & METHODES

1- Site d'étude

Le département du Tarn présente l'aspect d'un amphithéâtre de plateaux et de collines inclinés vers le sud-ouest, bordé à l'est de plateaux de faible altitude (entre 100 et 300 m) et au sud-est de chaînons montagneux (monts de Lacaune, Sidobre, Montagne Noire) allant jusqu'à avoisiner les 1300 m d'altitude (Massat, 1999a). Le site d'étude se situe à proximité des communes d'Anglès et de Brassac, dans le Parc Naturel du Haut Languedoc (43°32'26.2"N ; 2°38'09.6"E ; Fig. 1). Ce Parc est l'un des 51 Parcs naturels régionaux de France et est un territoire rural habité, reconnu au niveau national pour sa valeur patrimoniale et paysagère. La zone d'échantillonnage est soumise à des influences climatiques montagnardes, ressenties surtout dans l'est du département, et méditerranéennes, qui expliquent la sécheresse et les fortes températures estivales (Massat, 1999b).

Le site d'étude est une sylviculture dont les arbres ont été plantés il y a environ 100 ans. Les trois espèces dominantes de cette forêt sont l'épicéa commun *(P. abies)*, le douglas (*P. menziesii)* et le sapin pectiné *(A. alba)*.

2- Prélèvement sur le terrain

D'une façon générale, la largeur du cerne résulte des variations interannuelles des conditions environnementales et des processus physiologiques propres à l'arbre. En dendroécologie, les arbres dominants sont privilégiés dans les stratégies d'échantillon-nage car leur croissance est moins affectée par la compétition inter-individus que les arbres de petits diamètres, souvent dominés (Lebourgeois & Mérian, 2012). Cependant, il est intéressant de noter que les arbres dominants, les plus gros, sont souvent plus sensibles au climat. En adoptant cette stratégie d'échantillonnage, les influences des

changements climatiques sur les espèces forestières choisies devraient être plus visibles.

Figure 1. Localisation du site d'étude

Des carottages ont été effectués à l'aide d'une tarière de Pressler (Annexe 1) sur des épicéas (*Picea abies*), des douglas (*Pseudotsuga menziesii*) et des sapins (*Abies alba*). Nous avons prélevé deux carottes par individu sur 15 individus par espèce, afin d'obtenir le patron d'accroissement moyen de chaque arbre. Les carottages ont été exécutés perpendiculairement aux arbres, à environ 30 cm du sol, pour ne pas altérer le bois. Chaque carotte, délicatement déposée dans du papier journal, a été numérotée, référencée et séchée en laboratoire.

3- Traitement du matériel biologique

Les carottes ont été fixées autour d'une tige de métal à l'aide de fils de fer et étiquetées, puis plongées dans l'acétone pendant 72 h (Annexe 1) afin d'extraire la résine des échantillons, car celle-ci pourrait altérer les mesures du *Blue Intensity* (Björklund et al., 2015). Les échantillons, une fois récupérés, ont été collés à l'aide d'un pistolet à colle dans des baguettes (des morceaux de bois rainurés) pour être ensuite poncés (à l'aide d'une ponceuse Scheppach BSM2010). Trois types de papier de ponçage ont été utilisés (de P240 à P600) afin d'obtenir un échantillon lisse où les cernes sont bien visibles. Le ponçage est également nécessaire aux bons résultats du *Blue Intensity* : certaines études ont mis en évidence que le grain utilisé lors du ponçage peut influencer les mesures, et un ponçage au grain plus fin permet l'obtention de mesures plus réalistes (Babst et al., 2009).

Le pointage, ou *cross dating*, est une méthode d'observation des cernes et de leur allure générale (Lebourgeois & Mérian, 2012). Les échantillons ont été observés avec une loupe binoculaire (Leica M80) et les observations faites ont été saisies dans un tableur Excel, afin d'avoir une première idée des années ayant subi d'importantes variations météorologiques. Un hiver rude ou une période de sécheresse intense créent notamment une empreinte, visible sous la forme de cernes très étroits.

Les données météorologiques utilisées sont issues des mesures récoltées par plusieurs stations de Météo France. Ces stations se situent à proximité du site d'étude et renseignent sur les températures maximales et minimales (permettant d'obtenir une température moyenne annuelle) et les précipitations cumulées mensuelles (la moyenne de ces mesures pour chaque année

permet d'obtenir les précipitations mensuelles moyennes par année).

4- Traitement des données

Les échantillons ont été scannés (Epson V600) à haute résolution (3200 ppp), puis la largeur des cernes a été mesurée grâce au logiciel CooRecorder. Ce logiciel permet également de mettre en place un filtre bleu qui mesure le *Blue Intensity* de chaque cerne dans le bois final. Cette méthode du *Blue Intensity* est une nouvelle technique peu coûteuse de traitement des données (Campbell et al., 2007, 2011 ; McCarroll et al., 2011). Elle met en évidence les changements importants de croissance au niveau des cernes, principalement ceux résultant d'une grande sécheresse (Björklund et al., 2015). Afin de transformer les valeurs numériques (pixels) en valeurs métriques (format .rwl, ou Leica RAW Image, créé par Leica), le logiciel Cdendro a été utilisé. Par la suite, le but a été d'établir une moyenne des deux carottes pour chaque individu afin d'obtenir le patron moyen de croissance avec le logiciel TSAP WIN (Rydval et al., 2014).

Les données récoltées sous forme de tableur Excel ont finalement été traitées grâce au logiciel statistique RStudio sous forme de graphiques en nuages de point : les données expérimentales (distances de cernes ou valeurs de *Blue Intensity*) sont représentées selon les années ou les données climatiques (précipitations ou températures moyennes). Les données expérimentales utilisées sont uniquement annuelles ; de ce fait, les corrélations ne peuvent se faire qu'à échelle annuelle. Pour tester d'éventuelles corrélations entre ces variables, un modèle linéaire a été systématiquement ajusté. Les droites de régression et les résultats des tests de corrélation linéaire de Pearson ont été systématiquement calculés. Enfin, deux modèles linaires ont été également été réalisés afin de déterminer si les températures ou les précipitations suivent, dans cette étude, des variations significatives au cours des 30 dernières années (c'est-à-dire une augmentation ou une diminution de la température moyenne annuelle ou des précipitations mensuelles moyennes au cours du temps).

RESULTATS

Des modèles linéaires ont été ajustés, selon le temps, pour la température moyenne annuelle (Annexe 2) et les précipitations mensuelles moyennes (Annexe 3). Ils semblent révéler une augmentation de la température depuis 1980. La courbe des précipitations semble moins linéaire, avec des valeurs faibles entre 1980 et 1990, puis des valeurs très élevées entre 1990 et 2000, pour finir par un plateau quasiment stable après 2000. Les modèles linéaires présentent donc une tendance significative pour la température moyenne annuelle, mais pas pour les précipitations mensuelles moyennes (Table 1).

1- Evolution des largeurs de cernes et des valeurs de Blue Intensity dans le temps.

D'une manière générale, les largeurs des cernes des trois espèces semblent suivre des schémas différents au fil des années (Fig. 2a). Entre 1960 et 1980, le douglas présente des cernes plus larges que les deux autres espèces. La tendance s'inverse après cette période : il y a un rétrécissement croissant des largeurs de cernes après 1980 qui se poursuit jusqu'en 2017. La courbe représentant les largeurs de cernes de l'épicéa présente, entre 1960 et 1980, des cernes plus larges que le sapin mais moins que le douglas. A la suite de cette période, il y a une légère tendance au rétrécissement (semblable à celle du douglas, mais avec un effet moins marqué). Finalement, à partir de l'année 2000, ses cernes sont plus étroits que ceux du sapin. Ce dernier présente une courbe croissante jusqu'en 1983, puis reste presque stable jusqu'en 2000. Passée cette année, le sapin est l'espèce qui présente les cernes les plus larges avec, toutefois, un léger rétrécissement visible jusqu'en 2017.

Relation linéaire testée	Espèce	R^2	Test de corrélation de Pearson t	df	p-value
Température moyenne annuelle / années		0,40	5,10	36	**
Précipitations mensuelles moyennes / années		0,07	-1,99	36	ns
Largeurs de cernes / température moyenne annuelle	Douglas	0,35	-4,56	36	***
	Epicéa	0,16	-2,83	36	**
	Sapin	0,15	-2,72	36	*
Température moyenne annuelle / valeurs *Blue Intensity*	Douglas	0,27	3,84	36	**
	Epicéa	0,06	-1,86	36	ns
	Sapin	0,23	3,45	36	ns
Largeurs de cernes / précipitations mensuelles moyennes	Douglas	0,07	1,95	36	ns
	Epicéa	0,19	3,09	36	ns
	Sapin	0,09	2,13	36	*
Précipitations mensuelles moyennes / valeurs *Blue Intensity*	Douglas	0,07	-1,93	36	ns
	Epicéa	0,07	1,96	36	ns
	Sapin	0,00	0,14	36	ns

*Table 1 : Résultats des tests effectués. ns : non significatif ; * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ;*** : p<0,001*

Les courbes du sapin et de l'épicéa représentant leur densité de bois final via les mesures de *Blue Intensity* se ressemblent et présentent des données restant quasiment stables au cours du temps, contrairement au douglas (Fig. 2b) dont la densité du bois final est bien moins importante. Après 1990, il y a cependant une hausse de la densité de son bois final, phénomène qui n'est observé chez aucune des deux autres espèces. L'espèce présentant la densité la plus élevée est l'épicéa, avec des maximums entre 1970 et 1980, suivis par une légère diminution jusqu'en 2017. Le sapin présente une diminution de la densité de son bois final entre 1960 et 1970, puis une hausse jusqu'en 1990. Après cette date, cette densité semble atteindre un plateau juste un peu au-dessus des valeurs de densité de l'épicéa. Ces deux courbes de densité du bois final sont significativement différentes lorsqu'elles sont testées par un test de Wilcoxon : entre 1968 et 1978, l'épicéa a une plus grande densité que le sapin (W= 115 ; p-value< 0,01), et la tendance s'inverse après 1984 (W= 35 et p-value< 0,01). Il est également possible d'observer que, de manière générale, les variations du *Blue Intensity* au cours du temps sur la Figure 2b sont bien moins marquées que les variations de largeurs de cernes (Fig. 2a).

2- Largeur de cernes et Blue Intensity selon la température moyenne annuelle.

La température moyenne annuelle est représentée en fonction des largeurs de cernes (Fig. 2c). Un rétrécissement des largeurs de cernes est visible sur toutes les courbes. Les largeurs de cernes du douglas sont corrélées à la température moyenne annuelle avec une forte significativité (Table 1). La significativité est plus faible, mais présente à la fois pour l'épicéa et le sapin (Table 1). Il y a donc une corrélation linéaire entre la température moyenne annuelle est les largeurs de cernes des trois essences.

La température moyenne annuelle exprimée en fonction des valeurs du *Blue Intensity* présente des droites de régression n'ayant aucune linéarité visible (Fig. 2d). Après vérification par un modèle linéaire, est trouvée une forte significativité pour les valeurs du douglas (Table 1) : la densité de son bois final est donc bel et bien impactée par les températures. L'épicéa ne semble pas voir la densité de son bois final influencée par ce facteur abiotique, tandis que le sapin l'est tout de même un peu (Table 1). Seul l'épicéa ne présente donc pas de corrélation linéaire entre ses valeurs de *Blue Intensity* et la température moyenne annuelle.

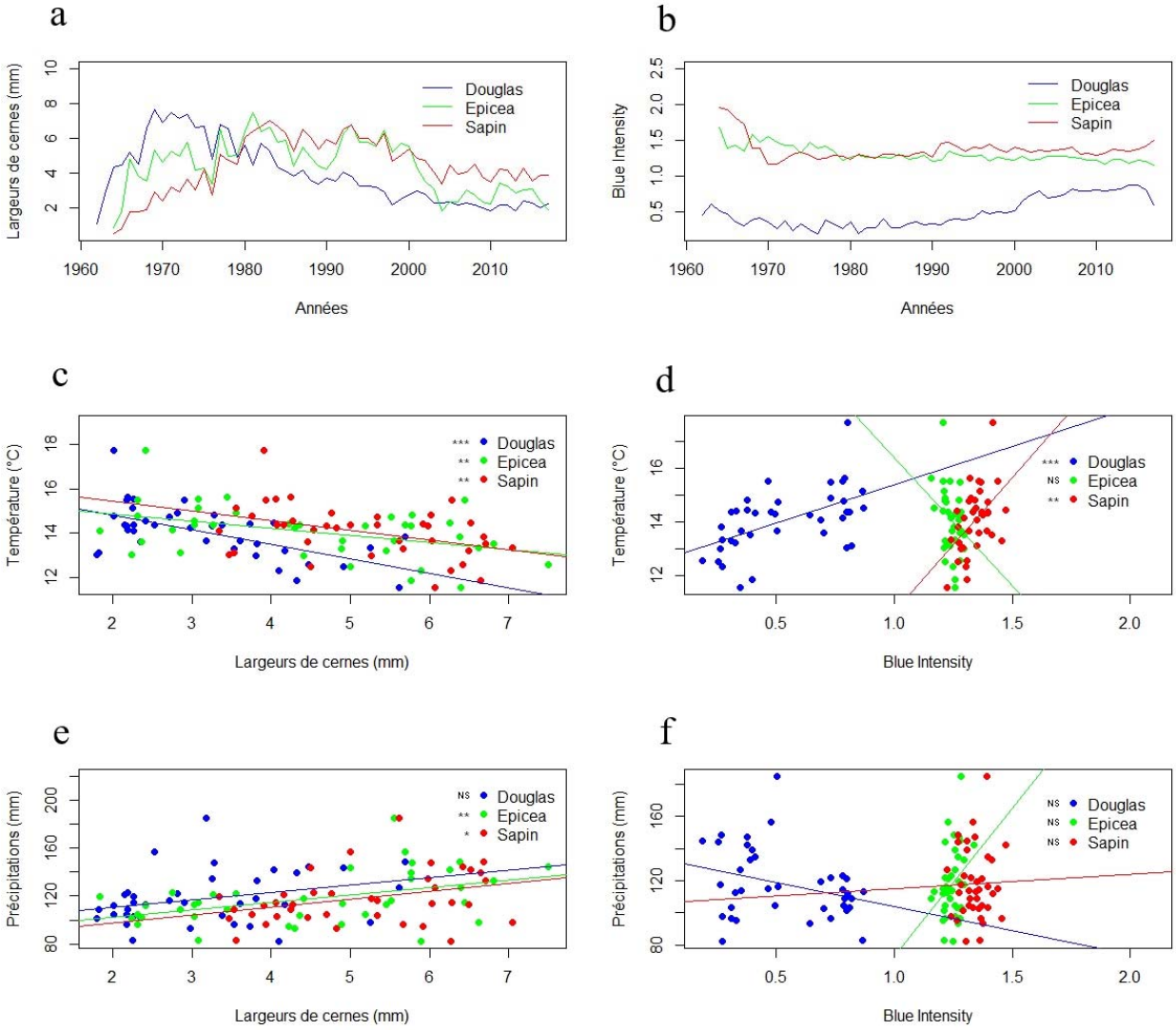


*Figure 2. Variation des largeurs de cernes (a) et du Blue Intensity (b) au cours du temps pour les trois espèces étudiées. Influence de la température moyenne annuelle sur les largeurs de cernes (c) et le Blue Intensity (d) pour les trois espèces étudiées. Influence des précipitations mensuelles moyennes sur les largeurs de cernes (e) et le Blue Intensity (f) pour les trois espèces étudiées. Corrélations de Pearson : NS = non significatif, * = p<0,05, ** = p<0,01 et *** = p<0,001.*

3- Largeur de cernes et Blue Intensity selon les précipitations mensuelles moyennes.

La largeur des cernes semble augmenter en fonction des valeurs de précipitations mensuelles moyennes (Fig. 2e) : les droites de régression d'un potentiel modèle linéaire ont une inclinaison qui laisse penser que c'est le cas, mais les points sont très dispersés. Afin de déterminer s'il y a une corrélation entre ces deux jeux de données, un modèle linéaire est ajusté par espèce. Ce dernier ne présente aucune significativité des valeurs du douglas (Table 1) ; cette espèce ne marque aucune influence des précipitations sur la largeur de ses cernes. Cependant, ce n'est pas le cas de l'épicéa et du sapin, qui présentent des résultats plus significatifs sans pour autant être très forts (Table 1).

Aucune tendance générale n'est visible entre les courbes de régression des précipitations mensuelles moyennes en fonction des valeurs du *Blue Intensity* (Fig. 2f). Un modèle linéaire, pour vérifier la significativité des

résultats, est effectué afin de savoir si les précipitations mensuelles moyennes ont une influence sur les valeurs du *Blue Intensity*. Les résultats ne sont significatifs chez aucune des trois espèces étudiées (Table 1).

DISCUSSION

Malgré quelques différences, les largeurs de cernes semblent suivre une même tendance pour les trois espèces au cours du temps, ce qui impliquerait donc que certains facteurs (climatiques, édaphiques ou autres) ont eu un effet à peu près similaire sur les trois espèces (Fig. 2a et 2b). Cette influence se traduit par des variations de largeur de cernes, mais avec des impacts plus ou moins forts selon l'espèce étudiée (sinon les trois courbes se seraient fondues en une seule) (Becker et al., 1994). Par exemple, l'accroissement radial du pin à crochets, étudié par Schueller & Rolland (1995), est fort durant des périodes de sécheresse malgré des températures élevées, et en saison hivernale, les gels et chutes de neige peuvent ralentir sa croissance. Le hêtre et le chêne, eux, sont plutôt fortement influencés par les déficits hydriques (Lebourgeois, 2006). Enfin, des travaux menés dans des peuplements de faibles altitudes de Alpes françaises (Desplanque et al., 1998, 1999) ont également trouvé des liens entre variables climatiques et largeur des cernes (différents entre espèces). Des liens se retrouvent donc selon des variables climatiques, et ils ont été observés ici concernant les précipitations mensuelles moyennes et la température moyenne annuelle. C'est donc autour de ces deux facteurs abiotiques principaux que s'articule la discussion.

1- Influence des températures sur la largeur des cernes et la densité du bois final

Le douglas présente de larges cernes entre 1960 et 1980 (Fig. 2a), et la tendance s'inverse par la suite avec un fort rétrécissement des largeurs de cernes jusqu'à nos jours. Ceci peut être dû à la hausse des températures, observable au travers des données météorologiques (Annexe 2). Une étude comparant les largeurs de cernes de différentes espèces met en évidence cette particularité du douglas à faire des cernes très larges, ce qui en fait un bois très apprécié en sylviculture (Nepveu & Blachon, 1989). Le rétrécissement des cernes observé depuis les années 1980 peut être expliqué par la sensibilité du douglas à la température (Latte et al., 2012). Selon ces auteurs, la corrélation entre ce facteur et la croissance est tantôt positive en début de période de végétation (se traduisant par un cerne large) tantôt négative en période estivale (avec alors un cerne étroit). De ce fait, la hausse globale des températures depuis le 20e siècle (Roman-Amat, 2007 ; Annexe 2) a pu influer sur les largeurs des cernes du douglas qui ont diminué au fil des ans. Ce phénomène se retrouve également chez l'épicéa, qui présente un rétrécissement de la largeur de ses cernes, bien que moins marqué que le douglas (Fig. 2a ; Latte et al., 2012). Le sapin, enfin, présente une augmentation de la largeur de ses cernes jusqu'en 1983 (Fig. 2a), puis atteint un plateau quasiment stable jusqu'aux années 2000 avant de voir la largeur de ses cernes légèrement diminuer jusqu'à nos jours, à l'instar des autres espèces étudiés. Il semble cependant moins touché par la hausse des températures, bien que le réchauffement climatique ait forcément un impact sur sa croissance. Ceci est retrouvé et corroboré par Desplanque et al. (1998) qui le décrivent comme étant une espèce thermophile ; les températures en hausse à la fin du 20e siècle ont donc été bénéfiques pour sa croissance et, au 21e siècle, il subit moins les fortes températures que les deux autres essences.

Cette tendance générale à un rétrécissement de la largeur des cernes des trois espèces étudiées selon la température moyenne annuelle est visible sur la Figure 2c et les résultats des tests de corrélation associés. Ces tests démontrent une relation significative entre la hausse des températures et le rétrécissement des cernes, avec un effet plus important sur le douglas, sans pour autant avoir une influence très marquée. Ceci peut être dû au fait que les conifères sont moins sensibles aux changements climatiques que les feuillus (Manise & Vincke, 2014). D'après

une étude de Lebourgeois (2006) sur les relations entre climat et variation de largeurs du bois initial, final et du cerne complet sur des peuplements d'épicéa et de sapin, il semblerait que les étés chauds et secs aient un impact se traduisant par un cerne fin. De plus, bien que la température ait effectivement une influence sur la croissance de ces deux espèces, il semble que ce ne soit pas le seul facteur qui ait créé de la variation dans les largeurs de cernes (Piedallu et al., 2009).

Il est aussi possible d'observer une influence de la température sur la densité du bois final entre les différentes espèces (Fig. 2d). D'après Polge (1966), la densité du bois varie en fonction du taux d'humidité, lui-même variable suivant la température et l'état hygrométrique de l'air ambiant. Ainsi, la densité du bois devrait, en partie, varier en fonction de la température. Sachant qu'ici, un lien proportionnel est retrouvé entre la densité du bois du douglas et les températures, l'hypothèse de Polge (1966) est confirmée par le *Blue Intensity* ; pour une valeur de *Blue Intensity* élevée, il y a une forte température associée. Les températures ayant une moindre influence sur l'épicéa et le sapin que sur le douglas, ces espèces présentent, en toute logique, une densité du bois également moins impactée (Fig. 2c et 2d).

2- Influence des précipitations sur la largeur des cernes et la densité du bois final

Un facteur autre que les variations de température peut influencer la largeur des cernes chez le sapin et l'épicéa. D'après Aussenac (1978), une réduction des précipitations est susceptible d'entraîner une réduction de l'épaisseur d'un cerne ; ceci pourrait expliquer les résultats de la présente étude. Une autre étude de Lebourgeois (2006) montre que les variations hydriques ont un effet visible et marqué chez ces deux espèces : il s'agit même là du facteur le plus influent. La croissance de ces espèces forestières serait ainsi liée au déficit hydrique estival pour la mise en place de leur bois final et initial. Les tests de corrélations montrent que le douglas n'est effectivement pas affecté par les précipitations, ce qui n'est pas le cas de l'épicéa et du sapin (Fig. 2e). La comparaison entre ces deux espèces révèle néanmoins des différences. D'après Desplanque et al. (1998), le sapin a une utilisation plus efficace de l'eau du sol, tandis que l'épicéa serait plus sensible aux sécheresses estivales. Cela expliquerait les résultats obtenus, qui montrent des largeurs de cernes moins impactées (cernes plus étroits de manière générale) chez le sapin que chez l'épicéa (Fig. 2a). Lebourgeois (2006) ajoute également que la croissance de l'épicéa dépend essentiellement des conditions de l'année en cours (n), tandis que celle du sapin est principalement gouvernée par des arrières effets (n-1).

Il est donc intéressant de savoir si les précipitations mensuelles moyennes, tout comme les températures, peuvent aussi avoir une influence directe sur la densité du bois. Les tests de corrélation et les Figures 2a, 2b, 2e et 2f ne présentent visiblement aucun impact de ce facteur sur la densité du bois final. Pourtant, les travaux de Polge (1977) indiquent que les corrélations de la densité maximale avec les pluies d'été sont toujours significatives : négatives chez le douglas et *Abies grandis*, et positives chez le pin sylvestre. De plus, l'auteur souligne que la densité maximale annuelle pourrait également varier, plus que la largeur des cernes, en fonction du type de sol. La densité du bois ne semble donc pas être un bon estimateur des précipitations d'un site, cette caractéristique étant variable entre espèces forestières et étant influencée par d'autres facteurs.

CONCLUSION

Les espèces utilisées en sylviculture dans les Monts de Lacaune, soumises à une double influence climatique montagnarde et méditerranéenne, doivent pouvoir survivre à des variations climatiques importantes, telles que la hausse de températures observée depuis trente ans et les périodes de sécheresse propres au climat méditerranéen. Les résultats obtenus confirment que le douglas présente des avantages non négligeables pour les sylviculteurs : une forte croissance (cernes larges) et une densité de bois élevée. Ils

révèlent cependant que les températures croissantes réduisent la largeur des cernes, ce qui pourrait se révéler problématique dans l'avenir. Le douglas reste néanmoins peu impacté par les sécheresses, ce qui en fait un bois intéressant pour la sylviculture. L'épicéa présente des largeurs de cernes et une densité de bois impactées négativement par les hausses de températures et par le stress hydrique : il apparaît bien moins attractif pour cette activité. Au final, le sapin semble être l'espèce la plus adéquate à ce milieu, car il est très peu influencé par la hausse des températures (par rapport au douglas) et les sécheresses (par rapport l'épicéa). Cependant, ce n'est pas une espèce reconnue comme étant à fort intérêt sylvicole, car ses cernes sont généralement de faible largeur et son bois peu dense, notamment par rapport au douglas.

La sylviculture nécessite plusieurs dizaines d'années pour obtenir un arbre de taille suffisante permettant la coupe, et être rentable. Il est donc primordial d'avoir une idée précise des espèces les mieux adaptées à l'environnement local avant de lancer une plantation, afin d'éviter les pertes (dans le cas où l'arbre ne survivrait pas assez longtemps) (Chevalier et al., 2009). Par exemple, ici, il apparaît que le douglas, rentable en termes de sylviculture, n'est pas l'espèce la mieux adaptée, et inversement pour le sapin. Le choix doit être viable à la fois économiquement et écologiquement. De telles études, réalisées sur des espèces de différents sites présentant des caractéristiques écologiques (biodiversité, stockage de carbone) et socio-économiques (production forestière, bois-énergie, risques naturels) variées, sont nécessaires à la sylviculture : elles permettent aux sylviculteurs de connaître les espèces les plus résistantes pour pouvoir les cultiver durablement, et favorisent une meilleure gestion des forêts françaises face aux changements environnementaux en cours (Piedallu et al., 2009).

REFERENCES

Aussenac G. (1978). La sécheresse de 1976 : influence des déficits hydriques sur la croissance des arbres forestiers. *Revue Forestière Française*, 30 : 103-114.

Aussenac G. & Guehl J.M. (1998). Impacts sur la forêt et la sylviculture. *In :* Mission interministérielle de l'effet de serre & Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (1997-2002) (éds.), *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle.* Mission interministérielle de l'effet de serre, Paris, pp. 81-87.

Babst F., Frank D., Büntgen U., Nievergelt D. & Esper J. (2009). Effect of sample preparation and scanning resolution on the Blue Reflectance of *Picea abies*. *TRACE–Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology, Scientific Technical Report*, 9 : 189-195.

Becker M., Bert G.D., Picard J.F. & Ulrich E. (1994). Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du nord-est de la France depuis le milieu du XIXe siècle. *Revue Forestière Française*, 46 : 325-341.

Björklund J., Gunnarson B.E., Seftigen K., Zhang P. & Linderholm H.W. (2015). Using adjusted Blue Intensity data to attain high-quality summer temperature information: A case study from Central Scandinavia. *The Holocene*, 25(3) : 547-556.

Campbell R., McCarroll D., Loader N.J., Grudd H., Robertson I. & Jalkanen R. (2007). Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree-rings: developing a new palaeoclimate proxy. *The Holocene*, 17(6) : 821-28.

Campbell R., McCarroll D., Robertson I., Loader N.J., Grudd H. & Gunnarson B. (2011). Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree rings: a manual for a new palaeoclimate proxy. *Tree-Ring Research*, 67(2) : 127-134.

Chevalier H., Gosselin M., Costa S., Paillet Y. & Bruciamacchie M. (2009). Calculer les coûts ou bénéfices de pratiques sylvicoles favorables à la biodiversité : comment procéder ? *Forêt-entreprise*, 187 : 35-39.

Desplanque C., Rolland C. & Michalet R. (1998). Dendroécologie comparée du sapin blanc (*Abies alba*) et de l'épicéa commun (*Picea abies*) dans une vallée alpine de France. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(5) : 737-748.

Desplanque C., Rolland C. & Schweingruber F.H. (1999). Influence of species and abiotic factors on extreme tree ring modulation. *Trees : Structure and Function*, 13(4) : 218-227.

GIEC : Core Writing Team, Pachauri R.K. & Reisinger A. (éds.) (2007). Contribution des Groupes de travail I, II, III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC. IPCC, Genève, pp. 104.

Latte N., Debruxelles J., Sohier C., Degré A. & Claessens H. (2012). La dendroécologie : un outil pour affiner nos connaissances sur l'autécologie des essences forestières. *Forêt Wallonne*, 116 : 3-17.

Lebourgeois F. (2006). Réponse au climat du Sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'Épicéa (*Picea abies* (L.) Karst.) dans le réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française*, 53(6) : 419-432.

Lebourgeois F. & Mérian P. (2012). *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. Laboratoire d'étude des Ressources Forêt-Bois, unité mixte de recherche INRA-ENGREF, Nancy, 1092 p.

Manise T. & Vincke T.M.C. (2014). Impacts du climat et des déficits hydriques stationnels sur la croissance radiale du hêtre, du chêne, de l'épicéa et du douglas en Wallonie. *Forêt Wallonne*, 129 : 50-59.

Massat C. (1999a). Relief. *In* : M. Cohou (éd.), *Atlas du Tarn : Espace, culture, société*. Conseil général du Tarn, Albi, pp. 8-9.

Massat C. (1999b). Climat. *In* : M. Cohou (éd.), *Atlas du Tarn : Espace, culture, société*. Conseil général du Tarn, Albi, p. 11.

McCarroll D., Tuovinen M., Campbell R., Gagen M., Grudd H., Jalkanen R., Loader N.J. & Robertson I. (2011). A critical evaluation of multi-proxy dendroclimatology in northern Finland. *Journal of Quaternary Science*, 26(1) : 7-14.

Moisselin J.M., Schneider M. & Canellas C. (2002). Les changements climatiques en France au XXe siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, 38 : 45-56.

Nepveu G. & Blachon J.L. (1989). Largeur de cerne et aptitude à l'usage en structure de quelques conifères : douglas, Pin sylvestre, Pin maritime, Épicéa de Sitka, Épicéa commun, Sapin pectiné. *Revue Forestière Française*, 41(6) : 497-506.

Piedallu C., Perez V., Gégout J.C., Lebourgeois F. & Bertrand R. (2009). Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, 61(6) : 567-593.

Polge H. (1966). Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants : applications dans les domaines Technologique et Physiologique. *Annales des sciences forestières*, 23 (1) : 1-206.

Polge H. (1977). Utilisation de la densité du bois en dendrochronologie et dendroclimatologie. Avantages et inconvénients. *Revue Forestière Française*, 29 : 421-433.

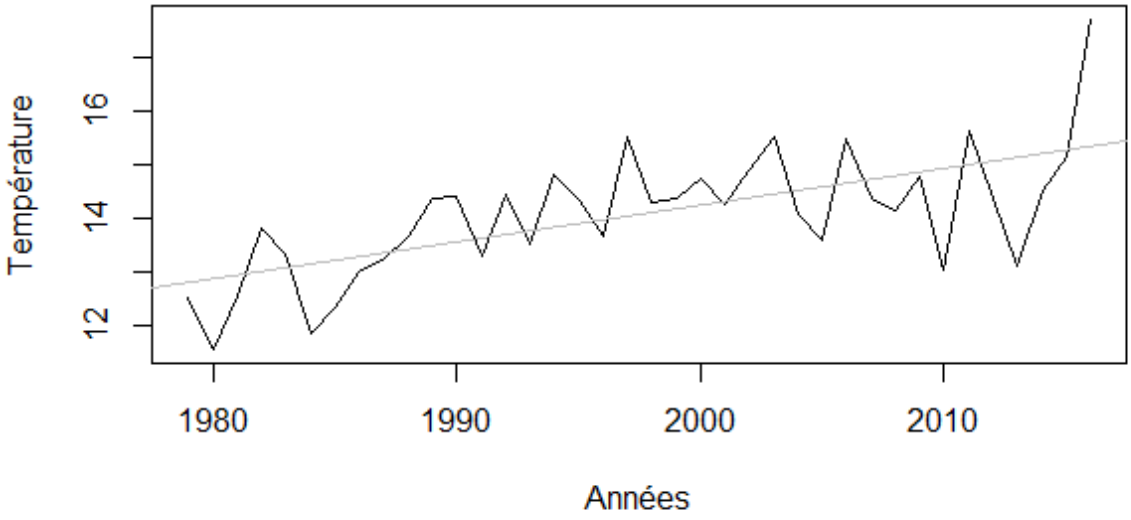
Roman-Amat B. (2007). *Préparer les forêts françaises au changement climatique*. Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, Paris, 125 p.

Rydval M., Larsson L.Å., McGlynn L., Gunnarson B.E., Loader N.J., Young G.H. & Wilson R. (2014). Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland. *Dendrochronologia*, 32(3) : 191-204.

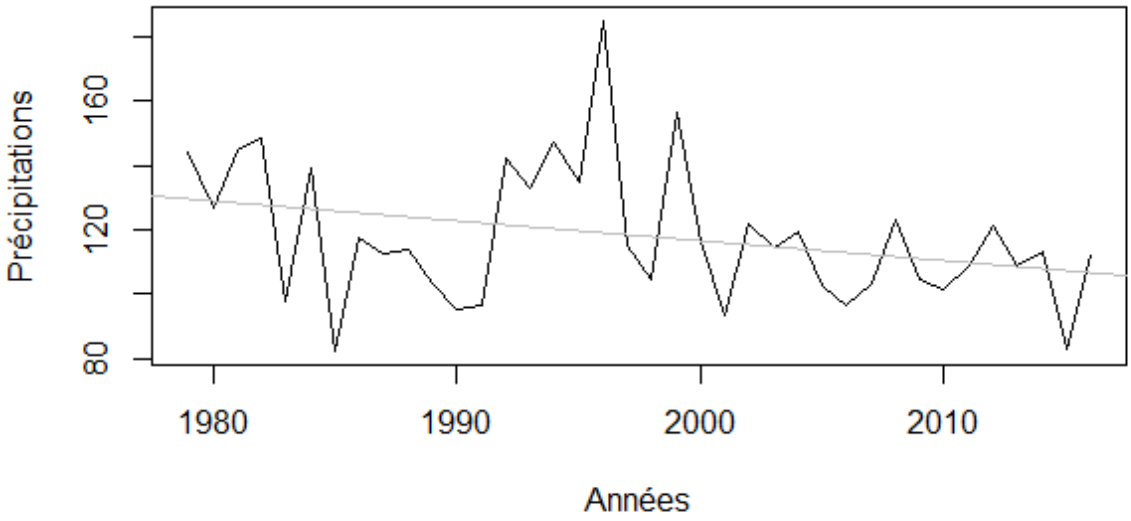
Schueller J.F. & Rolland C. (1995). Influence de l'altitude, de l'exposition et du climat sur la croissance du pin à crochets (*Pinus uncinata* Ram.) en Cerdagne (Pyrénées Orientales Françaises). *Pirineos*, 145 : 23-34.

ANNEXE 1. Tarière de Pressler (a), emmaillotage de carottes regroupées par individu (b) et bain d'acétone pour les échantillons (c)

ANNEXE 2. Evolution de la température moyenne annuelle (en C°) depuis 1978



ANNEXE 3. Evolution des précipitations mensuelles moyennes (en mm) depuis 1978



HISTOIRE DE LA VEGETATION DEPUIS 7000 ANS DANS LES MONTS DE LACAUNE

Cindy Sirejacob [1], Tony Thomas-Clément [2]

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

[1] cindy.sirejacob@etu.umontpellier.fr, [2] tony.thomas@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Serge Muller

Citation : Sirejacob C. & Thomas-Clément T. (2018). Histoire de la végétation depuis 7000 ans dans les Monts de Lacaune. *Orpalm synthesis*, 11 (1) : 27-37.

Résumé : Une étude palynologique a été réalisée sur une tourbière des Monts de Lacaune (Tarn, France). L'objectif est d'apporter de nouveaux éléments à la compréhension de la dynamique passée de la végétation régionale. Les datations radiocarbone réalisées sur deux carottes distantes d'environ 30 cm ont révélé une stratigraphie perturbée. Au début de l'Atlantique, la végétation était dominée par une chênaie mixte. Dès la moitié de l'Atlantique, elle est en partie remplacée par une hêtraie-sapinière. Les marqueurs d'anthropisation attestent un impact des activités humaines dès le Subboréal, mais surtout au Subatlantique.

Mots-clés : Quaternaire, palynologie, Massif Central, paysage, influx pollinique

Abstract: *Vegetation history since 7000 years in Monts de Lacaune.* A palynological study has been performed in a peatland of the Monts de Lacaune (Tarn, France). It aims at providing new clues to better understand the past dynamics of the regional vegetation. Radiocarbon dating, realized on two cores located at about 30 cm of each other, revealed a disturbed stratigraphy. At the beginning of the Atlantic, the vegetation was dominated by a mixed oak forest. By the mid-Atlantic, it was partly replaced by a beech-fir forest. Anthropisation indicators attest the impact of human activities from the Subboreal, but mainly during the Subatlantic.

Keywords: Quaternary, palynology, Massif Central, landscape, pollen influx

Le Pléistocène (2,5 Ma -11,5 ka) est la première partie du Quaternaire. Cette période est marquée par une succession de cycles de glaciations (Svenning et al., 2015). La seconde partie du Quaternaire, l'Holocène (11,5 ka-auj.), est une période interglaciaire. Au cours de l'Holocène, la végétation tempérée à recolonisé l'Europe à partir de zones refuges essentiellement méditerranéennes (Muller, 2005 ; Reille, 2013). La compréhension de la dynamique des communautés végétales est importante, afin de pouvoir anticiper le changement climatique (Piedallou et al., 2009).

La palynologie (étude du pollen) est la principale méthode d'étude de la végétation passée. Elle permet de retracer l'histoire des paysages locaux et régionaux, et d'en identifier les principaux déterminismes (Reille, 1988). La palynologie est basée sur trois principes (Adnet et al., 2013) **:** (1) l'ornementation et la structure du pollen sont spécifiques des taxons ; (2) la pluie pollinique enregistre la végétation productrice ; et (3) la stratigraphie et la composition des

assemblages fossiles sont conservés au sein d'archives sédimentaires. L'interprétation des résultats s'appuie sur le principe d'actualisme, qui postule que les taxa ont toujours vécu dans les mêmes conditions environnementales.

Le principe de la paléopalynologie est d'établir les proportions des différents taxa à différentes profondeurs le long d'une séquence sédimentaire. Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes polliniques (Reille, 2013). De nombreuses études antérieures ont permis de préciser les dynamiques végétales passées de la marge méridionale du Massif Central (de Beaulieu & Evin, 1972). Parmi ces études, certaines se sont plus particulièrement intéressées aux Cévennes (de Beaulieu, 1981).

Le travail présenté vise à étudier l'histoire de la végétation de la tourbière de Canroute (Monts de Lacaune) au moyen de la palynologie. Nous avons pour cela utilisé les pourcentages, les concentrations et les influx polliniques. Ces derniers apportent des informations sur le taux de sédimentation : l'influx est en effet dépendant de la végétation productrice et doit être constant pour une même végétation.

MATERIEL & METHODES

1- Site d'étude

La tourbière de Canroute se situe sur les Monts de Lacaune (sud du Massif Central, France). Les Monts de Lacaune constituent une ligne de crêtes caractérisée par la présence de chênaies caducifoliées sur le flanc sud exposé à un régime climatique océanique de transition (environ 1500 mm/an ; de Beaulieu & Evin, 1972 ; IFN, 1991). La tourbière se trouve au centre de ces monts, sur les communes du Margnès (81153) et de Castelnau-de-Brassac (81062). Elle est située entre 759 et 863 m d'altitude et s'étend sur 82,7 ha (Thomas, 2014). Elle est de type soligène, et alimentée par plusieurs ruisseaux et par un ensemble de petites sources d'eau qui se déversent dans la Teillouse (Thomas, 2014). C'est une tourbière à sphaignes et molinie, aujourd'hui pâturée afin de maintenir le milieu ouvert. Elle abrite quelques ligneux (*Alnus glutinosa*, *Calluna vulgaris*, *Frangula alnus*, *Populus tremula*, *Salix atrocinerea*, *S. aurita*) et est bordée par une hêtraie à *Ilex aquifolium* et fougères, mais aussi par une plantation d'épicéas.

2- Travail de terrain

En juillet 2017, deux carottes séparées de moins de 50 cm ont été prélevées. La profondeur maximale de tourbe a été mesurée à 1,15 m. Or, le carottier utilisé n'a qu'une capacité de prélèvement d'1 m. Deux carottes ont donc été prélevées pour en couvrir la totalité : la première de 0,02 à 1 m de profondeur, et la seconde de 0,15 à 1,15 m. Les premiers centimètres n'ont pu être conservés en raison de l'état trop liquide de la tourbe de surface.

Un inventaire floristique de la tourbière et un relevé phytosociologique du site de carottage ont été réalisés en juillet 2017 (Muller et al., 2018).

3- Travail de laboratoire

Les échantillons ont été préparés en prélevant 1 cm^3 tous les 8 cm le long de la première carotte. Les échantillons plus profonds (104 et 112 cm) ont été prélevés sur la seconde carotte. Seuls 8 échantillons, localisés tous les 16 cm, ont été traités et analysés. Afin d'en extraire le pollen, ils ont été traités selon le protocole de Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986). La première étape consiste à mesurer le volume des échantillons. Elle est suivie d'une succession de bains chimiques (HCl, KOH, FH, H_2SO_4) permettant de décomposer la matière organique et d'éliminer la matière minérale. Le protocole s'achève par l'ajout de glycérine. 25 µl du culot obtenu sont montés entre lame et lamelle. Le comptage et l'identification du pollen a été réalisée sous microscope optique. Un minimum de 300 pollens a été dénombré pour chaque échantillon (150 pollen comptés par chaque analyste sur tous les échantillons). Une liste des taxa à identifier a été établie au préalable afin d'harmoniser les résultats entre les

analystes.

Afin de compléter l'étude pollinique, les principaux palynomorphes ont été identifiés et dénombrés au microscope optique, et les macrorestes ont été analysés sous loupe binoculaire.

4- Datations radiocarbone et analyse des données

Trois datations radiocarbone ont été réalisées (Table 1). Elles ont été étalonnées (en cal. BP) avec Calib 7.0.4 (Reimer et al., 2013). L'incohérence de la date obtenue à 115 cm avec les deux autres suggère que les deux séquences ne sont pas contemporaines. Les échantillons de la première carotte ont permis l'établissement d'un modèle âge-profondeur (modèle linéaire interpolé).

Les diagrammes (pollen, palynomorphes et macrorestes) ont été construits à l'aide du logiciel Polpal 10.12 (Nalepka & Walanus, 2003). Le diagramme pollinique a été zoné sur la base d'une classification hiérarchique ascendante (CHA, distance de Chord) réalisée à l'aide du logiciel PAST 3.01 (Hammer et al., 2001).

Table 1. Datations radiocarbone de la séquence Can1

Carotte	Prof. (cm)	Code Labo	Age 14C (BP)	Intervalle 2δ	Age cal. BP
0-100 cm	39	Poz-96640	2620 ± 30	2780-2720	2750 ± 30
0-100 cm	79	Poz-96632	5360 ± 40	6280-6000	6140 ± 140
15-115 cm	115	Poz-94944	3210 ± 35	3550-3360	3455 ± 95

RESULTATS

1- Modèle âge-profondeur

Le modèle âge-profondeur est présenté Figure 1. Le modèle interpolé de manière linéaire implique un taux d'accumulation sédimentaire (TAS) constant entre dates, de 0.014 cm/an entre 0 et 39 cm, et de 0,011 cm/an en dessous de 39 cm (Fig. 1 ; Annexe 2), et un influx pollinique (IP) variable. Cette configuration est improbable : le TAS peut varier en fonction de divers paramètres (production, décomposition ; Muller, 2002) et l'IP, qui ne dépend que de la végétation productrice, est censé être constant pour une végétation donnée. L'hypothèse d'un TAS variable et d'un IP constant entre dates successives (Fig. 2) a été matérialisée jusqu'à 79 cm par une courbe âge-profondeur modifiée (Fig. 1). Le TAS ainsi reconstitué présente un maximum vers 6000 cal. BP et un fort ralentissement depuis 5000 ans. Son augmentation récente pourrait correspondre à l'absence de décomposition et de compaction de la tourbe de surface.

2- Diagramme pollinique

La CHA révèle trois zones polliniques (ZP ; Fig. 3) :

- ZP1 (96-56cm ; 7580-5243 cal. BP). La ZP1 couvre l'Atlantique. Elle correspond à une tourbe grumeleuse. La végétation régionale de l'Atlantique 1 est dominée par *Quercus* et *Corylus*, associés à *Tilia* et *Ulmus*. *Abies* apparaît vers 6140 cal. BP. A l'Atlantique 2, l'apparition de *Fagus* à 5720 cal. BP et l'augmentation de *Abies* s'observe. L'enregistrement de la végétation locale à l'Atlantique 1 montre une végétation dominée par les Poaceae, *Sphagnum* et les Cyperaceae. L'Atlantique 2 se caractérise par l'apparition d'*Alnus* à 5720 cal. BP, une baisse de *Sphagnum*, des Poaceae, des Cyperaceae, et une augmentation des spores monolètes et de *Polypodium*.

- ZP2 (56-38 cm ; 5243-2643 cal. BP). La ZP2 représente le Suboréal. La première moitié correspond à une passée argileuse, tandis que la seconde à une tourbe découpé brun-noir. La végétation régionale est toujours dominée par *Quercus* et *Corylus*, mais *Abies* et *Fagus* reste bien enregistrés. La végétation locale montre la présence de *Betula* et d'*Alnus*.

- ZP3 (56-0 cm ; 3450-0 cal. BP). La ZP3 correspond au Subatlantique. Elle correspond à une tourbe fibreuse avec des racines. La ZP3 est caractérisée par une légère diminution de *Quercus* et *Corylus* à partir de 1910 cal. BP. *Fagus* augmente tandis qu'*Abies* diminue légèrement au sommet. *Picea* apparaît dans le niveau de surface. *Tilia* et *Ulmus* disparaissent complètement.

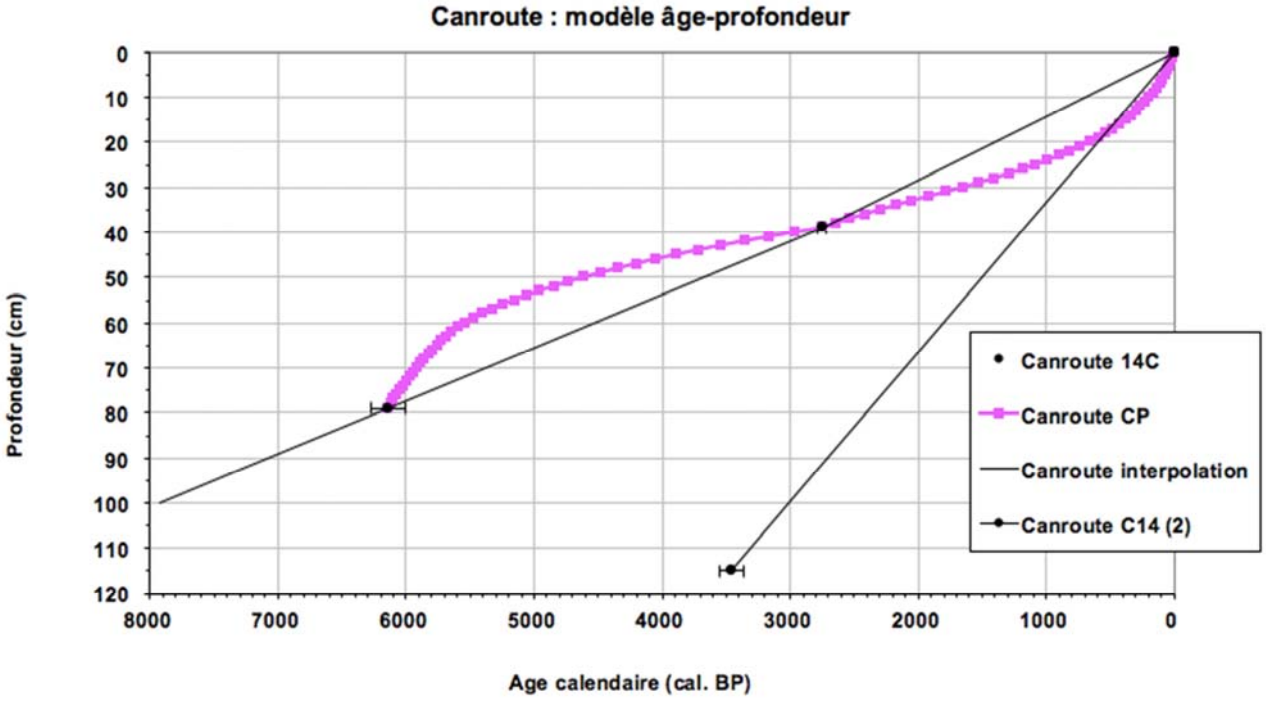


Figure 1. Modèles âge-profondeur. A gauche, modèle de la carotte 1 (0-100 cm), présenté selon une interpolation linéaire (droite noire) et un lissage basé sur un influx pollinique (IP) constant (courbe rose). A droite, modèle (linéaire) de la carotte 2 (15-115 cm).

3- Macrorestes et palynomorphes

Les macrorestes (Fig. 4) montrent une forte abondance de radicelles et de rhizomes dans tous les échantillons. *Cenococcum* est le seul champignon identifié. Il est à noter que seul l'échantillon estimé à 1910 cal. BP présente du charbon et du sable. L'analyse au microscope optique indique la présence de plusieurs morphotypes de champignons sur chaque lame et des algues entre 3450 et 420 cal. BP. L'abondance des radicelles, des rhizomes et des morphotypes de champignons apparaît inversement proportionnelle à celle des algues.

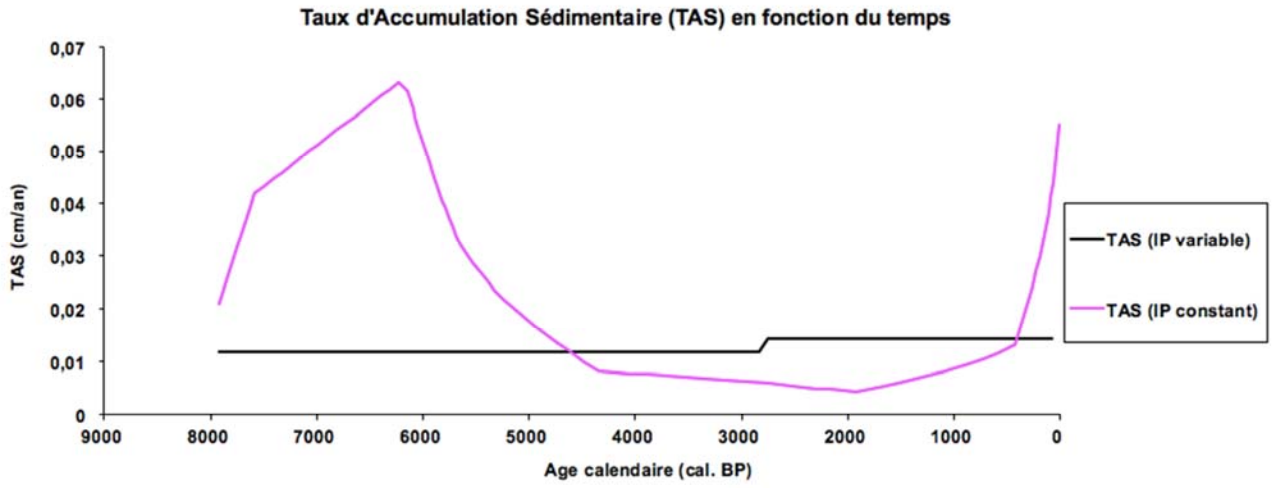


Figure 2. Taux d'accumulation sédimentaire (TAS) selon la profondeur pour un IP variable (TAS constant) et un IP constant (TAS variable). [Age avec un IP constant]

DISCUSSION

1- Chronologie, influx pollinique (IP) et taux d'accumulation sédimentaire (TAS)

Chronologie

Les deux carottes ont été prélevées à moins de 30 cm de l'une de l'autre. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer les dates basales différentes : (1) Une rivière a pu éroder le substrat au niveau de la deuxième carotte. L'accumulation sédimentaire n'aurait repris qu'après la fin de cette activité ; (2) Une excavation a pu être réalisée dans la tourbière par les populations de l'Age du Bronze moyen, comme l'indique la date basale de la carotte 2 (3450 cal. BP) ; (3) Enfin, le réseau racinaire d'un arbuste ou d'un arbre aurait été déraciné, causant un brassage des sédiments au niveau de la deuxième carotte.

Les 15 derniers centimètres sous la première carotte n'ont pas été prélevés. Ils seraient probablement remontés à l'Atlantique ancien ou même au Boréal, comme d'autres tourbières de la région (de Beaulieu, 1974).

Taux d'accumulation sédimentaire

Le taux d'accumulation sédimentaire (TAS) est influencé par des micro-variations écosystémiques (Muller, 2002), et en particulier par deux processus : la décomposition et la compaction. Les plus basses valeurs du TAS enregistrées correspondent à la période où des algues sont observables et les champignons et les radicelles des herbacées moins abondants (3450-420 cal. BP ; Figs. 3 et 4). Les palynomorphes indiquent un changement de milieu vers 3500 cal. BP, le site de carottage devenant plus humide (Trappe, 1962 ; Ponge et al., 1986). Cette date correspond à la date basale de la carotte 2, ce qui suggère un événement commun ayant entraîné d'une part la reprise de l'accumulation sur la zone érodée et d'autre part une augmentation de l'humidité locale.

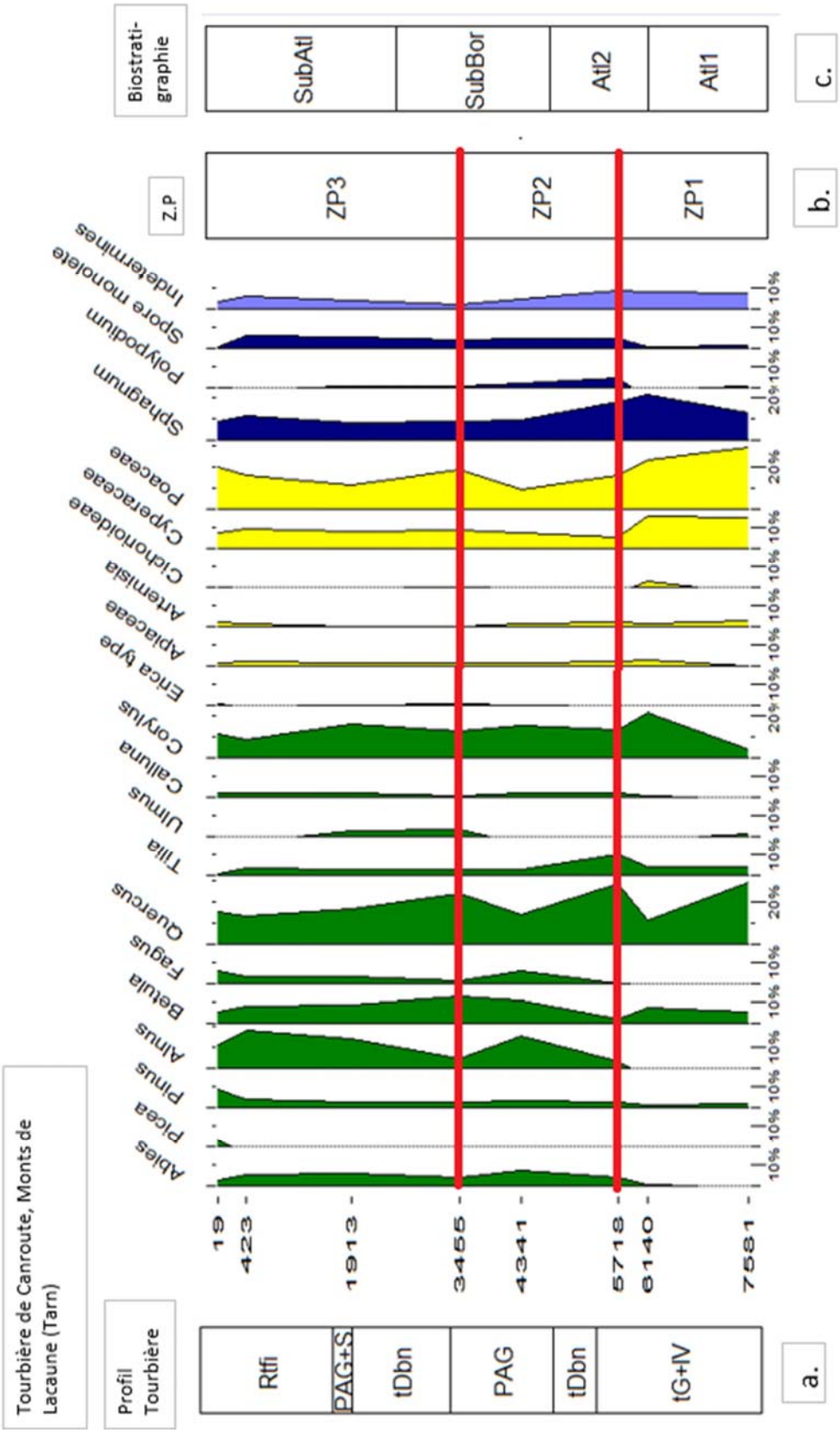


Figure 3. Diagramme pollinique de la tourbière de Canroute : en vert, taxa arborés ; en jaune, taxa herbacés ; en bleu foncé, spores (hors-total) ; en bleu clair, pollens indéterminés. Le profil de la tourbière comprend les catégories suivantes : Rtfi, racines et tourbe fibreuse ; PAG, passée argileuse ; S, sables et graviers ; tDbn, tourbe brun-noir très décomposée ; tG, tourbe grumeleuse ; IV, inclusion végétale. Z.P, zone pollinique. Chronologie : Atl1, Atlantique 1 ; Atl2, Atlantique 2 ; SubBor, Subboréal ; SubAtl, Subatlantique.

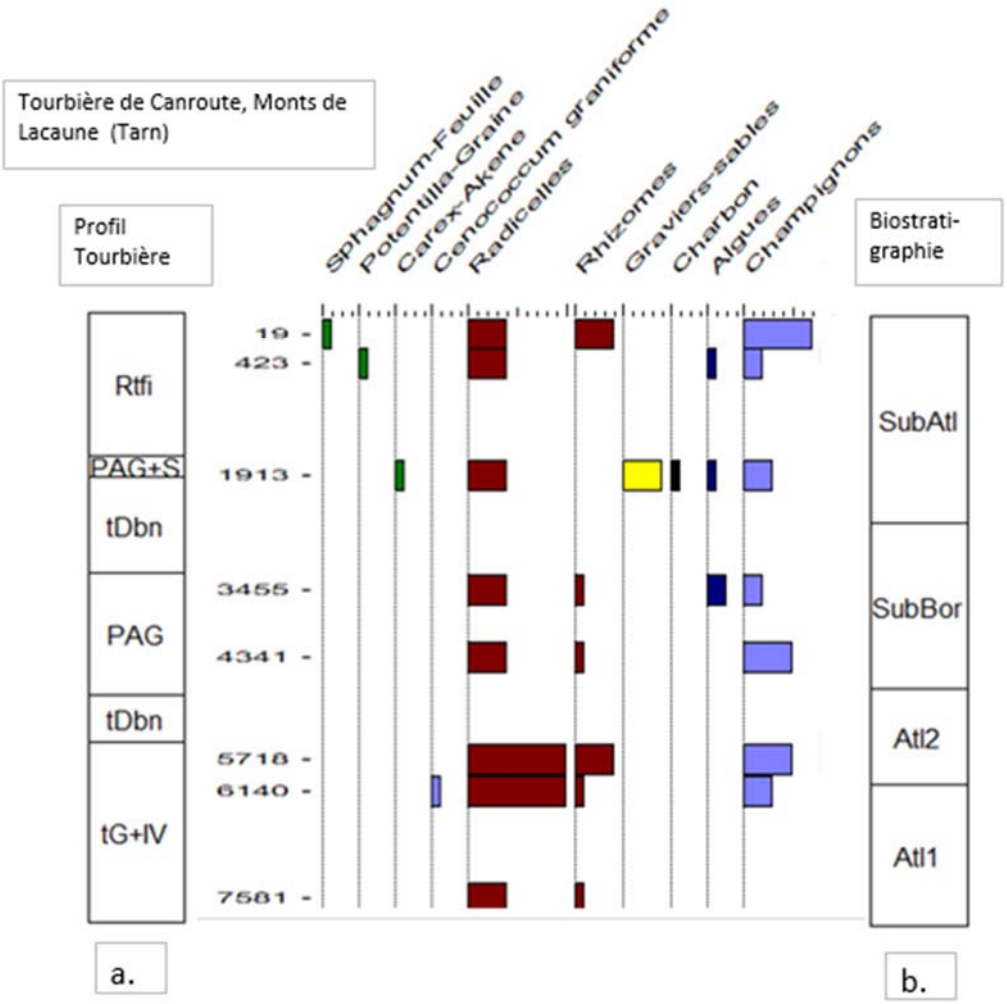


Figure 4. Histogramme des palynomorphes et des macrorestes : en vert, taxa herbacés ; en bleu clair, richesse morphologique de champignon ; en bordeau, racines ; en jaune, sables et graviers ; en noir, charbon ; en bleu foncé, algues ; en rouge, invertébrés. La signification des codes du profil de la tourbière (a) et de la chronologie (b) sont donnés Figure 3.

2- Dynamique de la végétation régionale

La prédominance de *Quercus* et de *Corylus*, associés à *Tilia* et *Ulmus*, traduit un paysage régional dominé par la chênaie caducifoliée depuis au moins 7500 ans. *Corylus* est moins abondant que *Quercus*, ce qui correspond bien à ce qui est connu dans la région (de Beaulieu, 1969, 1974), où le noisetier ne joue un rôle prédominant que durant le Boréal et le début de l'Atlantique, avant de s'effacer progressivement. Le pic de *Tilia* concomitant à l'apparition de *Fagus* est observé dans les études régionales (de Beaulieu et al., 1974). Il est interprété comme un accroissement de l'humidité atmosphérique (de Beaulieu, 1974). De plus, l'entrée dans l'Atlantique 2 est marquée par l'augmentation de *Polypodium*, ce qui pourrait suggérer une augmentation de l'humidité du sous-bois forestier (Fliche, 1912).

Les premiers pollens de *Fagus* dans la région sont enregistrés entre 5000 et 4000 cal. BP (de Beaulieu, 1981). Or ici, les premiers pollens apparaissent plus tôt, vers 5700 cal. BP (Fig. 3). Cet âge est donné par le modèle corrigé à IP constant, alors que le modèle linéaire à IP variable donne 4900 cal. BP (Fig. 1), ce qui est plus cohérent avec la littérature. La première observation d'*Abies* vers 6140 cal. BP n'est également pas en accord avec la littérature, qui l'enregistre

au même moment que l'apparition de *Fagus* (Beaulieu & Evin, 1972). Cependant, le travail récent de Plancher (2017) montre que le Massif Central est marqué par une immigration complexe d'*Abies* et de *Fagus*, ce qui exclut, pour le moment, toute possibilité d'explication chronologique.

A la fin de l'Atlantique 2, la présence d'*Abies* et de *Fagus* indique la présence d'une hêtraie-sapinière en mélange avec la chênaie caducifoliée. La faible proportion d'*Abies* enregistrée reste cohérente puisqu'il disperse peu son pollen (de Beaulieu, 1977 ; Reille, 2013). *Fagus* est difficilement détectable, ce qui est étonnant. En effet, c'est un bon producteur pollinique bien qu'il disperse faiblement (de Beaulieu, 1977 ; Triat-Laval, 1979). Il est envisageable que la tourbière ait été entourée d'une chênaie mixte qui aurait filtré l'apport pollinique de la hêtraie-sapinière (de Beaulieu, 1981). La formation de l'étage montagnard représenté par la hêtraie-sapinière semble précoce par rapport à la littérature, qui enregistre le développement de l'étage montagnard au Subboréal (de Beaulieu & Evin, 1972 ; de Beaulieu, 1974). Là encore, il peut s'agir d'une différence liée au modèle âge-profondeur. A Canroute, la hêtraie-sapinière semble s'installer au milieu de l'Atlantique 2 (5400 cal. BP). En transposant cette profondeur sur le modèle de l'IP variable, on obtient la date de 4440 cal. BP, beaucoup plus cohérente avec la littérature.

Le pic de *Fagus* à 4300 cal. BP peut suggérer un impact anthropique précoce sur le massif Central (de Beaulieu, 1988 ; Muller, 2005). Les déboisements sont en effet connus pour favoriser *Fagus*, capable de rejeter de souche, aux dépens d'*Abies*, qui en est incapable (Muller, 2013). Un tel impact anthropique qui aurait favorisé *Fagus* n'a toutefois pas été explicitement décrit dans les Cévennes. Les changements observés dans la partie supérieure de la séquence étudiée peuvent être liés aux activités humaines. La légère baisse de la chênaie mixte, d'*Abies* et l'augmentation de *Fagus* suggèrent des déforestations. L'apparition des *Picea* et l'augmentation de *Pinus* traduisent l'exploitation forestière. Enfin, la légère augmentation des Poaceae pourrait indiquer une ouverture du paysage, bien que l'enregistrement de ce taxon provienne plus probablement de la tourbière elle-même, où se développe actuellement *Molinia caerulea*. Ces observations sont en accord avec de Beaulieu (1981), qui identifie une forte perturbation anthropique durant le Subatlantique.

3- Dynamique de la végétation locale

La diminution des Poaceae au cours de l'Atlantique n'est pas évoquée dans la littérature. Le fait qu'elle soit concomitante à la diminution des Cyperaceae et de *Sphagnum* et à l'apparition d'*Alnus* plaide en faveur d'une fermeture de la tourbière. La comparaison des données fossiles avec les relevés de végétation révèle que trois principaux taxa ligneux se développent localement : *Alnus*, *Betula* et *Calluna*. *Alnus* et *Betula* sont de forts producteurs polliniques, ce qui peut biaiser la reconstitution de leur abondance dans la végétation (Andersen, 1973 ; Birks & Birks, 1980). Leur enregistrement pollinique peu important et peu variable depuis 5000 ans suggère que leur abondance passée est comparable à leur abondance actuelle, limitée à quelques individus se développant sur le pourtour de la tourbière. L'abondance locale de *Molinia caerulea* permet d'identifier une « tourbière haute dégradée » (code EUNIS Européen D1.121. ; Louvel et al., 2013).

4- Impact des activités humaines

La présence de sable et de charbon il y a 1900 ans pourrait traduire une déforestation par le feu et l'érosion dans le bassin versant (Brochier, 2002 ; Docquier & Terreaux de Félice, 2017). Cette date correspond à l'époque romaine, connue pour l'impact important des populations humaines sur la végétation naturelle. Les données palynologiques montrent à cette période le début de l'augmentation des Poaceae et un léger retrait de la chênaie mixte. Cependant, l'étude anthracologique effectuée sur cette tourbière n'a pas détecté d'événement de feu contemporain (Bourgeat & Monjaret, 2018).

Afin de confirmer la présence humaine à cette époque, plusieurs indicateurs d'anthropisation peuvent être utilisés (Muller, 2005) :

- Le châtaignier (*Castanea*), introduit à l'époque romaine ;
- Les Céréales, introduites au Néolithique et abondamment cultivées à l'époque romaine ;
- L'olivier (*Olea*), cultivé à l'époque romaine
- Le plantain (*Plantago*), indicateur de pâturage.

Castanea a été longuement cherché dans les lames polliniques, sans succès. Son absence est étonnante au regard de la bibliographie (de Beaulieu & Evin, 1972). Nous n'avons pas fait la différence entre les céréales et les Poaceae sauvages.

CONCLUSION

Le travail réalisé révèle une tourbière aux caractéristiques cohérentes avec les autres tourbières de la région. Les différences observées avec ces dernières sont dues au modèle âge-profondeur et à la localisation du site (adret et basse altitude). L'étude met en évidence trois périodes :

- La première correspond à l'Atlantique 1, et est dominée par la chênaie caducifoliée.
- La deuxième, qui comprend l'Atlantique 2 et le Subboréal, est marquée par l'installation de la hêtraie-sapinière. Une activité humaine est plausible dès cette époque-là.
- La troisième correspond au Subatlantique et est particulièrement marquée par l'anthropisation.

Le problème lié à la contemporanéité des carottes n'a pas permis d'avoir des informations antérieures à l'Atlantique. De plus, avec seulement huit échantillons pour couvrir près de 7000 ans d'histoire, la résolution de la reconstitution du paysage est faible. Cette étude s'inscrit toutefois dans l'effort de reconstitution de l'histoire de la végétation régionale, notamment en amenant de nouveaux éléments concernant l'extension d'*Abies* et *Fagus* dans le Massif Central.

REFERENCES

Adnet S., Amiot R., Claude J., Clausen S., Decombeix A.L, Fernandez V., Métais G., Meyer-Berthaud B., Muller S.D., Senut B. & Tortosa T. (2013). *Principes de paléontologie*. Dunod, Paris, 329 p.

Andersen S.T. (1973). The differential pollen productivity of trees and its significance for the interpretation of pollen diagram from a forested region. *In :* H.J.B. Birks & R.G. West (éds.), *Quaternary Plant Ecology*. Blackwell Science Ltd, Oxford, pp.109-116.

Birks H.J.B & Birks H.H. (1980). *Quaternary Palaeoecology*. The Blackburn Press, London. 289 p.

Bourgeat E. & Monjaret O. (2018). Macro-charbons : étude des paléo-feux et influence anthropique dans la tourbière de Canroute (Tarn). *Orpalm synthesis*, 11 (1).

Brochier J.E. (2002). Les sédiments anthropiques. Méthodes d'étude et perspectives. *In*: J.-C.Miskovsky (éd.), *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*. Géopré Editions, Paris, pp. 453-477.

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

de Beaulieu J.-L. & Evin J. (1972). Analyse pollinique et datage au ^{14}C dans les monts de Lacaune (Tarn). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 274 : 3531-3534.

de Beaulieu J.-L. (1974). Evolution de la végétation sur la bordure montagneuse cévenole au Postglaciaire d'après les pollens. *Bulletin de la Société languedocienne de Géographie*, 8 (3-4) : 347-358.

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

de Beaulieu J.-L. (1981). Analyse de tourbières, sur la marge occidentale et septentrionale des causses. *Paléobiologie continentale*, 1 : 117-130.

de Beaulieu J.-L., Pons A. & Reille M. (1988). Histoire de la végétation, du climat et de l'action de l'homme dans le Massif

Central français depuis 15 000 ans. *In :* Actes du 10ème symposium de l'Association des palynologues de langue française (1987), 25 : 27-32.

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 : 49-61.

Fliche M.P. (1912). Note sur l'Epiphytisme *Polypodium vulgare* L. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 49 (1) : 53-64.

Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 1-9.

IFN. (1991). *Département du Tarn : résultats du 3e inventaire forestier.* Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Direction de l'Espace rural et de la Forêt, Paris, 180 p.

Berglund, B.E., Ralska-Jasiewiczowa, M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. *In*: Berglund, B.E. (éd.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Chichester, pp. 444-455.

Louvel J., Gaudillat V. & Poncet L., 2013. *EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce.* MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289 p.

Muller S. D. (2002). Influence de la végétation sur l'accumulation de la tourbe au Québec méridional. *Comptes Rendus Biologies*, 325 : 629-640.

Muller S.D. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance Voyageuse*, 71 : 63-69.

Muller S.D., Nakagawa T., de Beaulieu J.L., Court-Picon M., Carcaillet C., Miramont C., Roiron P., Boutterin C., Adam A.A. & Bruneton H. (2007). Post-glacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the south-western Alps. *Journal of Biogeography*, 34 : 876-899.

Muller S.D. (2013). Exemple de reconstitution paléoenvironnementale pluridisciplinaire : la mise en place des étages de végétation dans les Alpes françaises du Sud au cours de l'Holocène. *In :* Adnet S., Amiot R., Claude J., Clausen S., Decombeix A.L, Fernandez V., Métais G., Meyer-Berthaud B., Muller S.D., Senut B. & Tortosa T., *Principes de paléontologie*. Dunod, Paris, pp. 230-249.

Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.

Piedallu C., Perez V., Gégout J-C., Lebourgeois F & Bertrand R. (2009). Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, 6 : 567-593.

Plancher C. (2017). *Végétations holocènes reflétées par le registre pollinique de la tourbière de Lapsou (Massif Central, France) : histoires paléobotaniques du site et de la région d'étude*. Mémoire de Master 1, Université de Montpellier, Montpellier, 26 p.

Ponge J.F., Vannier G., Arpin P. & David J.F. (1986). Caractérisation des humus et des litières par la faune du sol : intérêt sylvicole. *Revue Forestière Française*, 6 : 509-516.

Reille M. (1988). Analyse de la tourbière des Nassettes (Mont Lozère, Massif-central, France) ; réponses à quelques questions biogéographiques. *Revue du Gévaudan*, 2 : 3-7.

Reille M. (2013). *Leçons de Palynologie et d'analyse pollinique*. Editions du CNRS (2e éd.), Paris, 164 p.

Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M. & van der Plicht J. (2013). IntCal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55: 1869-1887.

Svenning J-C, Normand S., Sandel B., Eiserhardt W.L. & Ordonez A. (2015) The Influence of Paleoclimate on Present-Day Patterns in Biodiversity and Ecosystems.

Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 45 : 551-72

Thomas J. (2014). *730010060, Sagnes de Lassouts ou Canroute*. INPN, SPN-MNHN, Paris, 10 p.

Trappe J.M. (1962). Cenococcum graniforme: its distribution, ecology, mycorrhiza and inherent variation. PhD thesis, University of Washington, 148 p.

Triat-Laval H. (1979). Contribution pollenanalytique à l'histoire tardi- et postglaciaire de la végétation de la basse vallée du Rhône. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, 343 p.