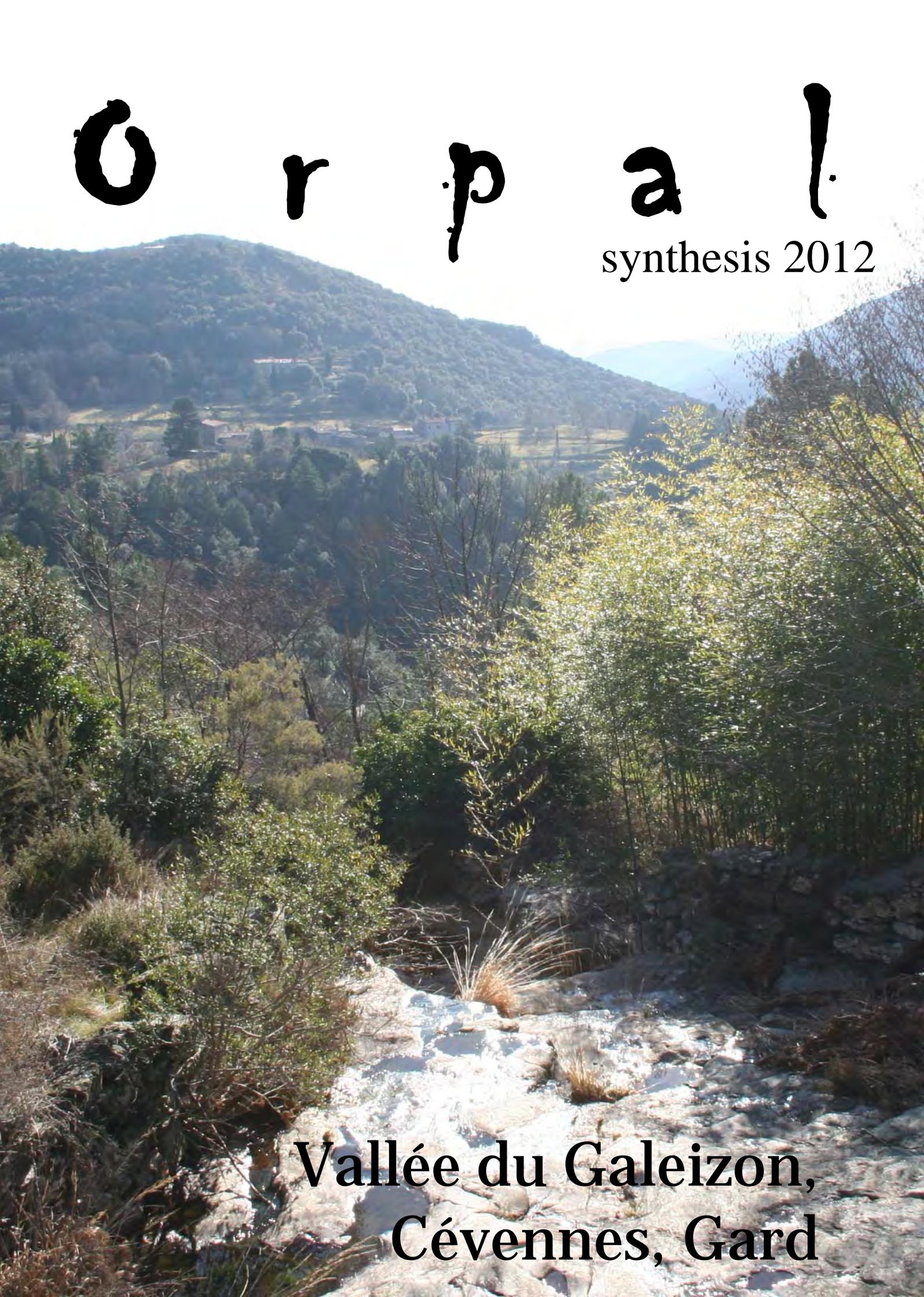


Orpail

synthesis 2012



Vallée du Galeizon,
Cévennes, Gard

ORPAL - synthesis

Revue annuelle
de Paléoécologie
n°5 - Année 2012

Editeur en chef
Jean-Frédéric TERRAL^{1,3}

Editeurs associés
Adam ALI^{1,3}
Giovanna BATTIPAGLIA^{1,4}
Laurent BRÉMOND^{1,4}
Benoît BROSSIER^{1,5}
Thomas FOURNIER¹
Vincent GIRARD^{1,3}
Serge MULLER^{2,3}
France ORIS¹

¹CBAE, ²ISEM,
³UM2, ⁴EPHE, ⁵CNRS

Auteurs
Marine BASSOUL, Jérôme
BOURRET, Mathilde BOYVAL,
Quentin CARBOUE, Delphine
CORNELLA, Aude COURGEON,
Sofia DJEMAA, Cyril MAFFRE,
Estelle MINANA, Amélie
MISTRAL, Alice MURILLO,
Marion PECOT, Marjorie
PEYRIC, Anne-Hélène PIERRE,
Pauline ROCARPIN, Jérémy
SENGLAT, Andréa THEIL,
Thibaut VALLA, Charlotte
VANDEN BERGHE

Maquette
Serge MULLER

Publication
1^{er} trimestre 2013
Université Montpellier-2

ORPAL : Prospections cévenoles, entre histoire et biodiversité

La vallée du Galeizon (Gard) a été le cadre de l'école de terrain et des investigations de la cuvée 2012, menées tambour battant du 26 au 28 janvier 2012, grâce au soutien du Syndicat Mixte de la vallée du Galeizon, du Parc National des Cévennes, de professionnels et de passionnés de l'environnement de la région. Depuis les dernières habitations du village de Cendras, le long des berges du Galeizon qui hébergent une flore rare, en particulier des mousses et des fougères qualifiées de patrimoniales, de part et d'autre de la faille de Soustelle qui témoigne d'une histoire géologique tourmentée jusqu'aux hauteurs du signal de la Lichère, contemplant nombre de vestiges préhistoriques et du col d'Uglas abritant des peuplements de l'endémique pin de Salzmann, étudiants, enseignants-chercheurs et référents locaux se sont nourris de problématiques scientifiques et des paysages cévenols structurés par l'emblématique châtaignier et que le pin maritime vient inexorablement conquérir.

Les travaux dont la perfectibilité est intrinsèque à toute construction d'ordre scientifique, s'efface devant le bilan de cette école de terrain. La conduite d'ORPAL a su intégrer les multiples facettes du processus de la recherche fondamentale sans en perdre de vue la dimension humaine et tout en apportant une réelle plus-value pédagogique.

Un grand merci à Stéphan Garnier (direction du Syndicat Mixte du Galeizon), Yannick Louche (maire de Cendras), Christian Anton (anthropologue, assistant de conservation du musée de Cendras), Emeric Sulmont (garde-moniteur du Parc National des Cévennes et éminent naturaliste), Jean-Louis Galéra (spéléologue), Florence Choquet (chargée de mission Agenda 21) et Emilie Bres (assistante de direction/technicienne Natura 2000) pour leur contribution dans la réalisation de l'école de terrain.

Jean-Frédéric Terral



Les galopins (de Salzmann) et les enseignants-chercheurs de la cuvée ORPAL 2012

ORPAL : module d'enseignement-recherche avec des vrais morceaux d'humain dedans

ORPAL en bref

ORPAL est une unité d'enseignement proposée en 3^{ème} année de Licence Géosciences Biologie Environnement (GBE), UFR Fac des Sciences, Département d'enseignement Biologie-Ecologie, Université Montpellier 2.

Contenu pédagogique

Sur la thématique de la reconstruction des environnements passés, cette unité d'enseignement (UE) est dévolue quasi-exclusivement 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.

Déroulement d'ORPAL

ORPAL 1/5 : Briefing méthodologique

La reconstruction des paléoenvironnements : pourquoi et comment ? Présentation de l'UE, son organisation, de ses objectifs pédagogiques, des outils, des méthodes.

ORPAL 2/5 : Stage de terrain

Dans une zone bien circonscrite d'un point de vue géographique et écologique, quelques exemples de différentes approches utilisées : carottage sédimentaire pour les milieux lacustres ou palustres (pollen, rhizopodes, macrofossiles, microcharbons) ; carottage dendrologique (étude de la croissance et de la démographie des peuplements d'arbres). Le volume de «terrain» total est de 24 heures, réparties sur trois jours consécutifs.

Apport pour les étudiants

Cette unité d'enseignement est réellement originale et novatrice. Elle répond du mieux possible aux revendications des étudiants : découvrir le monde secret de la recherche, se former par la recherche à travers un stage conventionné par 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.

Constitution de l'équipe

Les étudiants, répartis en 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.

ORPAL 3/5 : Stage en laboratoire

Sous la responsabilité d'un encadrant, temps d'analyse des données, de traitement statistique, de réflexion et d'analyse bibliographique. Une journée par semaine.

ORPAL 4/5 : Rédaction

Rédaction d'un mémoire synthétique relatif au sujet développé sous la forme d'un article scientifique. Présentation orale et intégration des corrections faites par un rapporteur.

ORPAL 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 sur la forme).

NOTE : Les articles présentés dans cette revue, bien que corrigés par l'équipe pédagogique du module, sont des travaux réalisés par des étudiants de 3^e année. Ces exercices d'initiation à la rédaction scientifique ne peuvent pas être considérés et cités comme de véritables articles.

ORPAL : n.m. 1. Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements ». Unité d'enseignement de l'Université de Montpellier-2, lancée en 2006-2007 ;

2. Revue annuelle de Paléoécologie du même nom.

ORPAL 2012

Vallée du Galeizon

Cévennes, Gard

Reconstitution partielle des paléoenvironnements de la vallée cévenole du Galeizon au travers de relevés botaniques et géologiques	7
Analyse dendrochronologique comparée de trois espèces de pin de la station du col d'Uglas (Cévennes, Gard)	19
L'intérêt conservatoire des zones humides à travers l'étude de la flore cryptogamique de la vallée du Galeizon (Cendras, Gard).....	29
Caractérisation de la végétation pré-incendie par la pédoanthracologie	41
Assemblages des thécamoebiens des zones humides de la vallée du Galeizon.....	49
Etude anthracologique d'un Sondage de la Couverture sédimentaire du Tumulus du Signal de la Lichère (Haute Vallée du Galeizon, Lozère, France) : Eléments de Comparaison entre Paysage actuel et Végétation passée	63

1 manuscrit non retenu pour la publication



Cistus populifolius (Cistaceae), espèce rare des landes supra-méditerranéennes de Méditerranée occidentale

RECONSTITUTION PARTIELLE DES PALEOENVIRONNEMENTS DE LA VALLEE CEVENOLE DU GALEIZON AU TRAVERS DE RELEVES BOTANIKUES ET GEOLOGIQUES

Mathilde Boyaval¹, Alice Murillo², Jérémy Senglat³, Charlotte Vanden Berghe⁴

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France

¹ mathilde.boyaval@etud.univ-montp2.fr, ² alice.murillo@etud.univ-montp2.fr,

³ jeremy.senglat@etud.univ-montp2.fr, ⁴ charlotte.vanden-berghe@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Vincent Girard

Résumé : Dans le but de reconstituer les paléoenvironnements depuis le paléozoïque et de comprendre la répartition actuelle de la végétation de la vallée du Galeizon, des relevés botaniques et géologiques ont été effectués sur le terrain en différents points de la vallée. L'analyse au laboratoire des échantillons prélevés a permis de retracer les grands événements géologiques et de justifier les principaux types de sols (calcaire et micaschiste). Cette reconstitution partielle de l'histoire de la vallée améliore notre compréhension du paysage actuel.

Mots clés : micaschiste, calcaire, fossiles, Carbonifère, Jurassique

Abstract : In order to reconstruct the palaeoenvironments since the Paleozoic era, and to understand the modern distribution of the vegetation of the Galeizon valley, botanic and geologic surveys have been realized at different sites of the valley. The laboratory analysis of the samples allowed to reconstruct the major geologic events and to justify the main soil types (limestone and micaschist). Such a partial reconstruction of the valley history improve our understanding of the present-day landscape.

Keywords : micaschist, limestone, fossils, Carboniferous, Jurassic

Le Parc National des Cévennes est reconnu pour la richesse de sa biodiversité. Sa faune compte plus de 2400 espèces, à la fois représentatives d'un milieu méditerranéen, continental et montagnard. Cette diversité résulte d'une volonté humaine de préservation des écosystèmes, de conservation de certaines espèces menacées, mais également d'un repeuplement spontané de la région. C'est le cas par exemple du loup (*Canis lupus*), naturellement de retour depuis la fin des années 1990. On dénombre également environ 2300 espèces végétales vasculaires dont 24 endémiques, comme le ciste à feuilles de peuplier (*Cistus populifolius*) ou la gentiane de Coste (*Gentiana clusii* subsp.

costei). On retrouve également une grande diversité au niveau de la flore non-vasculaire (algues, champignons, mousses et lichens). Cependant, la richesse végétale n'a pas encore été totalement évaluée et de nombreuses espèces restent à identifier dans la région.

Les Cévennes, déclarées 'patrimoine mondial de l'Unesco' en 2011, n'ont pas toujours bénéficié de statuts de protection comme aujourd'hui. Elles ont notamment été marquées par une activité minière importante. L'exploitation principale a été celle du charbon, mais on trouve aussi d'autres mines, comme celles de cuivre. L'activité houillère a débuté au 13^{ème} siècle, de manière artisanale. C'est seulement à partir du 19^{ème} siècle, avec la révolution industrielle, que se sont

implantées les principales exploitations minières. La dernière mine de charbon a fermé en 1985. D'un poids économique certain pour la région, l'activité minière a profondément modifié les écosystèmes des Cévennes. La présence de mines a transformé le paysage et le relief, ce qui a entraîné des changements de la faune et de la flore. Par exemple, afin de répondre à une demande constante de bois, de nombreuses plantations de pin maritime (*Pinus pinaster*) ont été réalisées. Aujourd'hui, cette espèce est considérée comme une espèce « invasive », qui se développe au détriment d'une partie de la flore locale, dominée par le châtaignier (*Castanea sativa*).

La vallée du Galeizon (Fig. 1) est située dans la zone des Basses Cévennes, au nord-ouest d'Alès. A l'instar du reste des Cévennes, cette vallée présente une biodiversité remarquable liée à la fois à une longue évolution de plusieurs centaines de millions d'années et à une volonté humaine de sauvegarde et de

valorisation de cet environnement particulier. Sur la base de relevés à la fois géologiques et botaniques, nous avons tenté ici de mettre en relation les liens entre roches et types de végétation. L'ensemble des données récoltées a permis de reconstituer l'histoire géologique de la vallée du Galeizon, afin de d'apporter un éclairage historique pour comprendre sa biodiversité actuelle.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

Le travail présenté a été réalisé dans la vallée du Galeizon (Fig. 1), qui s'étend au nord-ouest d'Alès (Gard, France) sur près de 8 800 hectares. Elle est délimitée au nord par la vallée Longue et au sud par la vallée Française. A cheval sur deux départements (Gard et Lozère), la vallée du Galeizon est une zone de basse à moyenne montagne avec des altitudes variant entre 141 m et 924 m.

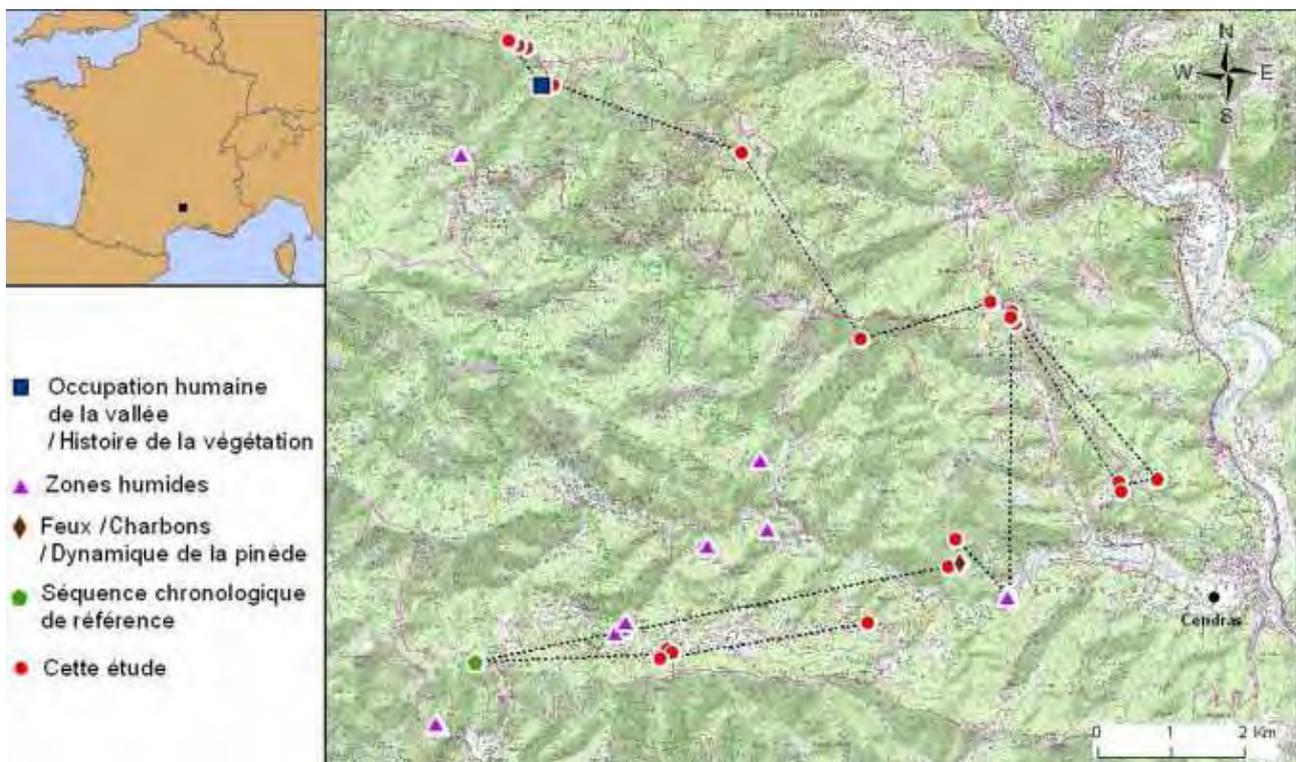


Figure 1 : Localisation géographique de la vallée cévenole du Galeizon et des prospections réalisées. La ligne en pointillés indique le chemin suivi.

2- Travail de terrain et de laboratoire

Les données utilisées dans cette étude ont été récoltées lors de la sortie de terrain effectuée du 26 au 28 janvier 2012. Une vingtaine d'arrêts ont été effectués afin de quadriller au mieux le territoire de la vallée (Fig. 1). A chaque arrêt, les coordonnées de localisation et l'altitude ont été acquises grâce à un GPS Trimble Juno SB. En parallèle, des relevés de végétation, de roches et d'éventuels fossiles

ont été effectués. Le GPS a été utilisé à la manière d'un carnet de terrain électronique. Ceci a permis le rapatriement automatique de l'ensemble des données géographiques (localisation) et attributaires (relevés botaniques et géologiques) afin de limiter le temps de post-traitement. Les données GPS ont été importées dans le logiciel de cartographie *ArcMap10* (ESRI France) afin de réaliser la synthèse des données récoltées au travers de cartes (Figs. 2 et 3).

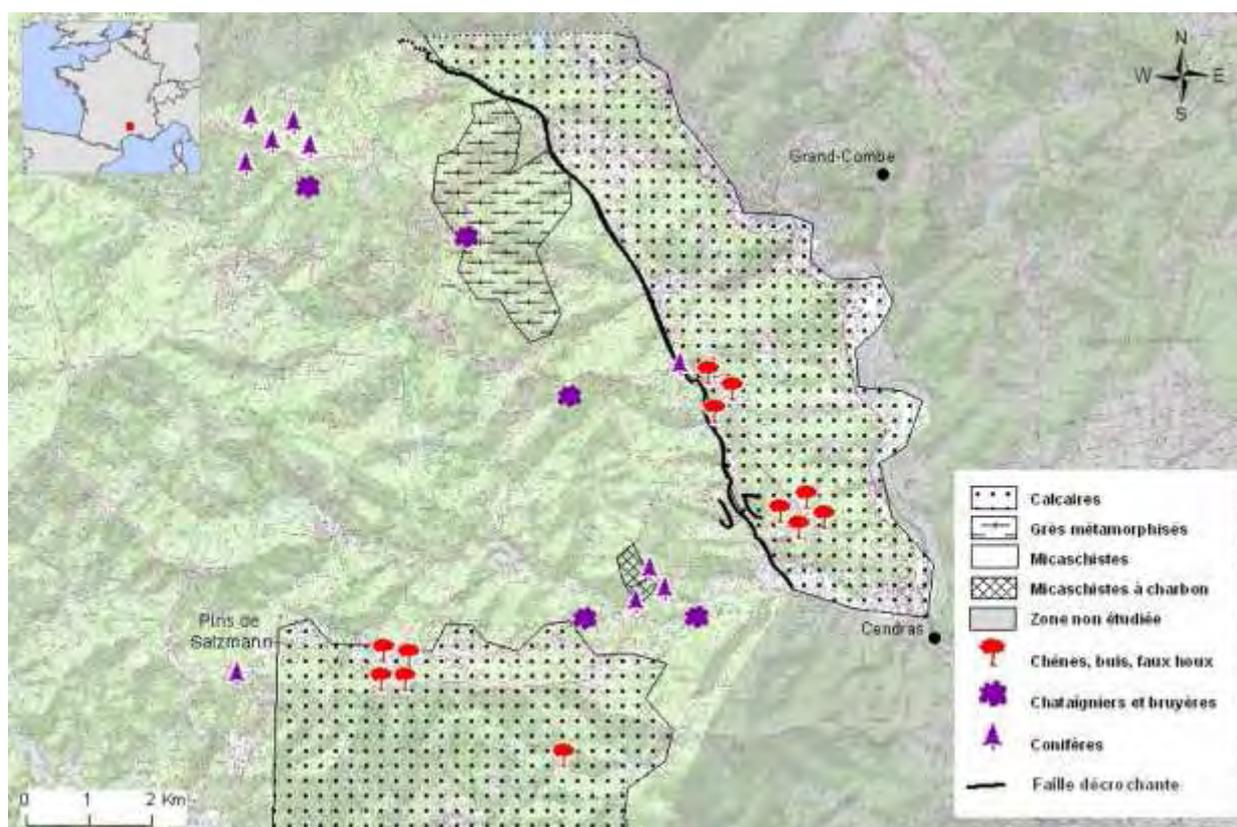


Figure 2 : Relation entre végétation et nature des terrains géologiques de la vallée cévenole du Galeizon

Les relevés géologiques et botaniques ont permis la réalisation d'un herbier (identification des végétaux collectés et séchage par mise sous presse) et d'une collection de roches et fossiles (nettoyage, identification, extraction/dégagement) au Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (Montpellier). Une partie de la collection de fossiles a été fournie par Christian Anton (Ecomusée de la vallée du Galeizon, Cendras). Les identifications des végétaux ont été réalisées à l'aide de [Jestin \(1998\)](#) et [Bayer](#)

[et al. \(2009\)](#), et celles des fossiles à l'aide de [Galtier \(1972\)](#), [Walker & Ward \(1994\)](#), [Magnan & Chaumeton \(1999\)](#), [Riou \(1999\)](#), [Fisher \(2000\)](#), [Loyer & Roussel \(2004\)](#) et [Garassino & Stoppato \(2006\)](#).

RESULTATS

Les relevés botaniques et géologiques sont présentés Table 1. Il s'agit d'un résumé des 23 arrêts effectués sur le terrain (Figs. 1, 2 et 3) qui reprend les coordonnées GPS et l'altitude de chaque site, l'ensemble des végétaux

récoltés, le type de roche (présent) et les particularités éventuelles rencontrées.

Deux grands types de végétation ont été identifiés. Le premier et le plus répandu correspond à une végétation dominée par des conifères (notamment le pin maritime) et, dans une moindre mesure, le châtaignier.

Cette végétation se développe dans la partie nord-ouest de la vallée. Le second type est dominé par des angiospermes, principalement les chênes (*Quercus pubescens* et *Q. ilex*) et le buis (*Buxus sempervirens*). Cette végétation se développe essentiellement dans les parties est et sud de la vallée.

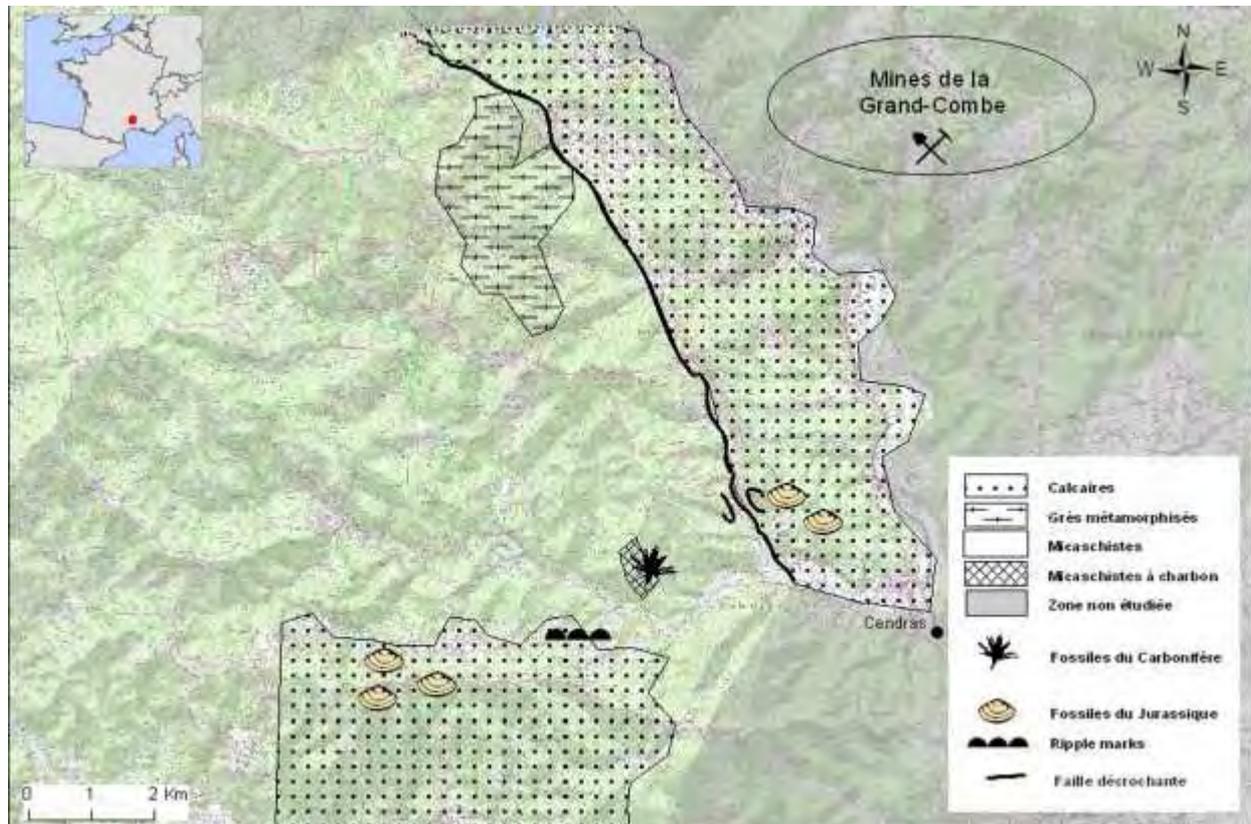


Figure 3 : Cadre géologique de la vallée cévenole de Galeizon

Le sous-sol de la vallée est majoritairement constitué de micaschistes (roches métamorphiques présentes au nord-ouest de la vallée) au sein desquels se trouvent, en plus faibles quantités, d'autres roches métamorphiques telles que des grès métamorphisés. Le sous-sol des parties est et sud de la vallée est au contraire constitué de calcaire (roche sédimentaire biogène) contenant de nombreux fossiles de bivalves (*Gryphea*, *Pinna*), de céphalopodes (ammonites et bélemnites), de gastéropodes, de corail, d'échinodermes (crinoïdes et oursins) et de quelques figures sédimentaires comme des traces de bioturbations (terriers) ou des *ripple-marks*

(rides fossilisées). A noter que d'autres fossiles ont été trouvés dans un type de roche minoritaire de la vallée : des veines de charbons insérées dans les micaschistes. Des macrofossiles végétaux, parmi lesquels les genres *Annularia* (Equisetales), *Cordaites* (Gymnospermes), *Neuropteris* et *Sphenopteris* (Trachéophytes) ont été échantillonnés dans la partie sud-est de la zone d'affleurement des veines de charbon.

Les données botaniques et géologiques ont été illustrées sur deux cartes (Figs. 2 et 3) qui serviront de base à l'argumentation.

Table 1 : Récapitulatif des relevés botaniques et géologiques

Arrêt	Coordonnées	Végétation	Type de roche	Autres observations
1	44°13'12.10" N 03°55'59.07" E	Chêne vert, châtaignier, bruyère, genêt, callune, pin maritime, genévrier, chêne pubescent	Micaschiste avec insertions de quartzite	–
2	44°13'13.15" N 03°55'53.34" E	Châtaignier, bruyère, pin maritime, Filicophyte, genévrier, ronce, chêne pubescent	Micaschiste avec insertions de quartzite	–
3	44°13'15.05" N 03°55'48.41" E	Genêt, Filicophyte, genévrier, chêne pubescent	Micaschiste	–
4	44°11'16.80" N 04°00'40.99" E	Chêne vert, genêt à balai, bruyère, pin maritime, ronce, Crassulaceae	Micaschiste et conglomérat	–
5	44°12'54.99" N 03°56'07.80" E	Châtaignier, bouleau, pin maritime	Micaschiste avec insertions de quartzite	Tourmaline (Quartzite)
6	44°12'55.39" N 03°56'15.43" E	Châtaignier, genêt à balai, hellébore, genévrier, ronce des bois, lierre, lamier, Filicophyte	Micaschiste avec insertions de quartzite	–
7	44°12'24.39" N 03°58'10.00" E	Chêne vert, pin maritime, bruyère, thym, Filicophyte, arbousier, genévrier, plante grasse, euphorbe rigide	Micaschiste avec insertions de quartzite	–
8	44°11'01.25" N 03°59'21.46" E	Genêt à balai, bruyère, châtaignier, pin maritime, pin à crochets, lierre, ronce, lamier, Filicophyte, Bryophyte, houx, plante grasse	Micaschiste avec insertions de quartzite	Léger boudinage
9	44°11'16.80" N 04°00'40.99" E	Bruyère arborescente, bruyère commune, Bryophyte, euphorbe rigide, asperge, laurier tin, plante grasse, thym, arbousier	Micaschiste et conglomérat	–
10	44°11'12.49" N 04°00'53.63" E	Fragon, chêne vert, bruyère, châtaignier, lierre, Filicophyte, tamier, Bryophyte, chêne pubescent	Calcaire gréseux et filon de quartz	–
11	44°09'33.60" N 04°01'39.41" E	Fragon, chêne vert, hellébore, Filicophyte, genévrier, lierre	Calcaire	Bélemnites, crinoïdes, ammonites, pinnes, gryphées
12	44°09'54.48" N 04°01'57.01" E	Fragon, thym, hellébore, myrtille, genévrier, chêne	Calcaire et conglomérat	Bélemnites, crinoïdes, ammonites, pinnes, gryphées

Arrêt	Coordonnées	Végétation	Type de roche	Autres observations
13	44°09'56.38" N 04°01'57.68" E	Chêne vert, bruyère, euphorbe rigide, salsepareille, hellébore	Calcaire	–
14	44°09'53.01" N 04°02'00.88" E	Chêne vert, genévrier, salsepareille	Grès	–
15	44°11'07.56" N 04°00'56.47" E	Pin maritime, pin, bruyère, genévrier, laurier, ronce	Calcaire	–
16	44°11'09.91" N 04°00'53.69" E	Bruyère, pin maritime, laurier, Filicophyte	Calcaire karstifié	–
18	44°09'18.68" N 04°00'15.86" E	Bruyère, pin maritime, laurier, Filicophyte	Micaschiste, conglomérat, charbon	Traces de végétation
19	44°08'39.79" N 03°55'23.76" E	Chêne vert, pin maritime, châtaignier, bruyère, chêne pubescent, ronce	Micaschiste avec insertions de quartzite	–
20	44°08'42.66" N 03°57'18.08" E	Buis, chêne vert, genêt, Bryophyte, thym, genévrier, Crasulaceae	Calcaire	Lamellibranches (dont gryphées), gastéropodes, corail isolé, oursin, galeries/terriers
21	44°08'45.60" N 03°57'21.60"E	Buis, chêne vert, genêt à balai	Calcaire	Lamellibranches (dont gryphées), gastéropodes, corail isolé, oursin, galeries/terriers
22	44°08'40.60" N 03°57'16.24" E	Hellébore, euphorbe rigide, ronce, chêne pubescent	Calcaire	–
23	44°08'55.67" N 03°59'23.37" E	Buis	Alternance de grès et de marne	Rides

DISCUSSION

1- Répartition de la végétation

La répartition des différents types de végétation au sein de la vallée du Galeizon semble principalement contrôlée par le substrat sur lequel elles se développent (Fig. 2). En effet, on remarque que la végétation dominée par les conifères et les châtaigniers pousse essentiellement sur les micaschistes, tandis que la végétation dominée par les angiospermes se retrouve sur les calcaires. Les produits d'altération des roches déterminent la chimie du sol, sa texture, sa porosité ou encore sa perméabilité et influencent la végétation qui va s'y développer. Le pH de la roche, par exemple, affecte également la solubilité de nombreux composés phosphatés et azotés, ainsi que des oligo-éléments. Ceux-ci sont présents dans le sol et sont nécessaires au développement des plantes. Les micaschistes contiennent majoritairement de la silice (Si) et, par conséquent, les plantes calcifuges (comme le pin maritime ou le châtaignier) reflètent l'acidité de ces terrains. A l'inverse, les terrains calcaires contiennent du calcium (Ca), élément basique. Sur ce substrat, pousse une végétation calcicole (Egal & Nehlig, 2010).

La nature du terrain géologique a une influence majeure sur la répartition de la végétation. Les sites étudiés sur sol calcaire sont dominés par des angiospermes comme les chênes (*Quercus pubescens* et *Q. ilex*), le buis *Buxus sempervirens*) et le fragon épineux (*Ruscus aculeatus*). Ces espèces tolèrent des taux importants de calcium, et une forte sécheresse édaphique. En revanche, les zones siliceuses sont couvertes de conifères comme le pin maritime (*Pinus pinaster*), associé à des angiospermes comme les bruyères (*Erica* spp. et *Calluna vulgaris*) ou le bouleau (*Betula pendula*).

2- Histoire géologique de la vallée du Galeizon

Les relevés géologiques (Fig. 3, Tab. 1) per-

mettent de reconstruire l'histoire de la vallée du Galeizon sur plusieurs centaines de millions d'années. Les dépôts sédimentaires révèlent la morphologie de la région à différentes époques.

Les prospections sur les terrains sédimentaires houillers ont révélé une flore d'âge Carbonifère comprenant des restes d'*Annularia*, de Cordaites, de *Sphenopteris* et de *Neuropteris*. Ces végétaux vivaient sous un climat chaud et humide, à tendance tropicale et témoignent d'un environnement marécageux situé au pied d'une chaîne de montagne (Taylor et al., 2009). Cette dernière devait être la chaîne hercynienne, dont la formation remonte au Carbonifère (Bernard, 2009). La présence de cette chaîne dans la vallée du Galeizon est attestée par les roches métamorphiques (micaschistes et grès métamorphisés) qui représentent l'évolution métamorphique de roches sédimentaires marines (argiles pour le micaschiste et sables pour le grès métamorphisé). L'âge de la formation de ces roches sédimentaires n'est pas connu précisément, mais elles datent probablement du Paléozoïque inférieur (Bernard, 2009).

Les prospections sur les terrains calcaires ont révélé différents organismes fossiles datés du Jurassique : des crinoïdes, des céphalopodes, des lamellibranches (comme les Gryphées), des échinodermes et des cnidaires. Ces fossiles témoignent de l'existence d'une mer chaude peu profonde, ce que confirme la présence de rides de sable (*ripple-marks*). La présence de terriers indique que le fond marin était relativement meuble, ce qui est aussi attesté par des fossiles de *Pinna* (bivalve fouisseur).

L'histoire géologique présentée ci-dessous est reconstituée d'après nos observations, et étayée par la littérature (notamment Bousquet, 2006).

La vallée du Galeizon au Précambrien-Paléozoïque inférieur

Au Paléozoïque inférieur, des dépôts marins, essentiellement des boues calcaires et des sables, se sont déposés au niveau de la vallée du Galeizon, formant le fond d'une mer de profondeur inconnue. L'âge précis de cette

mer reste inconnu.

La vallée du Galeizon au Carbonifère

Au Carbonifère, la chaîne hercynienne est formée, ce qu'atteste la présence de micaschistes et de grès métamorphisés issus de la transformation des dépôts marins précédemment décrits. L'orogénèse de la chaîne a été accompagnée de volcanisme, comme l'indique la présence de filons de quartzite recoupant les schistes (Tab. 1). La tourmaline, en inclusion dans le quartzite, est un minéral commun des roches magmatiques, et est donc par conséquent la preuve de ce magmatisme régional. A cette période, les monts Aigoual et Lozère se sont formés, avec le creusement de bassins d'effondrement comme celui d'Alès. En effet, on retrouve des plissements dans les micaschistes qui attestent l'existence de mouvements de compression. A plusieurs reprises, la végétation arborescente au pied de la chaîne hercynienne a été détruite et rapidement enfouie. La fermentation des végétaux et leur tassement les ont transformés en houille, donnant les veines de charbons échantillonnées sur le terrain. Les bassins d'effondrement étaient alors constitués de marécages et de lacs sous un climat chaud et humide de type tropical permettant la formation de charbon et la fossilisation des végétaux trouvés.

La vallée du Galeizon au Mésozoïque

Au Permien, la chaîne hercynienne est érodée ce que prouvent les roches détritiques de type conglomérat que l'on retrouve à la base des séries sédimentaires de la vallée du Galeizon (Tab. 1). Cette érosion transforme le paysage de montagne en pénéplaine. Les roches métamorphiques et granitiques ont alors été mises à jour, ce qui a permis à la mer de recouvrir la région. Cette transgression du Trias est marquée à la fois par le conglomérat, mais aussi par des *ripple-marks* visibles aujourd'hui dans une alternance de grés et de marne au sud de la vallée du Galeizon.

Au Jurassique, une mer chaude et peu profonde était permanente sur la vallée. En témoignent les dépôts de marnes puis de calcaires atteignant par endroits 650 à 1500 m d'épaisseur (Michel, 2009). Ces couches

sédimentaires forment aujourd'hui le paysage des Causses. L'existence d'une telle épaisseur de dépôts dans une mer relativement peu profonde n'est possible que si les fonds marins s'enfonçaient progressivement avec le temps par subsidence.

Au Crétacé, l'émersion de l'Isthme Durancien (Séranne et al., 2002), suite à une phase de mouvements de compression due à l'orogénèse pyrénéo-provençale, a engendré le retrait de la mer. Cette régression marine est attestée par l'absence de dépôts marins postérieurs aux dépôts jurassiques dans la vallée du Galeizon.

La vallée du Galeizon au Cénozoïque

Le Cénozoïque reste la période la moins connue de l'histoire géologique de la vallée. Néanmoins, c'est à cette période que la faille de Villefort a joué un rôle important dans la mise en place des sous-sols observés aujourd'hui dans la partie est de la vallée. Cette faille a une direction nord-ouest / sud-est et s'étend sur une centaine de kilomètres (Figs. 2 et 3). Dans la vallée du Galeizon, elle recoupe les terrains calcaires du Jurassique (à l'est) et les terrains schisteux paléozoïques (à l'ouest). Elle est donc postérieure à ces dépôts. Il s'agit d'un décrochement sénestre qui a été actif durant différentes phases et daterait du Carbonifère inférieur (Moyen & Villaros, 2011). Elle a surtout été active au Cénozoïque où elle a remonté vers le nord (plusieurs dizaines de kilomètres) les terrains jurassiques de l'est de la vallée du Galeizon. Le jeu de la faille de Villefort est sans doute dû à la surrection des Pyrénées et des Alpes qui, à la même époque, est responsable de la seconde formation des monts Lozère et Aigoual et du soulèvement des Cévennes.

Au Pléistocène, les Cévennes sont marquées par différentes glaciations, comme semble en témoigner la topographie actuelle de la chaîne et de la vallée du Galeizon. Des glaciers (en périodes glaciaires) ont modelé les vallées en forme de "U" ou "en auge", caractéristiques du passage des langues glaciaires. L'érosion pléistocène a aussi décapé les terrains calcaires au-dessus des schistes pour n'en garder que des lambeaux témoins. Ils ont contribué à creuser les réseaux karstiques

(sans doute dès le Mésozoïque) visibles dans la partie est de la vallée (Tab. 1) Ces derniers épisodes d'érosion ont enfin attaqué les schistes et y ont façonné des centaines de vallons et crêtes.

CONCLUSION

Le paysage actuel de la Vallée du Galeizon résulte d'une histoire géologique longue de plusieurs centaines de millions d'années. Plusieurs épisodes de transgression/régression marine, et différents événements tectoniques ont modelé le sous-sol de la vallée et ont ainsi contrôlé la distribution des différentes roches observées dans cette étude (micaschistes au nord ouest, calcaires à l'est et au sud). Cette longue histoire impacte grandement le paysage actuel en contrôlant la distribution des végétations qui se développent actuellement dans la vallée : les chênaies se trouvent sur les calcaires, alors que les pinèdes et les châtaigneraies occupent les micaschistes.

La prise en compte de cette histoire géologique pourrait permettre d'améliorer la gestion environnementale de la vallée du Galeizon actuelle.

REFERENCES

- Bayer E., Buttler K.P., Finkenzeller X. & Grau J. (2009). *Guide de la flore méditerranéenne: caractéristique, habitat, distribution et particularités de 536 espèces*. Edition Delachaux et Niestlé, Paris, 288 p.
- Bernard C. (2009). *Fleurs et paysages des Causses*. Edition du Rouergue, Arles, 304 p.
- Bousquet J.C. (2006). *Géologie du Languedoc Roussillon*. Edition BRGM / Les éditions du Languedoc, Montpellier, 142 p.
- Egal E. & Nehlig P. (2010). Géobiodiversité : l'influence de la géologie sur la biodiversité. *Geosciences*, 11 : 10-19.
- Fisher J.-C. (2000). *Guide fossiles de France et des régions limitrophes, 3ème édition*. Edition Dunod, Paris, 488 p.
- Galtier J. (1970). Recherches sur les végétaux à structure conservée du carbonifère inférieur français. *Paléobiologie continentale*, 1 : 1-220.
- Garassino A. & Stoppato M. (2006). *180 fossiles du monde entier*. Edition Delachaux et Niestlé. Paris, 255 p.
- Jestin P. (1998). *La flore du parc national des Cévennes*. Ed. du Rouergue, Rodez, 300 p.
- Loyer B. & Roussel R. (2004). *100 fossiles faciles à voir*. Nathan, Paris, 157 p.
- Magnan D. & Chaumeton H. (1999). *Les fossiles*. Artémis, Paris, 341 p.
- Moyen J.F. & Villaros A. (2011). *Géologie de la chaîne hercynienne dans l'Est du Massif Central Français*. Université Jean-Monnet, Saint-Etienne, 92 p.
- Michel F. (2009). *Le tour de France d'un géologue*. Edition BRGM, Orléans, 384 p.
- Riou B. (1999). *Les fossiles, empreintes du vivant*. Delachaux et Niestlé, Paris, 272 p.
- Séranne M., Camus H., Lucazeau F., Barbarand J. & Quinif Y. (2002). Surrection et érosion polyphasées de la bordure cévenole, un exemple de morphogenèse lente. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 173 : 97-112.
- Taylor T.N., Taylor E.L. & Krings M. (2009). *Paleobotany - The biology and evolution of fossil plants, Second edition*. Academic Press, New York, 1230 p.
- Walker C. & Ward D. (1994). *Les fossiles*. Bordas, Paris, 320 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Corrélation entre la végétation et les grands types de sol dans la vallée du Galeizon, mai 2012



Annexe 1.1 : Affleurement de micaschistes



Annexe 1.2 : Végétation caractéristique des micaschistes

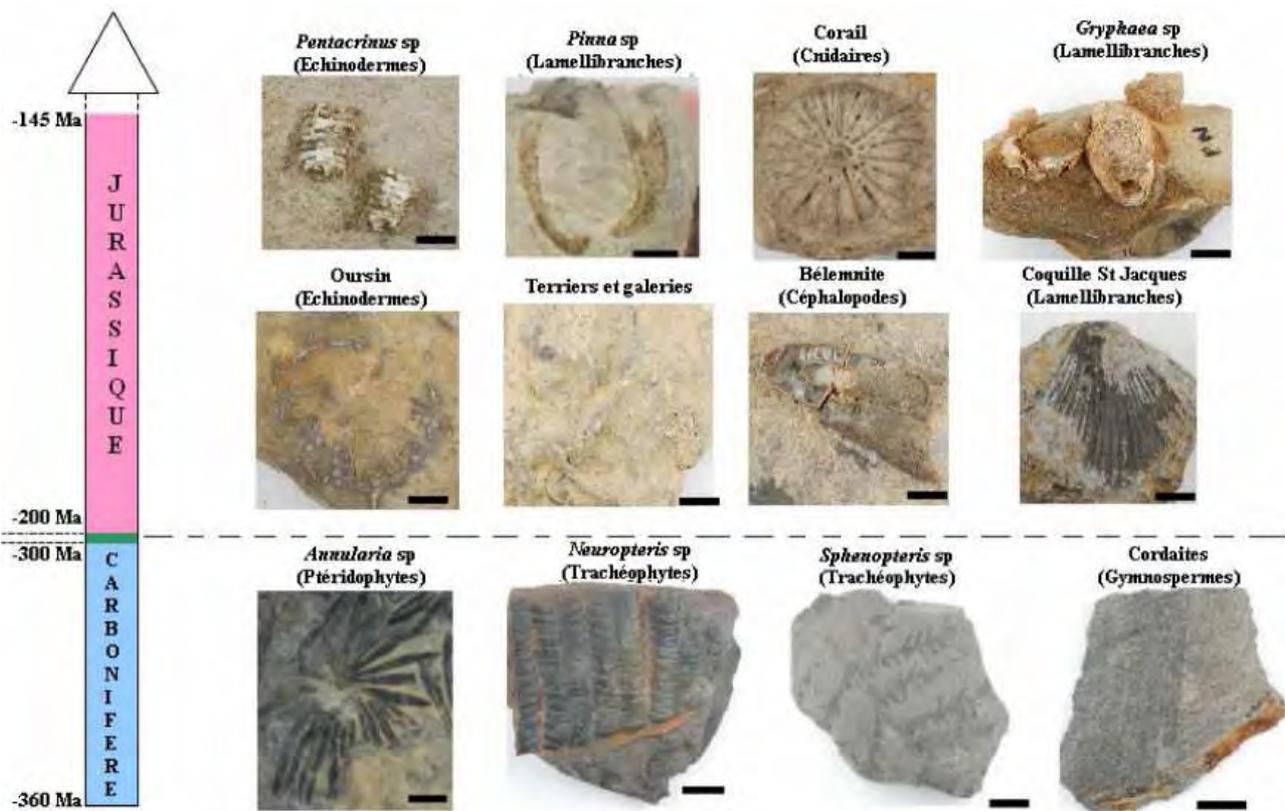


Annexe 1.3 : Affleurement de calcaires



Annexe 1.4 : Végétation caractéristique des calcaires

Annexe 2 : Fossiles collectés dans la vallée du Galeizon (Cévennes). Barre d'échelle = 2 cm



ANALYSE DENDROCHRONOLOGIQUE COMPAREE DE TROIS ESPECES DE PIN DE LA STATION DU COL D'UGLAS (CEVENNES, GARD)

Jérôme Bourret ¹, Quentin Carboue ², Cyril Maffre ³

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France

¹ jerome.bourret@etud.univ-montp2.fr, ² cyril.maffre@etud.univ-montp2.fr,

³ quentin.carboue@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Giovanna Battipaglia

Résumé : *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*, aujourd'hui en régression, constitue, avec *P. sylvestris*, une part non négligeable des boisements cévenols. Ils sont associés à *P. pinaster*, introduit à partir de la révolution industrielle. Cette espèce s'est avérée invasive et tend à coloniser les zones forestières ouvertes, notamment consécutivement à des incendies. L'étude dendrométrique présentée vise à mieux comprendre les dynamiques de ces trois populations. La croissance comparée des trois espèces révèle que le pin de Salzmann est une espèce très vulnérable au feu, tandis que le pin sylvestre semble être plus résistant. Le pin maritime utilise les incendies comme moyen de dispersion des graines et de colonisation du milieu, ce qui lui donne un avantage considérable dans une région sujette à des feux fréquents.

Mots clés : dendrochronologie, dynamique écologique, pin de Salzmann, pin sylvestre, pin maritime

Abstract : *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* constitutes with *P. sylvestris* most of the Cevennes woodlands. They are associated with *P. pinaster*, a species introduced since the industrial revolution. This species became invasive and colonizes open woodlands, especially after fires. The present dendrometrical study aims to better understand the dynamics of these three populations. The compared growth patterns reveal that Salzmann pine is highly sensitive to fire, while scot pine seems to be more resistant. Maritime pine uses fires for disseminating its seeds and colonizing new zones, which gives to it a strong advantage in a region submitted to frequent fires.

Keywords : dendrochronology, ecological dynamic, Salzmann pine, mountain pine, maritime pine

Les Cévennes constituent une chaîne montagneuse située dans le massif central. Elles englobent principalement les départements du Gard et de la Lozère, et dans une moindre mesure ceux de l'Ardèche et de l'Hérault. Il s'agit d'une zone aux reliefs importants, aux roches généralement siliceuses et perméables à l'eau (Bauliq, 1957). Ces montagnes sont également soumises à un climat méditerranéen très

marqué. Ce dernier est notamment caractérisé par une longue période estivale à la fois chaude et sèche avec des pluies rares (Rameau et al., 2008). L'hiver est souvent froid, ce qui entraîne de nombreuses gelées (Estienne, 1957). Une autre caractéristique du climat cévenol est la concentration des pluies en quelques jours, généralement en automne. Les précipitations annuelles sont couramment supérieures à 1500 mm (Martin, 2006). Les Cévennes furent marquées par de nombreuses

activités anthropiques, notamment lors de la révolution industrielle qui conduisit au développement et à l'exploitation de mines de charbons ou de complexes industriels (Anduse, 1984 ; Rivelaine, 2005). L'impact de l'Homme peut ainsi se mesurer au niveau des peuplements d'arbres. Par exemple, le châtaignier, arbre symbole des Cévennes siliceuses, aurait été introduit par les Romains durant l'Antiquité dans le but de nourrir les populations environnantes (Arnas, 1991). Les Cévennes présentent néanmoins une faune et une flore qui leur sont propres, composées de nombreuses espèces endémiques.

Le pin de Salzman (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*), est aujourd'hui considéré comme l'un des arbres les plus rares de France. Cette sous-espèce fut mentionnée en 1810 à Saint-Guilhem-le-Désert, puis décrite par Dunal (1851). L'analyse de données fossiles a montré que son aire de répartition était auparavant beaucoup plus vaste qu'elle ne l'est actuellement : elle était en particulier plus abondante en Espagne orientale et sur le versant méridional pyrénéen. Les différents épisodes climatiques du Quaternaire l'auraient acculée sur de petites zones géographiques, à niche écologique précise, où elle constitue des peuplements isolés (Vernet et al., 2005). Au début de l'Holocène, les Pins de Salzman et les chênes verts étaient dominants, mais l'activité humaine a privilégié le développement des chênaies pour le bois, ce qui a entraîné la régression et la fragmentation des formations de pins (Ali et al., 2008). Au cours des deux derniers siècles, d'importants travaux de reboisement s'inscrivant dans le cadre de la loi de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.) ont été entrepris et c'est ainsi que diverses espèces exogènes, telles que le pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigra*) et le pin laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp. *laricio*), ont été utilisées à proximité voire parfois à l'intérieur des massifs relictuels des pins de Salzman (Fady et al., 2010). Une autre espèce a également été introduite dans les boisements : il s'agit du pin maritime (*Pinus pinaster*) dont l'implantation s'est faite sous l'impulsion des compagnies houillères qui recherchaient un approvisionnement en bois proche des mines.

Il s'avère que ce pin est une espèce invasive dont l'expansion rapide a grandement modifié le paysage des Basses Cévennes (Debazac, 1963). Actuellement, les trois facteurs qui menacent le pin de Salzman sont les incendies, la pollution génétique (en l'occurrence, l'hybridation avec les autres sous-espèces de *P. nigra* introduites) et l'isolement couplé à la petite taille de certaines populations (Cambon, 2011).

La dendrochronologie et son application dendroclimatologique sont les disciplines couramment utilisées lorsqu'il s'agit d'étudier des populations d'arbres longévives. Cette discipline, initialement pensée par Leonardo da Vinci au XVI^{ème} siècle (Eckstein, 2004), a été développée puis institutionnalisée par Douglass au XX^{ème} siècle (Douglass, 1941). À l'aide des cernes de croissance qui marquent la vie d'un individu, il est possible d'observer l'influence de paramètres écologiques sur la biologie de l'arbre (par exemple, l'influence des variations climatiques sur la croissance radiale d'un arbre). De ce fait, il est possible de reconstituer les événements majeurs qui ont marqué la vie d'un arbre, parmi lesquels des événements paléoclimatiques. Cette étude a pour objectif de déterminer les patrons de croissance radiale de trois espèces de pin à partir de leurs réponses aux événements climatiques. De plus cette étude s'intéresse au fonctionnement des facteurs pouvant impacter le développement d'une population de pins de Salzman. Pour cela, des prélèvements dendrologiques ont été effectués dans la vallée du Galeizon lors d'un stage pratique du 26 au 28 janvier 2012.

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Le bassin versant du Galeizon, d'orientation nord-ouest/sud-est, constitue une entité d'environ 8 800 hectares. Cette vallée est située au nord-ouest de la ville d'Alès, au sein des Basses Cévennes très fortement colonisées par des pins maritimes. Elle est délimitée au nord par la Vallée Longue et au sud par la Vallée Française. Elle se compose

de 5 communes (Cendras, Soustelle, Saint Paul La Coste, Lamelouze et St Martin de Boubaux) réparties sur 2 départements (Gard et Lozère). Située dans la partie gardoise schisteuse de la vallée du Galeizon, sur la partie occidentale du col d'Uglas (lat. 44°08'37.00"N, long. 03°55'16.24"E, alt. 550 m), la zone d'étude est une parcelle plane d'environ 150 m² surplombant la vallée du Gardon de St Jean-du-Gard. Cette zone est caractérisée par la présence d'une population de pins de Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*) et est ceinturée par une forêt densément peuplée en pins maritimes (*Pinus pinaster*) et sylvestres (*Pinus sylvestris*). L'extérieur de cette ceinture est bordé par un taillis de châtaigniers, vestige d'une zone agricole aujourd'hui à l'abandon. La zone d'étude est ouverte: les individus de pin de Salzmann sont espacés et permettent le développement d'individus arbustifs de chêne vert (*Quercus ilex*) et de cistes à feuilles de peuplier (*Cistus populifolius*).

2- Matériel biologique

Le matériel biologique de l'étude est composé de trois espèces de pins:

Le pin de Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*, Pinaceae). Cet arbre à feuillage persistant est une sous-espèce de pin noir qui se rencontre sur dolomie et sur silice (Collectif, 1998). Son tronc est droit ou un peu flexueux, ses rameaux sont d'un orangé brunâtre dont la base est souvent dénudée et portent des aiguilles d'une couleur vert clair, non piquantes et souples (Debazak, 1963).

Le pin maritime (*Pinus pinaster*, Pinaceae). Ce conifère à cime irrégulière pousse uniquement sur sol siliceux (il s'agit d'une espèce silicicole ou calcifuge). C'est une espèce pyrophile qui possède une très grande capacité de régénération de ses peuplements après passage d'un incendie (Rigolot & Fernandes, 2005). Outre une bonne résistance liée à la mise en place précoce d'un rhytidome épais qui protège le cambium chez les populations soumises à des incendies fréquents (Ryan, 1998), il a été constaté une apparition précoce des organes reproducteurs (« floraison » dès 4 ans contre 8 ans pour les

individus peu soumis aux feux) et l'existence de cônes sérotineux (dissémination des graines favorisée par les hautes températures liées au feu) (Tapias et al., 2004).

Le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*, Pinaceae). Cet arbre possède des cimes coniques peu denses et se reconnaît notamment à l'écorce de son tronc et à ses apex de branches orangés. Il s'agit d'une espèce calcifuge installée de manière naturelle dans la région cévenole (Médail, 2001). Le pin sylvestre, présent en France dans les zones montagneuses, est abondant dans les pays nordiques (Lebreton et al., 1990). Il possède une bonne résistance à la sécheresse, ainsi que des caractéristiques pyrophiles, notamment la présence de cônes très sérotineux. Il est toutefois moins compétitif que le pin maritime dans la régénération des zones ouvertes par les incendies.

3- Travail de terrain

La station d'étude a été exploitée durant trois jours. 15 pins de Salzmann, 5 pins sylvestres et 5 pins maritimes ont été sélectionnés de manière aléatoire dans la zone d'étude. Tous ces arbres ont été carottés, mesurés et numérotés. Pour réaliser les carottages, nous nous sommes servis d'un carottier métallique ou sonde de Pressler ayant une taille relative à l'arbre sélectionné pour l'échantillonnage. A l'aide de la sonde, deux carottes ont été prélevées à 1.30 m de hauteur. Tout prélèvement doit être effectué en restant perpendiculaire à l'axe de l'arbre de manière à éviter un maximum les frottements qui risqueraient de coincer la sonde. Ces deux carottes sont choisies sur différents côtés de l'arbre afin d'atténuer les biais dus aux irrégularités de largeurs de cernes autour du tronc. Ces irrégularités peuvent être induites par de multiples facteurs (climats, stress,...) dont la présence et/ou l'intensité n'a pas été homogène sur tout le tronc. Par la suite, les carottes sont placées sur du carton ondulé, où elles sont scotchées et annotées. La mesure d'autres caractéristiques, telles que la hauteur des arbres (mesurée à l'aide d'un hypsomètre), leur diamètre ou la distance entre deux arbres (mesurés à l'aide d'un

décamètre) est nécessaire pour compléter la caractérisation du milieu. Certaines particularités édaphiques et géomorphologiques comme la composition végétale ou le dénivelé peuvent être relevées dans le but de parfaire l'interprétation des données acquises.

4- Travail de laboratoire

Le travail en laboratoire a d'abord consisté à poncer les carottes échantillonnées, de manière à rendre les cernes parfaitement visibles, et donc mesurables précisément. La mesure de la largeur des cernes se fait alors à l'aide d'un scanner ou sur une station de mesure de cernes. La carotte est placée à plat sous une loupe binoculaire disposant d'un viseur ; elle peut alors être déplacée latéralement grâce à un mécanisme. Lorsqu'un cerne passe sous la mire, un départ de mesure est enclenché manuellement. Il s'arrêtera au prochain pointage de cerne qui redémarrera alors une nouvelle mesure. L'ensemble de ces données sont ensuite lues et mises en formes par des programmes tels que Tsapwin ou Cdendro de manière à obtenir une base de donnée claire. A l'aide du logiciel TSAPWIN, il est également possible d'interdater les échantillons des différentes espèces de pin étudiées (Cook & Kairiūkštis, 1990). Pour cela, il est nécessaire de faire une moyenne de tous les échantillons d'une espèce, puis de comparer sa courbe de mesure à celles des échantillons qui la composent. Des corrections sur les courbes des échantillons pourront alors être faites pour réviser les valeurs aberrantes ainsi que les oublis de cernes éventuels lors du comptage. Des graphiques représentant la croissance de l'arbre en fonction des années sont obtenus via Tsapwin. Ces graphiques donnent une tendance qui permet de relever entre autres des années caractéristiques. Le logiciel COFECHA permet de calculer le taux de corrélation entre les différents échantillons selon une souche de référence. Ce taux de corrélation correspond à un coefficient allant de 0 à 1 ; pour cette étude, nous considérons qu'à partir d'une valeur de 0,5 deux échantillons ont une bonne corrélation.

Les données sont ensuite traitées à l'aide des outils statistiques suivants :

-Test F de Fisher (avec un risque $\alpha = 5\%$): ce test a été utilisé sur le jeu de données concernant la croissance des pins au fil des années, pour vérifier l'homoscédasticité des valeurs obtenues.

-Test t de Welch (unilatéral avec risque $\alpha = 5\%$): il s'agit d'un test t de Student permettant de comparer deux variables dont les variances sont significativement différentes.

-Test de corrélation de Pearson : ce test a pour but de tester une corrélation entre la croissance radiale des pins et les conditions climatiques (températures et précipitations).

-Test de covariance de Pearson : l'objectif de ce test est de calculer la covariance résultant du test de corrélation de Pearson afin d'évaluer le sens de variation de deux variables (croissance et facteur climatique) et, ainsi, de qualifier l'indépendance de ces variables.

RESULTATS

La mesure des cernes annuels permet de calculer la vitesse de croissance individuelle, et donc la vitesse de croissance annuelle moyenne des trois espèces de pin et leurs écarts-type associés. Celles-ci sont de 85,66 mm.an⁻¹ (écart-type : 43,72 mm.an⁻¹) pour les pins de Salzmann, de 87,99 mm.an⁻¹ (écart-type : 51,48 mm.an⁻¹) pour les pins sylvestres et de 433,85 mm.an⁻¹ (écart-type : 101,37 mm.an⁻¹) pour les pins maritimes (Fig. 1). Toutefois, l'âge des individus de ces trois espèces n'est pas identique. Ainsi, la chronologie des échantillons de pins maritimes ne démarre qu'en 1977 alors que celle des échantillons de pins de Salzmann démarre en 1826. La chronologie des pins sylvestres est la plus ancienne : l'individu le plus âgé date de 1819. Il est important d'insister sur le fait que le prélèvement a été effectué à 1.30 m de hauteur. Par conséquent, la chronologie qui en découle ne caractérise pas l'âge exact de l'arbre (pour cela, il aurait fallu prélever à la base des individus), mais seulement une approximation de cet âge.

Les vitesses moyennes de la croissance

radiale annuelle sont une nouvelle fois testées, mais cette fois-ci sur une période commune aux trois espèces : il s'agit de la période décrite par la chronologie du pin maritime, allant de 1977 à 2011 (Fig. 2). Les nouvelles valeurs de moyenne et d'écart-type sont de 81,73 mm.an⁻¹ avec un écart-type de 65,15 mm.an⁻¹ pour les pins sylvestres, et de 45,85 mm.an⁻¹ avec un écart-type de 17,56 mm.an⁻¹ pour les pins de Salzman. Ces valeurs restent inchangées pour le pin maritime. Les

variances de celles-ci sont comparées au moyen d'un test F de Fisher qui montre que les vitesses moyennes de la croissance radiale annuelle de chacune des espèces sont significativement différentes (H0 non rejetée avec un risque $\alpha = 5\%$). Consécutivement à cela, un test t de Welch est employé pour comparer les moyennes des trois échantillons avec pour résultat une différence significative de ces dernières entre elles (H1 acceptée avec un risque $\alpha = 5\%$).

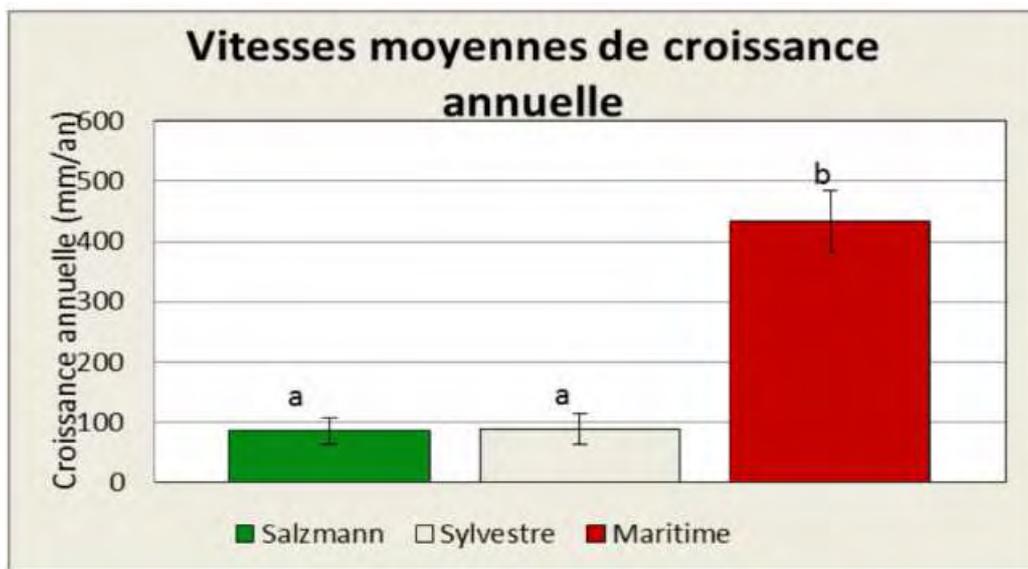


Figure 1. Vitesses moyennes de croissance radiale annuelle des 3 populations de pin

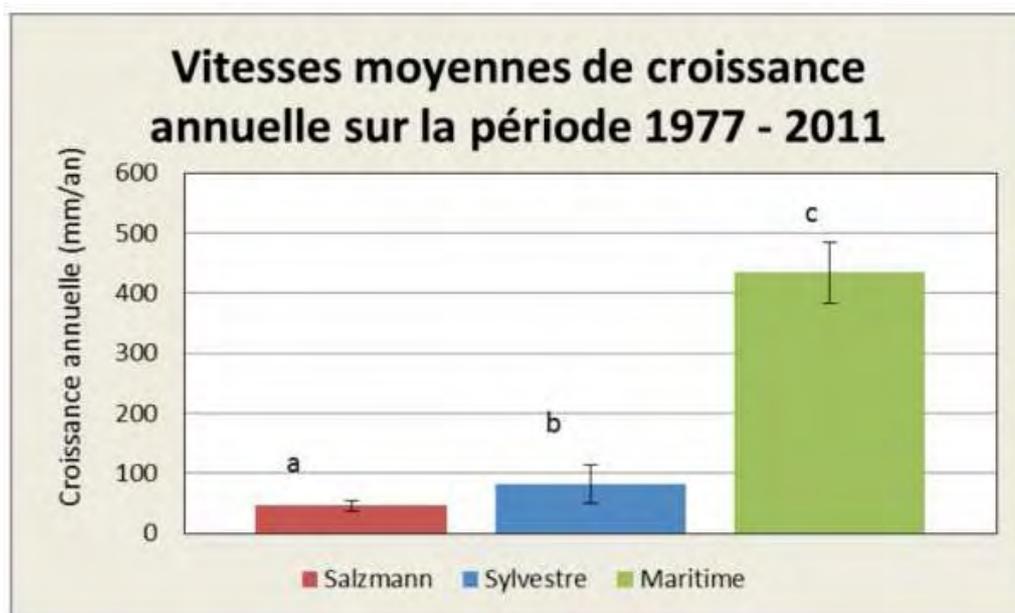


Figure 2. Vitesses moyennes de croissance radiale annuelle des 3 populations de pin de 1977 à 2011

La croissance des pins a été mise en relation avec la température annuelle moyenne obtenue à partir des pluviométries (cumul des précipitations) de la région à l'aide du test de covariance de Pearson, appuyé par le calcul des coefficients de corrélation. Les données météorologiques ont été obtenues grâce aux relevés de trois stations Météo-France situées à proximité de notre zone d'étude : La Grande Combe, Rians et St Jean du Gard (www.meteofrance.com).

1- Température

La croissance des pins de Salzmann montre une corrélation négative pour chaque mois de l'année. La covariance de cette espèce est positive durant les mois de Mars, Mai, Juillet

et Août et est négative le reste du temps.

La croissance annuelle des pins maritimes est positivement corrélée avec les températures des mois de Janvier à Septembre. Avec les températures d'Octobre à Décembre, la corrélation devient négative. Le test de Pearson décrit néanmoins chez cette espèce une covariance proche de zéro de façon régulière tout au long de l'année.

Enfin, la croissance des pins sylvestres possède une valeur de corrélation positive avec la température durant chaque mois de l'année, à l'exception des mois de Novembre et Décembre. La covariance, quant à elle, est largement négative toute l'année, avec des valeurs extrêmes pour les mois de Juillet et Août (Fig.3).

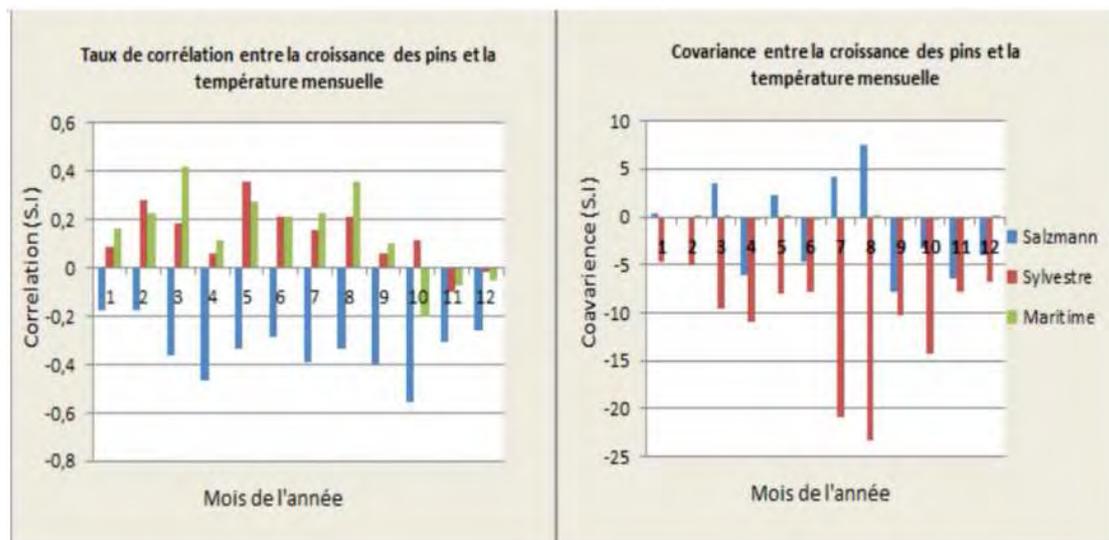


Figure 3. Taux de corrélation et covariance entre la croissance radiale annuelle des 3 populations de pin et les températures moyennes annuelles

2- Cumul de précipitation (mm)

De la même manière que pour les températures, les mesures de pluviométrie mensuelles ont été mises en relation avec l'accroissement annuel des trois espèces végétales.

Les corrélations entre croissance des pins de Salzmann et précipitations se montrent positives pour les mois de Mars, Juin, Août, Octobre, Novembre et Décembre, mais sont

négatives durant les mois de Mars, Juin, Août et Septembre. Les corrélations de Septembre à Décembre présentent des valeurs très proches de zéro. Les valeurs de covariance entre croissance des pins de Salzmann et cumul des précipitations sont peu élevées et restent très proche de zéro.

La croissance des pins maritimes est corrélée de manière positive avec les précipitations des mois de Janvier, Avril, Mai, Juin, Août et Septembre. La corrélation devient négative le reste de l'année. Les valeurs de covariance

stagnent néanmoins aux alentours de la valeur de zéro pour cette espèce.

Enfin, les pins sylvestres présentent une croissance corrélée positivement avec le cumul des précipitations durant les mois de Janvier et Mai mais également en Avril, Juin et Septembre. Les corrélations sont

extrêmement négatives pour Février et Mars. La covariance présente le même schéma avec des valeurs positives en Janvier, Avril, Mai, Juin et un pic en Septembre. Les mois de Février, Mars, Juillet, Août, Octobre, Novembre et Décembre sont associés à des valeurs de covariance négatives (Fig. 4).

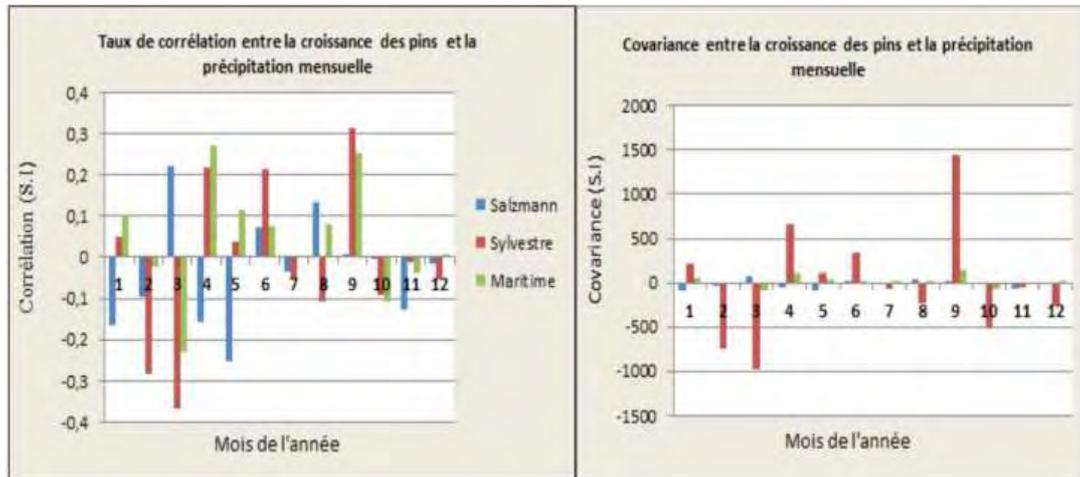


Figure 4. Taux de corrélation et covariance entre la croissance radiale annuelle des 3 populations de pin et les précipitations moyennes annuelles

DISCUSSION

La vitesse de croissance chez les végétaux est un facteur important dans la stratégie d'occupation du milieu et permet de s'imposer dans la compétition pour les ressources, notamment la lumière. L'analyse des résultats révèle qu'entre les différentes espèces de pins, *P. pinaster* présente une croissance nettement supérieure aux deux autres espèces étudiées. Les vitesses annuelles d'accroissement radial sont globalement similaires sur l'ensemble de la chronologie des pins sylvestres et de Salzmann. Toutefois, si cette chronologie ne prend en compte que les 35 dernières années (ce qui correspond à l'apparition des individus de pin maritime étudiés) cette vitesse diffère significativement : *P. sylvestris* croît plus vite que *P. salzmannii*. Cette différence peut être expliquée par des phénomènes climatiques également mis en évidence par l'interdatation (observation d'années caractéristiques sur cet intervalle de temps) couplée à la consultation de bases de données. L'analyse de la

corrélation qui existe entre la croissance radiale du pin sylvestre et la température annuelle moyenne appuie cette idée: en effet, ce dernier résiste mieux à certaines températures extrêmes que le pin de Salzmann. Il se trouve par ailleurs qu'un hiver particulièrement rigoureux a eu lieu en 1985 (année identifiée comme caractéristique lors de l'interdatation). Cela se manifeste en l'occurrence par un net ralentissement de la croissance chez les pins de Salzmann. Une autre piste envisageable est l'action d'un incendie, aléa fréquent dans la région, dont l'effet néfaste se fait plus ressentir chez *P. nigra* subsp. *salzmannii*. La base de données Prométhée (<http://www.promethee.com/prom/basedoc/liste.do>) appuie cette hypothèse puisqu'elle révèle l'apparition de plusieurs épisodes de feu de grande envergure au cours de cette même année 1985.

Le pin maritime est, d'après les résultats de covariance obtenus, peu sensible aux effets de température et de sécheresse. En effet, ses caractéristiques lui permettent de survivre selon une large valence écologique,

notamment face au climat. Néanmoins, son principal atout qui lui confère notamment un caractère invasif est la grande capacité de régénération de ses peuplements à la suite d'un incendie lié à un paradoxe entre la survie individuelle et la survie de l'espèce. En effet, une étude récente (Rigolot & Fernandez, 2005) montre que les peuplements de pins maritimes sont fortement combustibles, et pourtant cette espèce possède des caractéristiques qui assurent à ses organes une certaine résistance au feu, et des modalités de reproduction qui lui permettent de se reconstituer rapidement après incendie. Les individus sujets à des feux fréquents peuvent voir leur croissance doubler. La base de données Prométhée met en évidence que le département a connu de forts incendies répétés 4 ans avant l'apparition du plus vieil échantillon de *P. pinaster*. Ainsi, la vitesse moyenne de croissance élevée qui a été mesurée pour cette espèce pourrait être une image surestimée du développement standard d'un pin maritime.

Les calculs effectués précédemment indiquent que le pin de Salzman possède une corrélation négative tout au long de l'année pour la température. Néanmoins, hormis le facteur thermique, il est possible que d'autres variables aient interféré avec les résultats. Ainsi, l'âge moyen des pins de Salzman tend à ralentir leur croissance.

L'interprétation des résultats peut être biaisée par le faible nombre de réplicats pour *P. pinaster* et *P. sylvestris* et par le fait que ces arbres n'aient pas été échantillonnés dans un milieu homogène (zone étendue, dont le taux de recouvrement végétal ainsi que la déclivité du substrat étaient variables). En effet, un nombre restreint d'échantillons ne permet pas d'obtenir une moyenne représentative. L'analyse des données interdatées via le logiciel COFECHA renforce cette idée, puisqu'elle révèle une faible corrélation entre les différents pins sylvestres. De plus, les pins maritimes, en raison de leur jeune âge, n'ont pas pu être traités par ce programme. L'échantillonnage a été effectué de manière intensive sur un seul site, pouvant alors ne pas être représentatif de l'ensemble du milieu.

Dans le cas du pin sylvestre, certains résultats aberrants sont apparus lors de la création de la covariance qui est fonction de la croissance radiale et des températures annuelles. Ces valeurs pourraient également être la conséquence d'une mauvaise manipulation (notamment lors de la mesure des cernes).

Il serait nécessaire, pour parfaire cette étude, de compléter les résultats pour produire un échantillonnage d'arbres plus conséquent et mieux réparti. Une plus grande précision de certaines données (climatiques et concernant la géographie des incendies) aurait permis une meilleure lecture et interprétation des résultats.

CONCLUSION

La sauvegarde du pin de Salzman est un véritable enjeu écologique, car il possède une forte valeur patrimoniale. La conservation de cette sous-espèce de pin noir doit obligatoirement passer par le ralentissement de la colonisation du pin maritime. Ce dernier alimente (et se développe à partir) des incendies ; il est donc nécessaire de gérer les populations en contrôlant au mieux les feux (Trabaud et al., 1991). Le pin de Salzman est largement remplacé par le pin maritime alors qu'il possède une fertilité aussi abondante. Toutefois, il n'est pas impossible qu'outre sa croissance initiale plus forte, le pin maritime possède un avantage biologique en raison de l'époque de dispersion des graines : alors que chez le pin de Salzman, la dispersion des graines se fait dès les premières journées ensoleillées de mars, chez le pin maritime, dont le cône est plus ou moins sérotineux, la libération des graines est plus tardive et se prolonge jusqu'au début de l'été, période durant laquelle les incendies sont plus fréquents (Debazac, 1963). S'agissant d'une essence forestière très rare, la conservation du pin de Salzman constitue également un enjeu du point de vue de la biodiversité. Des projets de réintroduction de cette sous-espèce dans la région sont en cours, Ainsi, l'ONF (Office National des Forêts), en partenariat avec des laboratoires, prélèvent des greffons sur des pins de Salzman centenaires purs qui seront élevés en pépinières, à l'abri de toute autre

variété d'arbres. Au bout de quelques années, les graines de Salzmann récoltées sur ces nouveaux sujets permettront de reconstituer des forêts dans les sites d'origine.

REFERENCES

- Ali A.A., Roiron P., Chabal L., Ambert P., Gasco J., André J. & Terral J.-F. (2008). Holocene hydrological and vegetation changes in southern France inferred by the study of an alluvial travertine system (Saint-Guilhem-le-Désert, Hérault). *Comptes Rendus Géosciences*, 340 : 356-366.
- Anduse R. (1984). Les exploitations de charbon à ciel ouvert des Cévennes. *Société de l'industrie minière*, 10 : 786-790.
- Arnas I. (1991). Le terroir et l'habitat médiéval de Saint-Germain-de-Calberte, paroisse des Cévennes. *Cahier d'histoire, Comité historique du Centre-Est*, 3 : 197-213.
- Bauliq H. (1957). Les méthodes de la géomorphologie, d'après M. Pierre Birot. *Annales de Géographie*, 354 : 97-124.
- Cambon D. (2011). *État de conservation de la forêt de pins de Salzmann de Bessèges (Gard)*. Office National des Forêts, Direction territoriale Méditerranée, Montpellier, 49 p.
- Collectif (1998). *Flore du parc national des Cévennes*. Editions du Rouergue, 320 p.
- Cook E.R. & Kairiūkštis L.A. (1990). *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Springer, 394 p.
- Debazac J.-F. (1963). L'aire spontanée du pin de Salzmann en France. *Revue forestière française*, 10 : 768-784.
- Douglass A.E. (1941). Crossdating in Dendrochronology. *Journal of Forestry*, 10 : 825-831.
- Dunal M.F. (1851). *Description du "Pinus Salzmanni" de la forêt de Saint-Guilhem-le-Désert*. Impr. de Boehm, Montpellier, 15 p.
- Eckstein E. (2004). Change in past environments – secrets of the tree hydrosystem. *New Phytologist*, 163 : 1-4.
- Estienne P. (1957). Recherches sur le climat du Massif Central. *Géocarrefour*, 32 : 172-174.
- Fady B., Brahic P., Cambon D., Gilg O., Rei F., Roig A., Royer J., Thévenet J. & Turion N. (2010). Valoriser et conserver le Pin de Salzmann en France. *Forêt méditerranéenne*, 1 : 3-14.
- Lebreton P., Laracine-Pittet C., Bayet C. & Lauranson J. (1990). Variabilité polyphénologique et systématique du pin sylvestre *Pinus sylvestris* L. *Annals of Forest Science*, 47 : 117-130.
- Martin C. (2006). *Espaces en terrasses et prévention de risques naturels en Cévennes*. Fascicule du projet INTERREG IIIB SUDOE "TERRISC".
- Médail F. (2001). Biogéographie, écologie et valeur patrimoniale des forêts de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) en région méditerranéenne. *Forêt Méditerranéenne*, 22 : 5-21.
- Rameau J.-C., Mansion D. & Dumé G. (2008). *Flore forestière française: Région méditerranéenne*. Institut pour le développement forestier, 2423 p.
- Rigolot E. & Fernandes P. (2005). Écologie du pin maritime en relation avec le feu et gestion des peuplements pour leur protection contre les incendies. *Forêt méditerranéenne*, 26 : 97-110.
- Rivelaine H. (2005). *Balade en sol mineur: les mines du bassin houiller d'Alès*. Le plein des sens, 139 p.
- Ryan K.C. (1998). Analysis of the relative value of morphological variables in predicting fire-caused tree mortality. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology Conference*. ADAI, pp. 1511-1526.
- Tapias R., Climent J., Pardos J.A. & Gil L. (2004). Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecology*, 171 : 53-68.
- Vernet J.-L., Meter A. & Zéraïa L. (2005).

Premières datations de feux holocènes dans les Monts de Saint-Guilhem-le-Désert (Hérault, France), contribution à l'histoire de la forêt relique de *Pinus nigra* Arnold ssp. *Salzmanni* (Dun.) Franco. *Comptes Rendus Géosciences*, 337 : 533-537.

L'INTERET CONSERVATOIRE DES ZONES HUMIDES A TRAVERS L'ETUDE DE LA FLORE CRYPTOLOGAMIQUE DE LA VALLEE DU GALEIZON (CENDRAS, GARD)

Delphine Cornella ¹, Sofia Djemaa ², Pauline Rocarpin ³

*Équipe Paléoenvironnements et Paléoclimats, Institut des Sciences de l'Evolution
Université Montpellier-2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5*

¹ delphine.cornella@etud.univ-montp2.fr, ² sofia.djemaa@etud.univ-montp2.fr,

³ pauline.rocarpin@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Serge Muller

Résumé : Une étude floristique a été réalisée dans les Cévennes dans le but d'évaluer l'importance de la conservation des zones humides (mares temporaires, ruissellements, zones tourbeuses). Un référentiel des espèces de cryptogames, mais aussi des spermaphytes environnantes, a permis d'effectuer des cladogrammes révélant la richesse spécifique de ces zones particulières. La présence/absence des espèces, ainsi que plusieurs paramètres (nature du substrat, degré d'hydrométrie, altitude...), ont montré que les assemblages cryptogamiques ne répondent pas aux mêmes facteurs que les spermaphytes. La conservation des milieux humides et de la diversité cryptogamique qui s'y rattache, représente donc un réel enjeu en paléoécologie.

Mots clés : paléoécologie, zones humides, vallée du Galeizon, espèces cryptogamiques, conservation

Abstract : A floristic survey was performed in the Cevennes Range with the aim to evaluate the importance of the preservation of wetlands (temporary ponds, run-offs, peaty areas). A reference table of Cryptogam species, but also of the main surrounding spermatophytes, allowed making cladograms showing the specific richness of those specific areas. The presence/absence of species, as well as various parameters (substratum, hygrometry, height...), showed that cryptogamic assemblages do not respond to the same factors than spermaphytes. The preservation of damp environments and the related cryptogam diversity show a real stake as far as paleoecology is concerned.

Keywords : paleoecology, wetland, the valley of the Galeizon, preservation, cryptogam species

Les zones humides sont des écosystèmes caractérisés par une grande diversité de cortèges floristiques et faunistiques spécifiques. Situées à l'interface entre les écosystèmes aquatiques et terrestres, elles constituent un écotone qui, en France métropolitaine, selon le [Ministère chargé de l'agriculture \(2001\)](#), regroupe environ 25 % de la biodiversité. Paradoxalement, elles font aussi partie des milieux qui ont le plus régressé. Actuellement, en France comme sur

l'ensemble de la planète, plus de la moitié des zones humides a disparu ([Barnaud & Fustec, 2007](#)). Les zones humides sont particulièrement riches en espèces cryptogamiques. Dans le règne végétal, les cryptogames correspondent à l'ensemble des végétaux dont les organes reproducteurs ne sont pas visibles. Cet ensemble regroupe les Ptéridophytes, les Bryophytes (mousses, sphaignes et hépatiques), les Lichens et les algues. Les zones humides, rares en Méditerranée, y sont représentées par différents types (mares

temporaires, mares permanentes, rivières et zones tourbeuses), et pour certains en limite de répartition. C'est notamment le cas des zones tourbeuses à sphaignes, qui y atteignent leur limite méridionale en France, ou encore des mares temporaires à isoètes, qui s'y trouvent en limite septentrionale de distribution. Les tourbières, quant à elles, sont répandues depuis les hautes montagnes de l'Europe méridionale (Pyrénées, Alpes, Massif Central...) jusqu'en Scandinavie. Les mares temporaires à isoètes, en revanche, sont des écosystèmes exclusivement méditerranéens, qui sont plus abondants sur les îles méditerranéennes (Corse, Sardaigne...) et en Afrique du Nord. Ce travail s'est axé sur un inventaire de la flore cryptogamique, souvent mal connue, mais également sur la flore spermatophytique, afin de comparer la richesse spécifique et la structure des différentes zones humides étudiées dans la Réserve de Biosphère de la vallée du Galeizon, située dans le Parc National des Cévennes. Il a pour objectif de préciser la signification conservatoire des zones humides du Galeizon, à la fois sur un plan biologique et sur un plan évolutif.

MATERIEL ET METHODES

1- Présentation des sites

La vallée du Galeizon est située au nord-ouest de la ville d'Alès, dans la zone des Basses Cévennes à pins maritimes. Elle est délimitée au nord par la vallée Longue et au sud par la vallée Française, et se trouve à cheval sur les départements du Gard et de la Lozère. Cette vallée comprend pour l'essentiel deux unités géologiques: schisteuse à l'amont et calcaire à l'aval. Ces deux unités constituent respectivement 85 et 15 % du bassin versant d'une superficie de 8 800 hectares. Séparées par la faille géologique de la Soustelle, la bordure cévenole calcaire repose en discordance sur le

massif schisteux. Sept zones humides ont été étudiées (Boivin et al., 2008) Plusieurs facteurs telles que l'altitude, les coordonnées GPS ou encore la profondeur du sol, ont été prises en compte sur place et ont permis de définir les caractéristiques du milieu (Tab. 1).

FAG (*vallée de la Fage*): vallon forestier encaissé sur substrat siliceux. C'est un milieu fermé, préservé de l'anthropisation, de type ripisylve, comprenant des tapis de sphaignes, de bryales et d'hépatiques sur des rochers surplombant la rivière.

DRO (*Drosera*): petite source située dans un fossé en bord de la route D 172 à l'est de Terre rouge (commune de Saint-Paul-la-Coste), milieu ouvert et siliceux où l'on trouve *Drosera rotundifolia*, espèce endémique typique des milieux à suintements.

BOU (*Le Bourguet*): station à sol siliceux appartenant à la rive du Bourguet, qualifiée de temporaire par la présence de l'un des deux milieux spécifiques des zones humides, la marre temporaire de type cupulaire.

MAR (*à proximité de la commune de Le Martinet*): marre asséchée de type ripisylve à sol siliceux, spécifique d'un milieu ouvert sans trace notable d'anthropisation.

MOU (*sources du Moulinas*): située au sein d'un milieu forestier fermé en pente abrupte, sur un sol tourbeux et siliceux, illustrant l'autre milieu caractéristique des zones humides présentes dans la Vallée du Galeizon.

THI (*près du hameau du Thieure*): site à sol calcaire, d'une fontaine, d'une cascade pétrifiante et d'un bassin anciennement utilisé comme abreuvoir.

PLA (*sur le petit plateau des Planas*): milieu ouvert et siliceux caractérisée par la présence de *Sphagnum auriculatum*.

Tableau 1 : Caractéristiques des sites étudiés. Couvert végétal (Vgt) : fermé (0), ouvert (1) ; Type de sol (Sol) : siliceux (0), calcaire (1) ; Hydrologie (Hyd) : absence d'eau (0), eau de pluie (1), eau temporaire (2), eau permanente (3) ; Profondeur du sol (Prof) : absent (0), squelettique < 2cm (1), profond > 2cm (2).

Site	Surf.(m ²)	Lat. N	Long. E	Type de milieu	Alt.(m)	Vgt	Sol	Hyd	Prof	Date
FAG 1	4	44°12.412	03°55.302	Tapis de sphaignes	375	1	0	0	0,5	26/01
FAG 2	0,5	44°12.412	03°55.299	Tapis d'Hypnaceae	374	1	0	1,5	0	26/01
FAG 3	1,5	44°12.411	03°55.298	Surplomb rocheux	376	1	0	1,5	0	26/01
DRO	4	44°10.139	03°58.312	Suintement	286	0	0	2	2	26/01
BOU 1	4	44°09.114	04°00.820	Mare asséchée	157	0	0	2	2	27/01
BOU 2	4	44°09.103	04°00.812	Mare cupulaire	161	0	0	2	0,5	27/01
BOU 3	1	44°09.106	04°00.811	Ruissellement temporaire	159	0	0	1,5	1	27/01
MOU 1	4	44°09.502	03°57.770	Butte de sphaigne	268	1	0	0	1	27/01
THI 1-2	20	44°08.886	03°56.878	Fontaine calcaire	336	0,5	1	3	0,5	27/01
THI 4	40	44°08.864	03°56.821	Cascade pétrifiante / Bassin	350	1	1	2,5	1,5	27/01
THI 5	10	44°08.945	03°56.917	Bassin (ancien abreuvoir)	329	0	1	3	1	27/01
MAR	8	44°09.623	03°58.390	Ruissellement temporaire	206	0	0	1	1	27/01
PLA 1	4	44°08.199	03°54.998	Mare cupulaire	439	0,5	0	2	0,5	28/01
PLA 4	20	44°08.217	03°54.988	Tapis de sphaignes	441	0	0	0	0,5	28/01

2- Travail de terrain

Le travail de terrain a été réalisé entre le 26 janvier et le 28 janvier 2012. Dans chaque zone humide, un recensement quasi-exhaustif des espèces cryptogamiques a été réalisé, ainsi qu'un inventaire des principaux spermaphytes environnants afin de comparer leur répartition et de préciser le couvert végétal. Des prélèvements ont été systématiquement réalisés, avec l'aide d'Emeric Sulmont (Parc National des Cévennes), pour permettre l'identification ultérieure des échantillons. Les zones humides ont parfois été subdivisées en «stations», qui ont été nommées par la juxtaposition d'un chiffre après l'afixe du code de la station. Par exemple, THI 1 est la station 1 de la zone humide THI. Cette notation a permis de déterminer les spécificités des milieux composant chaque site. Les espèces cryptogamiques récoltées ont été placées dans des sacs d'échantillonnage sur lesquels ont été précisés le jour de prélèvement et le code de la station. Ces échantillons ont par la suite été conservés au réfrigérateur. Pour les spermaphytes et les ptéridophytes, après le prélèvement, les échantillons ont été mis en herbier et répertoriés avec les mêmes codages.

3- Travail en laboratoire

Les espèces cryptogamiques prélevées ont été identifiées, à l'aide de clefs de détermination et de flores (Jestin, 1998 ; Bailly et al., 2004 ; Rameau et al., 2005, 2006, 2008 ; Schumacker & Vána, 2005 ; Frahm et al., 2006 ; Muller, 2010). La seule espèce de charophytes recensée a été identifiée avec Riveline (1986), et avec l'aide d'Ingeborg Soulié-Märsche (ISEM, UM2). Une loupe binoculaire et un microscope optique ont été nécessaires pour ce travail d'identification (Annexe 2).

4- Traitement des résultats

Nous avons réalisé des classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) basées sur la distance de Chord (Chi-2), à l'aide du logiciel PAST (Hammer et al., 2001). Cette distance, très utilisée en écologie (S. Muller, comm. pers.), donne des résultats similaires à la distance de Jaccard : elle permet de classer les individus ayant un comportement similaire sur un ensemble de variables. Dans cette étude, elle favorise, sur un critère de présence/absence, le regroupement des différents sites. Plus la distance est petite, plus les deux zones étudiées sont semblables. A l'inverse, une distance de Chord importante

témoigne d'une grande dissemblance. Nous avons réalisé deux cladogrammes, le premier sur les assemblages des cryptogames et le second sur les assemblages des spermaphytes. Les seuils de similarité utilisés pour effectuer les regroupements ont été définis comme les valeurs les plus élevées permettant de distinguer des groupes présentant des significations écologiques différentes.

RESULTATS

Sur l'ensemble des zones humides étudiées, un recensement de 137 espèces a été réalisé,

dont 44 espèces cryptogamiques (Fig. 1, Annexe 1). L'inventaire non exhaustif de ces espèces cryptogamiques à travers les sites, permet de comparer les compositions des différentes zones sur un critère de présence/absence. On remarque que certaines espèces se retrouvent dans plusieurs sites différents, comme *Polytrichum formosum*, qui est présent dans les sites MOU, FAG et PLA. D'autre part, on ne retrouve que dans une seule station la ptéridophyte *Asplenium viride* (Fig. 1).

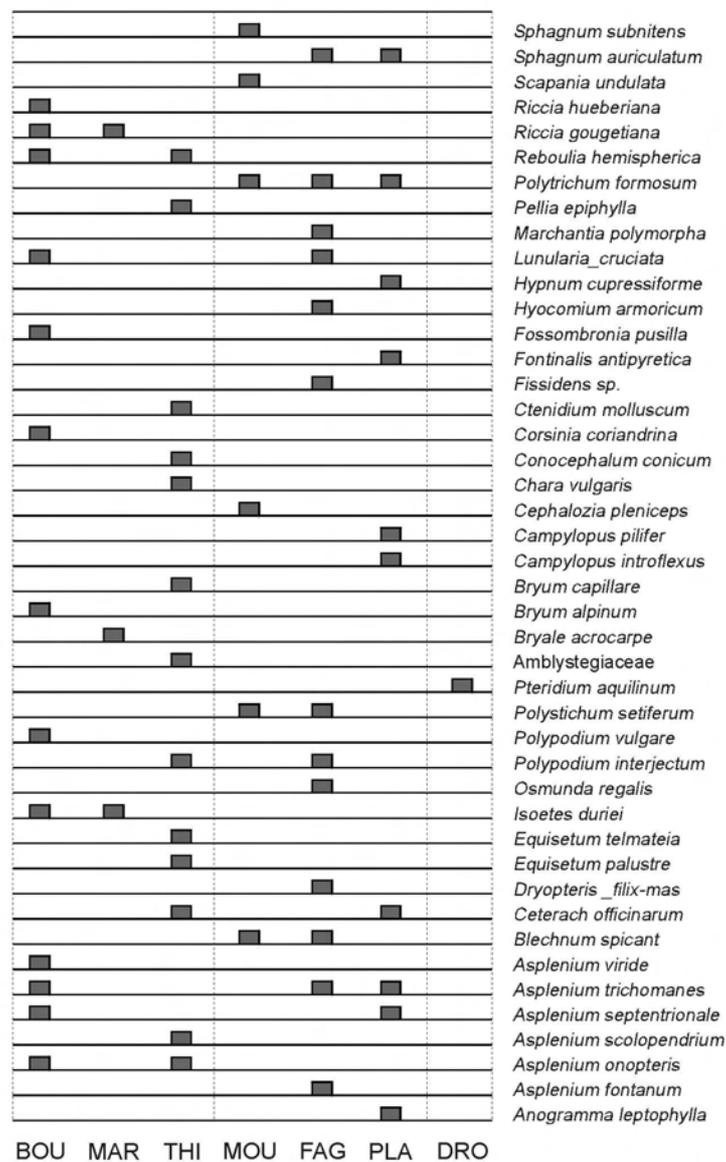


Figure 1 : Diagramme de présence/absence des assemblages cryptogamiques relevés dans différents sites. La zonation respecte la classification ascendante hiérarchique (Figure 3)

Le cladogramme des cryptogames (Fig. 2) permet de regrouper certains sites. Le cladogramme met en évidence quatre ensembles pour un seuil de similarité de -1.28. Le premier est constitué des mares temporaires (BOU, MAR), le second du site sur substrat calcaire (THI), le troisième des sites forestiers (MOU, FAG et PLA) et le dernier de DRO, qui est un fossé humide de bord de route ne présentant aucun cryptogame hydrophytique. Le cladogramme confirme que MOU et FAG d'une part, et BOU et

MAR d'une autre, sont les sites les plus semblables.

Le cladogramme des spermaphytes est présenté Figure 3. La zonation est différente de celle donnée par la Figure 2. Un seuil de similarité de -1.28 permet de distinguer trois ensembles: le milieu calcaire (THI), les milieux temporaires (BOU, MAR), et les autres zones humides (MOU, PLA, DRO et FAG). Au sein de ce dernier groupe, les milieux à sphaignes se regroupent.

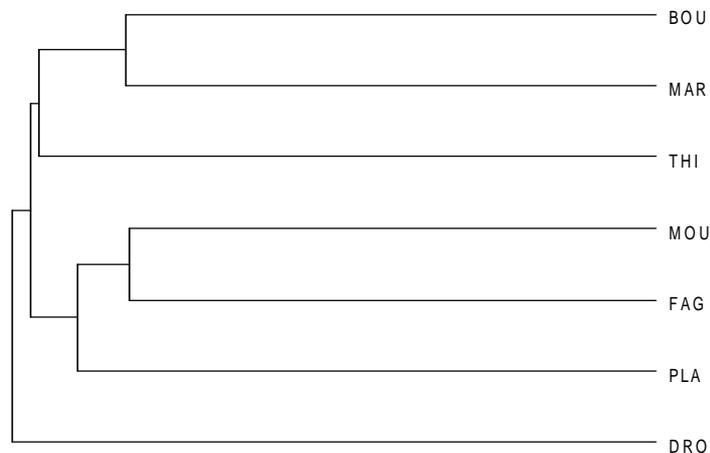


Figure 3 : Cladogramme des sites étudiés sur la base des assemblages cryptogamiques (distance de Chord).

DISCUSSION

1- Facteurs écologiques et distribution des espèces

Les sites se distinguent sur la base de plusieurs facteurs tels que le type de substrat, le couvert végétal ou encore l'altitude. La variabilité de ces facteurs est susceptible de modifier la distribution des espèces. Il est donc intéressant de les prendre en compte pour cette étude.

Le cladogramme sépare en premier lieu la flore spermaphytique de la station THI des

autres stations. Le site THI étant la seule station sur sol calcaire, sa flore est caractérisée par des espèces calcicoles, comme par exemple le persil sauvage (*Anthriscus sylvestris*), la scolopendre (*Phyllitis scolopendrium*) (Rameau et al., 2008) ou le buis (*Buxus sempervirens*) (Coste, 1937). Il semble que la flore spermaphytique soit majoritairement influencée par le type de substrat (Fig. 3). En second lieu, on remarque la formation d'autres groupes basés sur l'hydrologie des sites: les mares temporaires (BOU, MAR) et les autres zones humides (FAG, PLA, MOU, DRO).

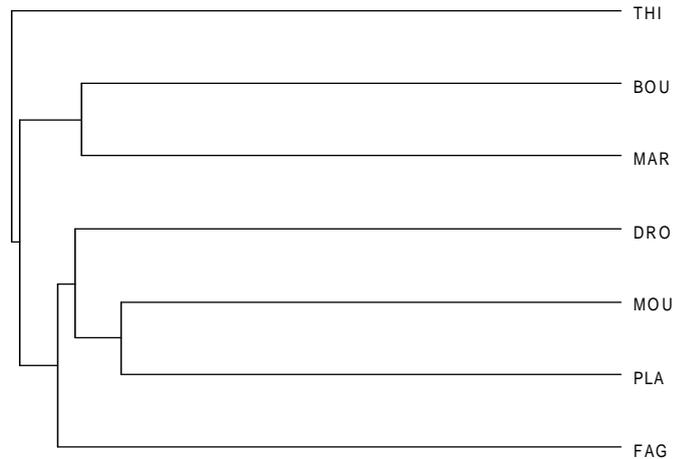


Figure 4 : Cladogramme des sites étudiés sur la base des assemblages de spermaphytes (distance de Chord)

Les espèces diffèrent non seulement par le type de milieu qu'elles occupent, mais aussi par le taux d'humidité qui y règne. D'autres facteurs semblent influencer la répartition des espèces cryptogamiques. L'hydrologie et le couvert végétal auraient une influence majeure sur leur distribution. Le site DRO, peu humide et très ouvert, semble peu propice au développement des cryptogames, qui n'y sont représentés que par une espèce, la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Au vu du degré d'ouverture très variable entre les autres sites où se développent des flores cryptogamiques diversifiées, le facteur déterminant à DRO semble être l'humidité édaphique insuffisante, et peut-être une pollution du substrat liée à la proximité de la route.

L'altitude semble ne pas avoir d'influence dans la répartition des flores spermaphytiques et cryptogamiques, à l'échelle de la vallée du Galeizon. Par ailleurs, certaines espèces ont été recensées dans plusieurs sites, alors que d'autres n'ont été observées que dans un seul en particulier. Les espèces tendent effectivement à se généraliser (*Polytrichum formosum* dans MOU, FAG, PLA, *Asplenium*

trichomanes dans BOU, FAG, PLA) ou à se spécialiser (*Asplenium viride* dans BOU, *Anogramma leptophylla* dans PLA et *Chara vulgaris* dans THI), traduisant une plus ou moins grande capacité d'adaptation aux milieux. Les facteurs environnementaux, mais aussi la capacité d'adaptation de l'espèce elle-même, influencent donc leur répartition.

Toutefois, ces considérations peuvent être biaisées par la difficulté de prendre en considération tous les facteurs environnementaux, mais également par la variabilité de l'effort d'échantillonnage. De plus, la classification ascendante hiérarchique ne permet pas d'identifier précisément les facteurs qui contrôlent la répartition des espèces au sein des zones humides étudiées.

2- Signification écologique des Cryptogames

En s'établissant préférentiellement dans des endroits très peu ensoleillés et surtout à de hauts degrés hygrométriques, les Cryptogames mettent en évidence leur capacité d'adaptation à des conditions plutôt rudes qui limitent la compétition. En effet, peu

d'espèces végétales se développent dans des zones où le soleil (nécessaire à la photosynthèse et donc source d'énergie) fait défaut. De ce fait, la compétition y est très faible, notamment avec les spermatophytes. Un degré hygrométrique élevé favorise en outre la reproduction des Cryptogames. En effet, lorsqu'il pleut ou que l'eau recouvre le sol et les feuilles, les Cryptogames libèrent des anthérozoïdes. D'après Hans (2003), ces cellules ciliées et mobiles nagent rapidement dans l'eau en faisant mouvoir leurs cils afin d'atteindre les oosphères les plus proches et permettent ainsi la formation d'un futur zygote. Cette reproduction archaïque est sous la dépendance directe de l'eau. Hans (2003) montre également que l'épiderme de la face supérieure des bryophytes ne possède qu'une très mince cuticule protectrice. Sensibles à l'ensoleillement et à la dessiccation, les milieux fermés permettent leur survie. Les bryophytes arrivent toutefois à vivre dans des conditions défavorables. La reviviscence permet à certains bryophytes de reprendre vie après un assèchement du milieu, et même après une longue période de vie latente (Campbell & Reece, 2007). Ne possédant pas de système racinaire développé, elles compensent, selon Hans (2003), en absorbant l'eau sur toute la surface des feuilles, des tiges ou des thalles. Les milieux humides favorisent ainsi leur reproduction, leur survie et leur pérennité.

3- Implications évolutives et de conservation

Certaines espèces protégées se retrouvent fréquemment dans les milieux humides. *Isoetes duriei* est un ptéridophyte rarement observé en France, mais qui pourtant se retrouve dans deux des sept zones humides (BOU et MAR). De plus, le recensement de près de 44 espèces de Cryptogames réparties sur ces huit sites révèle aussi une réelle richesse spécifique. Bien que la Vallée du Galeizon fasse partie du Parc naturel des Cévennes, les zones humides qu'elle abrite ont régressé de 60 à 90% depuis le début du siècle (Boivin et al., 2008). La conservation des espèces cryptogamiques représente donc un réel intérêt sur le plan évolutif. Les milieux

humides peu présents en méditerranée constituent, si l'on considère la rareté des espèces et des groupes taxonomiques qui les composent, un véritable musée naturel. La conservation de ces zones humides prend alors tout son sens sur le plan biologique et évolutif.

CONCLUSION

Les zones humides représentent un patrimoine naturel exceptionnel. Par les conditions de vie qu'elles imposent, elles représentent les seuls milieux capables de développer et de conserver des espèces semblables aux premiers végétaux terrestres; s'adaptant au milieu aérien après une sortie des eaux. Les espèces cryptogames sont donc des espèces pionnières en règle générale. Elles entretiennent ainsi le paradoxe qui lie leur simplicité morpho-anatomique et leur capacité d'adaptation à des conditions contraignantes. Effectivement, les caractères archaïques qu'elles ont su garder au fil du temps leur permettent de dominer ces zones privées de compétition. La dépendance à l'eau pour leur reproduction et leur capacité de reviviscence se révèlent être de véritables avantages sélectifs dans ce type de milieux. Les zones humides sont donc des écosystèmes majeurs pour la conservation des Cryptogames. Elles ont également une grande importance sur un plan paléobotanique, car elles constituent des archives sédimentaires permettant la conservation de micro- et macrofossiles.

L'ensemble des influences, notamment anthropiques, qui agissent sur un habitat naturel ainsi que sur ses espèces, peut affecter à long terme sa répartition naturelle, sa structure, ses fonctions et sa survie. C'est ce que l'inscription de la Vallée du Galeizon comme biotope au réseau Natura 2000 démontre en fixant au sein de sa directive le maintien, voire la restauration de ces habitats naturels d'intérêts communautaires et prioritaires; tels que les mares temporaires méditerranéennes (Boivin et al., 2008). Si ces zones humides n'étaient pas protégées au travers de ces actions, nous pourrions nous demander ce qu'il resterait de cette ressource

paléobotanique et des prévisions écologiques induites par leurs études. Effectivement, si la disparition des cryptogames était la preuve d'une fin inexorable des zones humides, qu'en serait-il des données fossiles et de la richesse des analyses qui en découle, en palynologie notamment ?

REFERENCES

- Bailly G., Vadam J.-C. & Vergon J.-P. (2004). *Guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques*. Direction Régionale de l'Environnement, Franche-Comté, 158 p.
- Barnaud G. & Fustec E. (2007). *Conserver les zones humides: pourquoi ? comment ?*. Educagri éditions, Dijon, 295 p.
- Boivin D., Boyer C., Brès E., Faure F., Garnier S., Georges N., Lombardi T., Marjollet G. & Nozerand R. (Brigade départementale du Gard et délégation régionale de l'O.N.E.M.A) (2008). *Document d'objectifs Natura 2000, FR 9101369 Vallée du Galeizon*. Rapport de synthèse. Syndicat mixte d'aménagement et de conservation de la vallée du Galeizon Biotope, C.S.P., O.N.C.F.S., C.R.P.F., Chambre d'agriculture du Gard, 314 p.
- Campbell N. & Reece J. (2007). *Biologie*. Pearson Education, Etats-Unis, 1333 p.
- Coste H. (1937). *Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et contrées limitrophes. Tome 3*. 2nd Tirage, Librairie des Sciences et des Arts, Paris, 807 p.
- Douin I. (2007). *Nouvelle flore des mousses et des hépatiques*. Belin, Paris, 217 p.
- Frey W., Frahm J.-P., Fischer E. & Lobin W. (2006). *The Liverworts, Mosses and Ferns of Europe*. Harley Books, Essex RU, 527 p.
- Hans M.-J. (2003). *Guide des fougères, mousses et lichens d'Europe*. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 257 p.
- Jestin P. (1998). *Flore du Parc national des Cévennes*. Éditions du Rouergue, 287 p.
- Ministère chargé de l'agriculture (2011). *Note d'instruction aux préfets*. Domaine MAET, 5 p.
- Muller S.D. (2010). *Sphaignes de France, Liste des espèces et clé de détermination. Clés et illustrations traduites et adaptées d'après Crum (1984), Daniels & Eddy (1985) et Andrus (2007)*. Document non publié, Université Montpellier-2, 54 p.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Rameau J.-C., Mansion D. & Dumé G. (2005). *Flore forestière Française. Tome 1 : Plaines et collines*. Institut pour le développement forestier, Paris, 1785 p.
- Rameau J.-C., Mansion D. & Dumé G. (2006). *Flore forestière Française. Tome 2 : Montagnes*. Institut pour le développement forestier, Paris, 2421 p.
- Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G. & Gauberville C. (2008). *Flore forestière Française. Tome 3 : Région Méditerranéenne*. Institut pour le développement forestier, Paris, 2426 p.
- Riveline J. (1986). *Les charophytes du Paléocène et du Miocène inférieur d'Europe occidentale*. Cahiers de Paléontologie. Édition du CNRS, 287 p.
- Schumacker R. & Vána J. (2005). *Identification Keys to the Liverworts and Hornworts of Europe and Macaronesia (distributions and status)*. Sorus, Poznan, 186 p.

ANNEXES

	FAG	DRO	BOU	MOU	THI	MAR	PLA
<i>Agrostis capillaris</i>			1	1	1	1	
<i>Allium ursinum</i>					1		
<i>Allium vineale</i>			1			1	
<i>Alnus glutinosa</i>			1		1		1
<i>Amelanchier ovalis</i>	1						
<i>Anagallis arvensis</i>			1				
<i>Andropogon sp.</i>			1				
<i>Anthriscus sylvestris</i>					1		
<i>Arbutus unedo</i>	1			1			1
<i>Asphodelus cerasiferus</i>						1	
<i>Barbarea vulgaris</i>			1				
<i>Buxus sempervirens</i>					1		
<i>Calluna vulgaris</i>		1		1		1	1
<i>Cardamine Hirsuta</i>			1				
<i>Carex flacca</i>		1					
<i>Carex pendula</i>	1				1		
<i>Castanea sativa</i>		1		1			1
<i>Cedrus atlantica</i>			1				
<i>Celtis occidentalis</i>			1				
<i>Centaurea pectinata</i>				1			
<i>Cistus laurifolius</i>							1
<i>Cistus populifolius</i>							1
<i>Cistus salviifolius</i>		1				1	1
<i>Cupressus sempervirens</i>			1				
<i>Cynodon dactylon</i>			1				
<i>Cyperus eragrostis</i>			1				
<i>Cytisus scoparius</i>							1
<i>Dactylis glomerata</i>			1				
<i>Drosera rotundifolia</i>		1					
<i>Erica arborea</i>	1	1					
<i>Erica scoparia</i>	1	1	1	1		1	1
<i>Erica cinerea</i>		1					
<i>Erigeron annuus</i>			1				
<i>Eupatorium cannabinum</i>		1					
<i>Euphorbia amygdaloides</i>					1		1
<i>Festuca paniculata</i>	1						
<i>Fragaria vesca</i>					1		
<i>Fraxinus excelsior</i>					1		
<i>Galium aparine</i>					1		
<i>Genista pilosa</i>		1				1	
<i>Geranium lucidum</i>			1				
<i>Geum urbanum</i>					1		
<i>Hedera helix</i>	1				1		1
<i>Helleborus foetidus</i>				1	1		
<i>Holcus lanatus</i>			1				
<i>Hypochaeris radicata</i>						1	
<i>Ilex aquifolium</i>	1		1	1			

	FAG	DRO	BOU	MOU	THI	MAR	PLA
<i>Iris germanica</i>							1
<i>Juncus acutiflorus</i>				1			
<i>Juncus bulbosus</i>		1					
<i>Juncus effusus</i>		1	1				
<i>Juglans regia</i>					1		
<i>Juniperus communis</i>				1			1
<i>Juniperus oxycedrus</i>				1			1
<i>Laurus nobilis</i>					1		
<i>Lavandula stoechas</i>							1
<i>Lecantheum monspeliense</i>	1						
<i>Leucantheum graminifolium</i>							1
<i>Linum bienne</i>			1				
<i>Lonicera periclymenum</i>				1			
<i>Mentha aquatica</i>					1		
<i>Molinia caerulea</i>		1					1
<i>Nardus stricta</i>							1
<i>Oenothera biennis</i>							1
<i>Ornithopus compressus</i>							1
<i>Petasites albus</i>	1						
<i>Phillyrea angustifolia</i>	1		1				
<i>Phillyrea latifolia</i>							1
<i>Pinus nigra</i>							1
<i>Pinus pinaster</i>	1	1		1			1
<i>Pinus sylvestris</i>							1
<i>Plantago lanceolata</i>					1		
<i>Populus nigra</i>				1	1		
<i>Potentilla reptans</i>				1			
<i>Prunus avium</i>					1	1	
<i>Prunus spinosa</i>							1
<i>Quercus ilex</i>	1				1		
<i>Ranunculus paludosus</i>				1			1
<i>Ranunculus sardous</i>				1			
<i>Robinia pseudoacacia</i>				1			
<i>Rubus fruticosus</i>					1	1	1
<i>Rumex crispus</i>				1			
<i>Sambucus Racemosa</i>					1		
<i>Sanguisorba minor</i>							1
<i>Saxifraga clusii</i>	1						
<i>Scilla autumnalis</i>				1			1
<i>Scirpoide holoschoenus</i>				1			
<i>Sedum rupestre</i>				1			1
<i>Serapias lingua</i>				1			1
<i>Sorbus aria</i>					1		
<i>Succisa pratensis</i>		1					
<i>Teucrium scordium</i>					1		
<i>Teucrium scorodonia</i>	1						

Annexe 1 : Tableaux de présence/absence des assemblages spermaphytiques relevés dans les différents sites

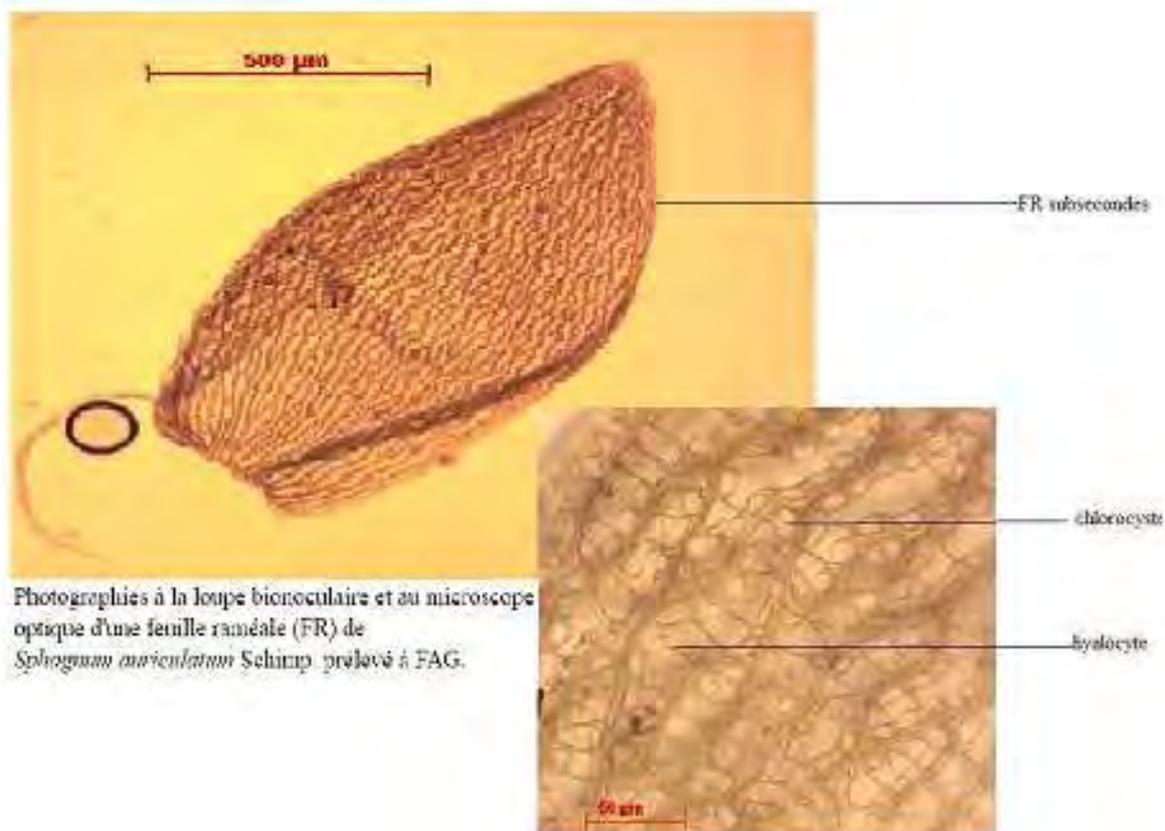
Annexe 2 : Clé de détermination de quelques espèces cryptogamiques recensées

Clés et illustrations réalisées d'après le travail d'analyse en laboratoire au sein de l'équipe de Paléo-Environnement à l'ISEM, par Delphine Cornella, Sofia Djemaa et Pauline Rocarpin.

Sphaigne

Sphagnale, Sphagnaceae, Section : subsecunda : Sphagnum auriculatum (L.)

ORPAL 2012 – FAG et PLA – Galizon - Cendras (30)



Photographées à la loupe binoculaire et au microscope optique d'une feuille raméale (FR) de *Sphagnum auriculatum* Schimp. prélevé à FAG.

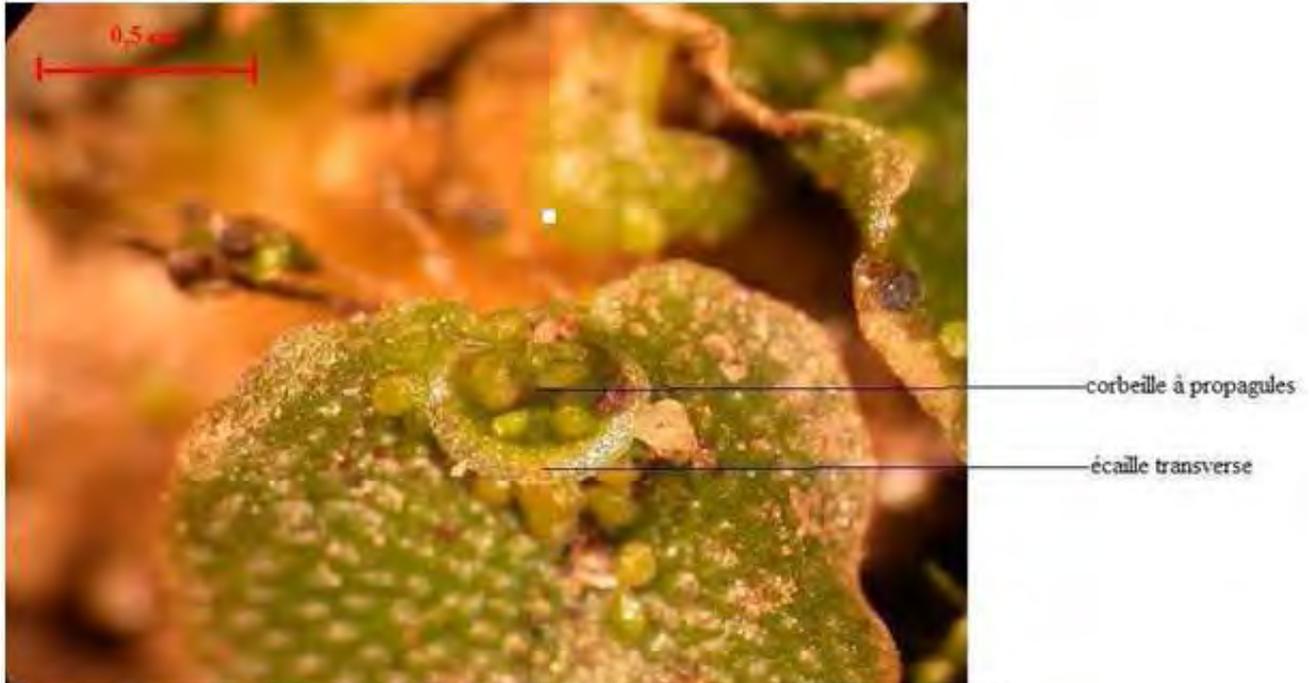
Critères de reconnaissance: Couleur verte, Rameaux avec feuilles dressées, notées Feuilles Raméales (FR), cortex de la tige unistratifié, bourgeon terminal indistinct FR (2.1mm) ~ Feuilles Caulinaires (FC) (2mm), FR subsecondes avec hyalocystes à pores commissuraux.

Hépatique à thalle

Marchantiales, Marchantiaceae: *Lunularia cruciata* (L.) Dum.

ORPAL 2012 – FAG et BOU – Galaison - Cendras (30)

Critères de reconnaissance: Thalle dichotomique, ondulé au bords vert et franc, large de 0,8 à 1,2 cm, polygones et pores de type ovoïde et conique, écailles face inférieure de chaque côté de la nervure, corbeilles à propagules en demi-lune, fréquentes, bordées par une écaille transverse.



Photographie à la loupe bionculaire d'un thalle de *Lunularia cruciata* (L.) Dum. prélevé à FAG montrant une corbeille à propagules,

CARACTERISATION DE LA VEGETATION PRE-INCENDIE PAR LA PEDOANTHRACOLOGIE

Marine Bassoul¹, Marion Pécot², Marjorie Peyric³

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France

¹ marine.bassoul@etud.univ-montp2.fr, ² marion.pecot@etud.univ-montp2.fr,

³ marjorie.peyric@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Adam Ali

Résumé : La pédoanthracologie permet de reconstituer la structure et la dynamique des formations arborées avant et après un incendie. Pour tester la représentativité des assemblages de charbons dans les sols par rapport à la végétation pré-incendie, une zone boisée de la commune de Cendras (Gard), brûlée en 2006, a été étudiée. Les assemblages de charbons et la végétation post-incendie ont été comparés. Basés sur l'hypothèse que la biomasse des individus est proportionnelle à la biomasse de charbons produite, les résultats révèlent une végétation pré-incendie distribuée de manière hétérogène dans l'espace. La végétation pré-incendie aurait été, comme elle l'est aujourd'hui, dominée par le pin maritime *Pinus pinaster*.

Mots-clés : Pédoanthracologie, incendie, charbons, *Pinus pinaster*, Cendras

Abstract : The pedoanthracology allows reconstructing the structure and dynamics of woodlands before and after a fire. In order to test the representativeness of charcoal assemblages in respect of pre-fire vegetation, a woodland of Cendras (Gard), burnt in 2006, was studied. Charcoal assemblages and post-fire vegetation were compared. Assuming that the biomass of trees is proportional to the produced anthracomass, the results reveals a heterogeneous distribution of the pre-fire vegetation throughout the area studied. The pine *Pinus pinaster* appears to be the dominant species before and after the fire.

Keywords : Pedoanthracology, fire, charcoal, *Pinus pinaster*, Cendras

Les incendies laissent des traces sous forme de charbons et fournissent de ce fait des informations permettant de retracer l'histoire du paysage (Touflan & Talon, 2008). Le bois carbonisé peut avoir plusieurs origines. La première est un processus naturel, en l'absence d'exploitation du site. La seconde est due à la présence de l'homme, à savoir l'exploitation sylvopastorale. La combinaison d'événements paléogéographiques, climatiques et écologiques, ainsi que l'activité humaine ont façonné les paysages forestiers et contribué à leur grande diversité (Touflan & Talon, 2008). L'étude des paléovégétations est indispensable pour comprendre la dynamique des

forêts actuelles et caractériser leur devenir en réponse aux changements globaux en cours (Willis & Birks, 2006). Les incendies sont un phénomène fréquent dans les zones qui, comme la région méditerranéenne, sont caractérisées par un climat estival chaud et sec. Les charbons de bois, préservés dans les sols ou d'autres types d'archives, sont des preuves directes d'une destruction de la biomasse par les feux. L'étude des charbons subfossiles dans les sols, aussi appelée pédoanthracologie, vise à reconstruire la structuration et l'évolution de la biomasse au cours du temps (Carcaillet, 1998). Le développement de cette méthode est relativement récent (Thinon, 1978) et des interrogations persistent sur la représentativité des

assemblages de charbons de bois présents dans les sols. Une des principales raisons alimentant ces incertitudes est le manque d'études faisant le lien entre la végétation pré-incendie en termes de structure et biomasse, et la résultante en assemblages de charbons de bois dans le sol. Dans cet optique, notre travail de recherche a eu pour principal objectif d'étudier la dynamique de la paléovégétation d'un site se trouvant sur la commune de Cendras (Gard, Languedoc-Roussillon) via l'étude de charbons de bois contenus dans le sol d'un massif boisé dominé par le pin maritime (*Pinus pinaster*) et ayant brûlé en 2006. Nous avons émis comme hypothèse qu'il existe une relation linéaire entre la biomasse pré-incendie et les charbons de bois contenus dans les sols après le feu de forêt. En effet, nous sommes partis du principe que les individus de forte masse laissent une grande quantité de charbons, et inversement. Notre étude a cherché à vérifier le bien fondé de cette hypothèse.

MATERIELS ET METHODES

1- Site d'étude

Les échantillonnages ont été faits sur la commune de Cendras (latitude : 44,15 ; longitude : 4,06) (Fig. 1). Située à 160 m d'altitude, la commune se situe à 6 km au nord-ouest de la ville d'Alès, dans le département du Gard (Languedoc-Roussillon, France). Trois cours d'eau principaux traversent la commune de Cendras : le Gardon d'Alès, le Galeizon et le ruisseau de Valmale. La commune de Cendras, située à environ 10 km du Parc National des Cévennes, bénéficie d'un climat méditerranéen avec une moyenne de 275 jours d'ensoleillement par an. Les étés sont chauds et secs, et prolongés par une arrière-saison très douce, favorisant ainsi le démarrage des feux dès le printemps. Les pluies, violentes et brèves, tombent principalement en automne et au printemps. L'hiver, quant à lui, est froid mais en général bien ensoleillé. Le vent dominant est le mistral qui, bien qu'atténué par les reliefs avoisinants, sévit parfois.



Figure 1. Positionnement du site d'étude (étoile) au sein de la commune de Cendras

2- Prélèvements sur le terrain

Les prélèvements ont été réalisés durant l'hiver 2012 (26-28 janvier). Après un repérage des lieux, trois sites (quadrats) de 3 x 3 m ont été choisis. Ces quadrats sont plus ou moins alignés sur le même versant de la

colline et présentent une légère pente. Ils ont chacun des couverts végétaux différents. Ces sites ont été choisis car ils présentaient des traces d'un incendie assez récent (2006). Les différentes espèces végétales présentes ont été classées en fonction de leur abondance relative. Chaque quadrat a été subdivisé en

plusieurs sous-quadrats : le premier en 6, les deux autres en 4. Du sédiment de surface (quantité variant de 0,248 à 1,071 kg) a été prélevé pour chaque sous-quadrat. Puisque nous nous intéressons au feu le plus récent, il n'était pas nécessaire de prélever le sédiment en profondeur. Chaque quadrat présente des vestiges d'individus carbonisés. Des échantillons de ces souches carbonisées ont été récupérés, ainsi que du sédiment de surface présent autour des souches. Dans le premier quadrat, la souche carbonisée se situait dans le sous-quadrat 1, la masse de sédiment et de charbon prélevé autour de la souche a donc été ajoutée à celle prélevée dans le sous-quadrat 1. Dans le deuxième quadrat, la souche était située à l'intersection des 4 sous-quadrats, nous avons donc choisi de la considérer comme un sous-quadrat à part entière. Dans le troisième quadrat, la souche était située dans le sous-quadrat 2 ; nous avons donc, ici aussi, ajouté les masses de sédiment et de charbon prélevées autour de la souche à celles prélevées dans le sous-quadrat 2.

3- Extraction des charbons

Chaque échantillon de sédiment a été mis à sécher à l'air libre pendant une semaine, puis pesé afin d'estimer le poids total de sédiment sec. Le sédiment a été ensuite tamisé avec un tamis de 0,8 mm, puis le dépôt restant a été trié par la méthode de flottaison, proposée par [Thinon \(1992\)](#), puis reprise par [Carcaillet & Thinon \(1996\)](#). Cette dernière méthode permet d'extraire la fraction flottante du sol (contenant la majorité des charbons) de la fraction plus lourde contenant des cailloux, des racines, etc. Le surnageant et la partie lourde ont été récupérés avec un tamis de mailles de 0,8 mm. Ces deux parties ont été mises à sécher séparément pendant une semaine à température ambiante. Après le séchage, les échantillons ont été minutieusement triés sous la loupe afin de ne récupérer que les charbons de bois et d'éliminer les cailloux et les racines. Les charbons ont enfin été dénombrés et pesés afin d'estimer la masse de charbons (anthracomasse) de chaque sous-quadrat.

4- L'anthracomasse

Il s'agit de la proportion de charbon de bois (exprimée par sa masse en mg) par rapport à la masse totale de sédiment en kg ([Thinon, 1992](#)). Cette donnée a été utilisée pour caractériser les différents assemblages préservés dans les sols. Elle a été calculée de la manière suivante:

$$\text{Anthracomasse (AS, mg/kg)} = \frac{\text{masse des charbons (mg)}}{\text{masse de sédiment (kg)}}$$

L'anthracomasse a été calculée pour chaque quadrat et pour chaque sous-quadrat. Un des biais potentiel lié à la pédoanthracologie est le processus de fragmentation. Une fragmentation importante se traduirait par un nombre très élevé de charbons pour une masse faible de sédiment. Pour quantifier ce phénomène, nous avons dénombré les charbons de bois afin de déterminer s'il existait une relation linéaire entre l'AS et le nombre de charbons dans les assemblages de charbons, ce qui traduit ainsi un faible poids de la fragmentation ([Carcaillet & Talon, 1996](#)).

5- Identification des charbons

Nous avons posé l'hypothèse que plus un individu pré-incendie a une masse importante, plus il laisse une anthracomasse importante après le passage de l'incendie. Dans chaque quadrat, nous pouvons voir qu'il y a de la variation en terme d'AS. Pour chaque quadrat, deux sous-quadrats se démarquent: celui avec l'AS la plus faible et celui avec l'AS la plus forte. Afin de vérifier notre hypothèse, nous avons choisi d'identifier un charbon pour chacun de ces sous-quadrats, et ce, pour les 3 quadrats échantillonnés. Nous avons choisi en priorité les charbons les plus gros, puisque la méthodologie que nous avons choisi de suivre ne peut se faire sur des charbons de trop petite taille. Six charbons ont ainsi été identifiés (2 par quadrat). Des observations au microscope optique à réflexion (grossissement *100, *200 et *500), ainsi que l'utilisation de l'anthracothèque de référence du Centre de BioArchéologie et

d'Ecologie (CBAE) et d'atlas xylogiques (Jacquiot, 1955 ; Jacquiot et al., 1973), ont permis de les identifier. Pour cela trois coupes ont été réalisées :

- transversale : elle permet de voir si le bois est homoxylé (présence de trachéïdes) ou hétéroxylé (présence de vaisseaux).
- longitudinale tangentielle : elle permet de voir si les rayons sont uni- ou multisériés, ainsi que la présence de canaux résinifères.
- longitudinale radiale : elle permet de voir si les rayons sont hétérogènes ou non, et de préciser la nature des perforations dans les bois hétéroxylés.

RESULTATS

1- Anthracomasse

Tous les quadrats contiennent des charbons

(Tab. 1). Sur l'ensemble des quadrats, l'AS varie de 394 mg/kg au niveau de la souche 2 à 9708 mg/kg dans le sous-quadrat 3.3. Dans le quadrat 1, l'AS va de 2615 à 5934 mg/kg ; dans le quadrat 2, de 394 à 7151 mg/kg ; et dans le quadrat 3, de 1660 à 9708 mg/kg. La représentation graphique de l'AS permet de visualiser la répartition spatiale des charbons, dans les quadrats et sous-quadrats (Fig. 2). Notons que le quadrat 1 est beaucoup plus homogène entre ses sous-quadrats en terme d'AS que les quadrats 2 et 3 (Fig. 2). Nous remarquons de plus que le quadrat 3 est plus riche en charbon que les deux autres quadrats, avec une AS moyenne de 4848 mg/kg (écart-type (ET) = 3616 mg/kg), alors que le quadrat 2 a une AS moyenne de 3219 mg/kg (ET = 3002 mg/kg), et le quadrat 1, une AS moyenne de 3390 mg/kg (ET = 1260 mg/kg) (Fig. 3).

Tableau 1. Tableau récapitulatif des résultats obtenus. MTS : Masse totale de sédiment ; MC : masse de charbons ; AS : Anthracomasse ; Nb : Nombre de charbons.

Quadrat	Sous-quadrat	MTS (kg)	MC (mg)	AS (mg/kg)	Nb	Identification	Espèces actuelles
1	1.1+souche	1.068	2875.8	5933.78	439	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus pinaster</i>
	1.2	1.071	3351.5	3129.32	204		
	1.3	0.8925	2333.7	2614.79	116		
	1.4	0.325	924.5	2844.62	228	<i>Pinus pinaster</i>	
	1.5	0.657	2001.3	3046.12	130		
	1.6	0.661	1831	2770.05	97		
2	2.1	0.4315	1208.4	2800.46	294		<i>Pinus pinaster</i>
	2.2	0.307	2195.5	7151.47	284	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Arbutus unedo</i> <i>Erica</i> sp.
	2.3	0.509	2720.8	5345.38	308		
	2.4	0.768	311.7	405.86	159	Ericaceae	
	Souche	0.248	97.6	393.5	27		
3	3.1	0.368	610.9	1660.05	89	<i>Arbutus unedo</i>	<i>Pinus pinaster</i>
	3.2+souche	0.929	2793.3	5433.67	283		<i>Arbutus unedo</i>
	3.3	0.661	6417.2	9708.32	138	<i>Pinus pinaster</i>	
	3.4	0.605	1566.2	2588.76	299		

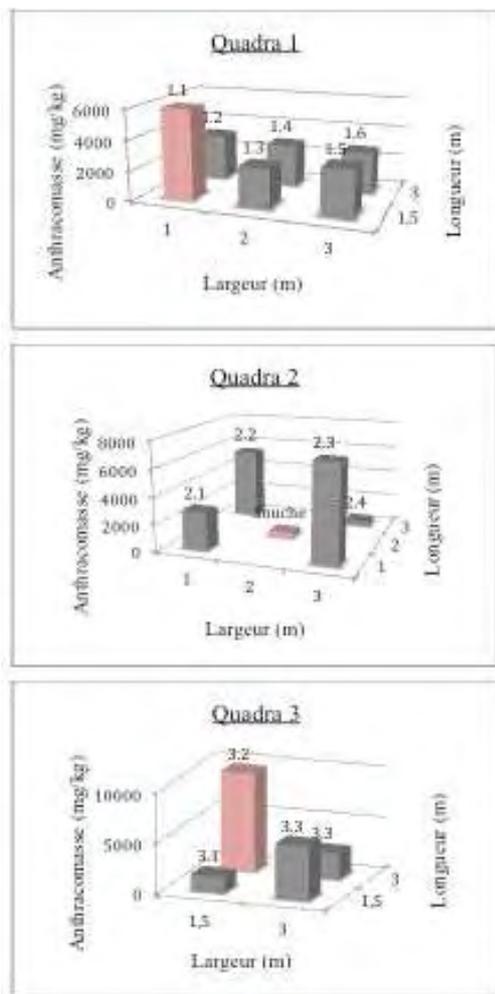


Figure 2. Répartition graphique de l'anthracomasse (mg/kg) en fonction des quadrats et de leurs sous-quadrats. (en rose, les sous-quadrats avec une souche carbonisée)

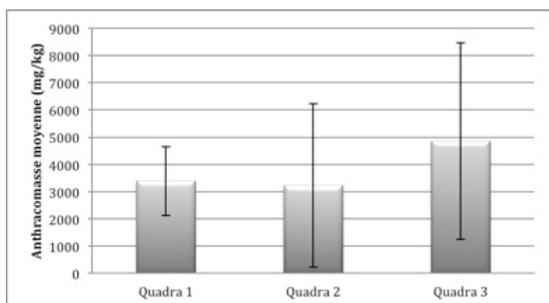


Figure 3. Anthracomasse moyenne (mg/kg) en fonction du quadrat.

2- Fragmentation

La figure 4 illustre la relation entre le nombre de charbons collectés et l'AS. Le coefficient de détermination entre le nombre et la masse de charbons est très faible ($R^2 = 0,0268$; statistique $t = 0,64$). Ainsi, pour une masse très faible de charbon, nous en avons un

nombre très important.

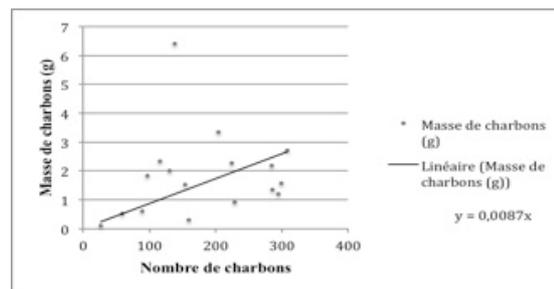


Figure 4. Masse de charbons (g) en fonction du nombre de charbons

3- Identification

Pour les sous-quadrats les plus riches en charbons, les résultats sont assez homogènes : dans les trois quadrats échantillonnés, nous avons identifié des charbons de pin maritime (*Pinus pinaster*). Pour les sous-quadrats les moins riches en charbons, en revanche, il y a plus de diversité spécifique. En effet, nous avons identifié un charbon de *P. pinaster* dans celui du quadrat 1, un charbon d'*Erica* sp. dans celui du 2, et un charbon d'*Arbutus unedo* dans celui du 3 (Tab. 1).

4- Abondance relative des espèces végétales actuelles

Dans les trois quadrats, une nette dominance de *P. pinaster* a été observée (Tab. 1). L'arbousier *A. unedo* était également abondant, sauf dans le quadrat 1 où il est absent. Il y avait également, dans chaque quadrat, une présence non négligeable d'autres espèces de la famille des Ericaceae (*Erica cinerea* et *E. arborea*), ainsi que de filaire (*Phillyrea angustifolia*). D'autres espèces végétales étaient présentes, telles que *Brachypodium retusum*, *Smilax aspera* et *Pteridium aquilinum*. Ces espèces ne sont pas ligneuses et ne rentrent donc pas en compte dans nos analyses.

DISCUSSION

1- Processus de fragmentation

Nous n'observons pas de corrélation linéaire entre le nombre de charbons et l'anthracomasse (Fig. 4). Pour une AS faible, nous observons un nombre très important de

charbons. Cela traduit un fort taux de fragmentation. Il apparaît donc plus judicieux d'utiliser la masse de charbons plutôt que le nombre de charbons comme unité de mesure afin de limiter les biais liés au phénomène de fragmentation.

Des facteurs biotiques et abiotiques peuvent être responsables de la fragmentation des charbons à la surface des sols. Le climat méditerranéen est un climat très perturbé, avec des étés chauds et secs, et des hivers froids. Les précipitations sont peu fréquentes, mais très violentes. Les facteurs environnementaux peuvent ainsi être une des causes essentielles de la fragmentation sur notre site d'étude. Compte tenu de la pente du terrain étudié, le ruissellement peut aussi être un important agents de fragmentation. Le vent peut aussi participer à la fragmentation, car la zone échantillonnée est fortement exposée au mistral, vent souvent violent, orienté nord-ouest à nord. Les causes biotiques sont considérées comme un peu moins importantes, car elles sont moins régulières, mais le passage des animaux (dont l'homme) favorise la fragmentation. Les vers de terre enfouissent et retournent les éléments du sol. De plus, ils ingèrent des charbons qu'ils remontent à la surface dans les turricules. D'autres espèces d'invertébrés, tels que les coléoptères, et de vertébrés, comme les sangliers, participent aussi à ce phénomène de fragmentation des charbons en les enfouissant et les remontant vers la surface du sol (Carcaillet & Talon, 1996). Les charbons se fragmentent d'autant plus qu'ils sont soumis aux aléas de la nature (Carcaillet & Talon, 1996). Le fort taux de fragmentation traduit donc ici une date de feu ancienne (2006).

2- Structuration de la biomasse

La représentation graphique de l'antracomasse montre des fluctuations spatiales des charbons (Fig. 2). Nous avons posé précédemment l'hypothèse d'une corrélation positive entre la taille de l'individu et la biomasse de charbons laissée par celui-ci après un incendie. Nous nous attendons donc à avoir des espèces de grande taille (arbres) telles que *P. pinaster* aux endroits de forte

antracomasse. Nos résultats sont conformes à nos attentes, puisque dans les trois quadrats, les charbons provenant du sous-quadrat ayant l'AS la plus importante sont issus de *P. pinaster*.

D'après Talon (1997) et Carcaillet & Talon (2001), les trois quadrats échantillonnés peuvent être considérés comme riches en charbons, et plus particulièrement le quadrat 3. Dans ce dernier quadrat, nous observons deux pics de concentration en charbons. Ces pics peuvent être interprétés comme les vestiges de plusieurs individus de forte masse, impliquant une biomasse conséquente par rapport aux autres quadrats. Cette interprétation est en corrélation avec nos observations concernant la végétation actuelle. En effet, nous avons identifié *P. pinaster* dans la zone d'AS la plus élevée, et *Arbutus unedo* dans la zone d'AS la plus faible. Ainsi, même dans la zone de plus faible AS, il y aurait eu un individu de taille moyenne, expliquant une antracomasse globale importante sur le quadrat 3.

Le quadrat 1 est quant à lui plutôt homogène en ce qui concerne la biomasse antracologique, mais nous observons une plus forte quantité de charbon au niveau de la souche. La souche carbonisée était relativement épaisse, elle peut donc être le vestige d'une souche d'espèce ligneuse de taille moyenne. De plus, nous pouvons observer que le sous-quadrat 1.1 contenant la souche est celle possédant la plus grande AS. Ceci permet donc de confirmer notre hypothèse initiale, à savoir qu'une forte masse de charbon correspond à une biomasse élevée.

Le quadrat 2 est très hétérogène, ce qui pourrait s'expliquer par une répartition moins homogène de la végétation pré-incendie que sur le quadrat 1. L'emplacement de la souche carbonisée ne montre pas une forte AS, ce qui peut s'expliquer par le fait que les charbons issus de la souche ont pu se disperser dans les sous-quadrats environnants. Une autre hypothèse serait que la souche était une espèce ligneuse de taille relativement plus petite que celle du quadrat 1.

Malgré leur différence d'homogénéité, les deux quadrats 1 et 2 ont une pédoantra-

comasse moyenne assez similaire. Sur le quadrat 1, nous avons identifié des charbons de *P. pinaster*, alors que la pédoanthracomasse était faible. Nous pouvons donc penser que l'individu présent à cet endroit était un individu jeune, de taille moyenne, et ne pouvant laisser que peu de charbons. Sur le quadrat 2, nous avons identifié un charbon provenant d'*Erica* sp., qui sont généralement des arbustes de petite taille. Ces résultats montrent que sur le quadrat 1, il y avait vraisemblablement plusieurs individus de taille moyenne, contrairement au quadrat 2, où un unique individu de grande taille devait dominer. Ainsi, nos résultats semblent corroborer l'hypothèse qu'il existe un lien étroit entre les zones de forte pédoanthracomasse et la présence pré-incendie d'individus de grande taille de *P. pinaster* ou *Arbutus unedo*.

Enfin, il y a également une corrélation entre les espèces présentes avant et celles présentes après l'incendie. Grâce à l'identification, nous savons que l'espèce la plus abondante avant le feu était le pin maritime. Or, cette espèce domine le paysage actuellement. Ceci peut être expliqué par le fait que le pin maritime est une espèce dont les cônes nécessitent une chaleur intense pour s'ouvrir. Il est de ce fait naturel de retrouver cette espèce dans les régions dont le climat est sec et chaud comme la région méditerranéenne. Il n'est donc pas étonnant de trouver de nombreux jeunes individus sur les zones ayant vécu un incendie récemment. Néanmoins, ces résultats concernant la végétation pré-incendie sont à nuancer à cause du faible nombre de charbons qui ont pu être identifiés.

CONCLUSION

Les incendies sont une des causes de perturbations majeures des écosystèmes forestiers. Les traces qu'ils laissent (charbons) permettent d'analyser la diversité de la végétation pré-incendie. Notre étude semble corroborer l'hypothèse d'une corrélation entre la taille de l'individu présent avant l'incendie et la biomasse laissée par celui-ci après l'incendie. Ainsi, il semble non seulement possible de déterminer la diversité de la

végétation incendiée, mais aussi d'estimer la biomasse ligneuse brûlée à partir des charbons. Notre attention s'est portée sur l'analyse des charbons de bois présents en surface nous donnant des indications sur l'incendie le plus récent (2006). Il serait intéressant d'étudier des charbons plus anciens, afin de voir si notre hypothèse se vérifie et comment le phénomène de fragmentation biaise les jeux de données. Il est également possible d'améliorer cette expérience en considérant certains biais. Par exemple, l'effet des souches carbonisées proches des quadrats considérés pourrait influencer les anthracomasses de nos quadrats. Il faudrait alors les répertorier afin d'évaluer leur impact sur les résultats. Nous avons également noté un biais dans la méthode de transport des charbons qui ne garantit pas l'intégrité des charbons et augmente leur fragmentation. Enfin, pour effectuer une étude plus exhaustive, il serait intéressant d'étudier une parcelle placée dans les conditions qui nous voulons tester. Ceci permettrait de réaliser un véritable suivi qui renseignerait sur la dynamique d'un paysage après incendie.

RÉFÉRENCES

- Bégin Y. & Marguerie D. (2002). Characterisation of tree macro-remains production in a recently burned conifer forest in northern Quebec, Canada. *Plant Ecology*, 159 : 143-152.
- Bellair P. & Pomerol C. (1984). *Éléments de géologie*. Armand Colin, Paris, 495 p.
- Carcaillet C. (1998). A spatially precise study of Holocene fire history, climate and human impact within the Maurienne valley, North French Alps. *Journal of Ecology*, 86 : 384-396.
- Carcaillet C. & Talon B. (1996). Aspect taphonomiques de la stratigraphie et de la datation de charbons de bois dans les sols : exemples de quelques sols des Alpes. *Géographie physique et Quaternaire*, 50 : 233-244.
- Carcaillet C. & Thinon M. (1996). Pedoanthracological contribution to the study of the

- evolution of the upper treeline in the Maurienne valley (North French Alps): methodology and preliminary data. *Review of Paleobotany and Palynology*, 91 : 399-416.
- Carcaillet C. & Talon B. (2001). Soil carbon sequestration by the Holocene fires inferred from soil charcoal in the dry French Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 33 : 282-288.
- Jacquot C. (1955). *Atlas d'anatomie des bois des conifères*. Centre technique du bois, Paris, 133 p.
- Jacquot C., Tranard Y. & Dirol D. (1973). *Atlas d'anatomie des bois d'Angiospermes (essences feuillues)*. Centre technique du bois, Paris, 175 p.
- Jackson S.T., Overpeck J.T., Webb T. III, Keatch S.E. & Anderson K.H. (1997). Mapped plant-macrofossil and pollen records of Late Quaternary vegetation change in eastern North America. *Quaternary Science Reviews*, 16 : 1-70.
- Talon B. (1997). *Evolution des zones supra-forestières des Alpes sud-occidentales au cours de l'Holocène, analyse pédoanthracologique*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille 3, 207 p.
- Thinon M. (1978). La pédoanthracologie : une nouvelle méthode d'analyse phytochronologique depuis le néolithique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, série D*, 287 : 1203-1206.
- Thinon M. (1992). *L'analyse pédoanthracologique, aspects méthodologiques et applications*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 317 p.
- Touflan P. & Talon B. (2008). Histoire et dynamique d'une forêt subalpine (alpes du sud, Queyras) en vue de la reconstitution des paysages du passé. *Paysage et environnement. De la reconstitution du passé aux modèles prospectifs*. In Galop D. (dir.), Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, pp. 171-183.
- Willis K.J. & Birks H.J.B. (2006). What is natural ? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation. *Science*, 314 : 1261-1265.

ASSEMBLAGES DES THECAMOEBIENS DES ZONES HUMIDES DE LA VALLEE DU GALEIZON

Estelle Minana¹, Amélie Mistral², Thibaut Valla³

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France

¹ estelle.minana@etud.univ-montp2.fr, ² amelie.mistral@etud.univ-montp2.fr,

³ thibaut.valla@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Laurent Brémond, France Oris

Résumé : Les thécamoebiens (Protozoa : Rhizopoda) constituent d'importants indicateurs environnementaux et paléoécologiques. La vallée du Galeizon présente des milieux humides qu'ils affectionnent particulièrement, permettant ainsi d'étudier leur distribution et de constituer une base de référence en contexte cévenol. Cette étude tend à confirmer que ces amibes forment des assemblages selon certains facteurs environnementaux, tels que l'humidité, le pH et la présence de sphaignes. Les groupes d'espèces correspondent bien aux différents types de milieux observés : milieux à sphaignes, mares temporaires, résurgences, eau courante. Les distributions apparaissent en revanche très variables, avec des espèces généralistes et spécialistes.

Mots-clés : Rhizopodes, milieux humides, distribution, variables environnementales, *Sphagnum*

Abstract : Testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) are important environmental and palaeoecological indicators. Galeizon valley presents wetlands likely to harbor some of them, and thus likely to allow studying their distribution and constructing a reference database for Cevennes. This study seems to confirm that testate amoebae form assemblages according to some environmental factors, such as moisture, pH and presence of *Sphagnum*. Groups of species correspond well to the different types of environments observed : *Sphagnum* community, temporary pools, resurgences and running waters. Distributions are very variable, with generalist and specialist species.

Keywords : Testate amoebae, wetlands, distribution, environmental variables, *Sphagnum*

Le Parc national des Cévennes, réparti sur trois départements au sud-est du Massif Central (Lozère, Ardèche et Gard), présente un patrimoine tant historique que biologique remarquable. La biodiversité, présente dans cette région, s'explique principalement par le fait qu'elle regroupe plusieurs zones géographiques et botaniques, ayant des caractéristiques distinctes. L'ensemble des facteurs environnementaux permet la création d'espaces naturels variables au sein du Parc, qui impliquent la coexistence

d'habitats différents, chacun caractérisé par une faune et une flore spécifique. Il faut cependant noter que cette variabilité remarquable est influencée par les activités anthropiques, passées et actuelles, en plus de ces facteurs environnementaux (Basset, 2010). Le classement des Cévennes, en tant que Parc national, implique l'étude, la protection et la valorisation de ce territoire. Également désigné comme réserve de biosphère par l'Unesco depuis 1985, le Parc doit concilier, de manière réfléchie et active, la conservation de la biodiversité, avec le développement économique et

social, et le maintien des valeurs culturelles (Jaffuel & Pin, 2006).

Afin de comprendre les dynamiques écologiques actuelles et leurs évolutions, il est nécessaire de comprendre les processus écologiques à plus long terme. La paléoécologie présente alors tout son intérêt. L'étude des paléoenvironnements permet de reconstituer un milieu et sa biodiversité, à un moment relativement précis de son histoire. Ce domaine interdisciplinaire met en jeu un grand nombre de ressources scientifiques dans le but de comprendre les événements passés.

Au sein des zones humides, des microorganismes unicellulaires, les thécamoebiens (Protozoa : Rhizopoda), représentent un outil intéressant en paléoécologie pour reconstituer les conditions hydrologiques passées dans les tourbières (Lamarre, 2011). Ces amibes à test, appelées plus communément rhizopodes, se développent en effet en milieu humides riches en matière organique. Dragesco (1980) expose le fait qu'elles sont également présentes dans les eaux douces libres et dans les pellicules d'eau à la surface des feuilles de Bryophytes. Les thécamoebiens produisent des tests relativement résistants, qui leur servent à s'enkyster si la quantité d'eau du milieu diminue. Dans des conditions favorables, ils s'hydratent et reprennent une activité normale (Dragesco, 1980). Ces tests étant spécifiques à chaque espèce, les distinctions taxonomiques sont basées sur leurs caractéristiques morphologiques (Booth & Sullivan, 2007).

Les travaux scientifiques portant sur ces assemblages de thécamoebiens étant encore peu développés, et à ce jour jamais envisagés en contexte cévenol, ce travail permettra d'apporter une référence en termes de distribution géographique. Cette étude vise à décrire les assemblages selon les milieux en fonction des conditions environnementales, notamment d'humidité

et de pH, dans la vallée du Galeizon, au sein du Parc des Cévennes. Leur évolution pourra ainsi être suivie si des nouveaux projets sont envisagés dans les années à venir.

MATERIEL ET METHODES

1- Présentation du site

La vallée du Galeizon correspond à un grand domaine forestier dominé par le pin maritime, le châtaignier et le chêne vert. Cette vallée présente une grande diversité de milieux, parmi lesquels se trouvent quelques zones humides. La flore des zones humides est particulièrement riche en espèces végétales non vasculaires. En l'absence d'inventaire exhaustif, les estimations permettent d'avancer que le Parc abrite jusqu'à 500 bryophytes – mousses et hépatiques – 1000 lichens, 1500 macromycètes et 4000 micromycètes (champignons) (Cevennes-parcnational.fr).

2- Échantillonnage

Sept milieux humides ont été échantillonnés entre le 26 et le 28 janvier 2012. 19 échantillons ont été prélevés (Fig. 1), afin d'échantillonner plusieurs types de milieux :

- des zones à sphaignes : les Planasses (PLA), la Fage (FAG), Moulinas (MOU) ;
- des mares temporaires : le Bourget (BOU), le Martinet (MAR) ;
- un milieu d'eau vive : le Thieure (THI) ;
- une résurgence : Drosera (DRO) ;

La présentation de chaque site est détaillée en Annexe 1. Plusieurs points d'échantillonnage ont été réalisés sur chaque site en prélevant à la main, sans quantité pré-définie, un assemblage de végétaux, sédiments et eau.

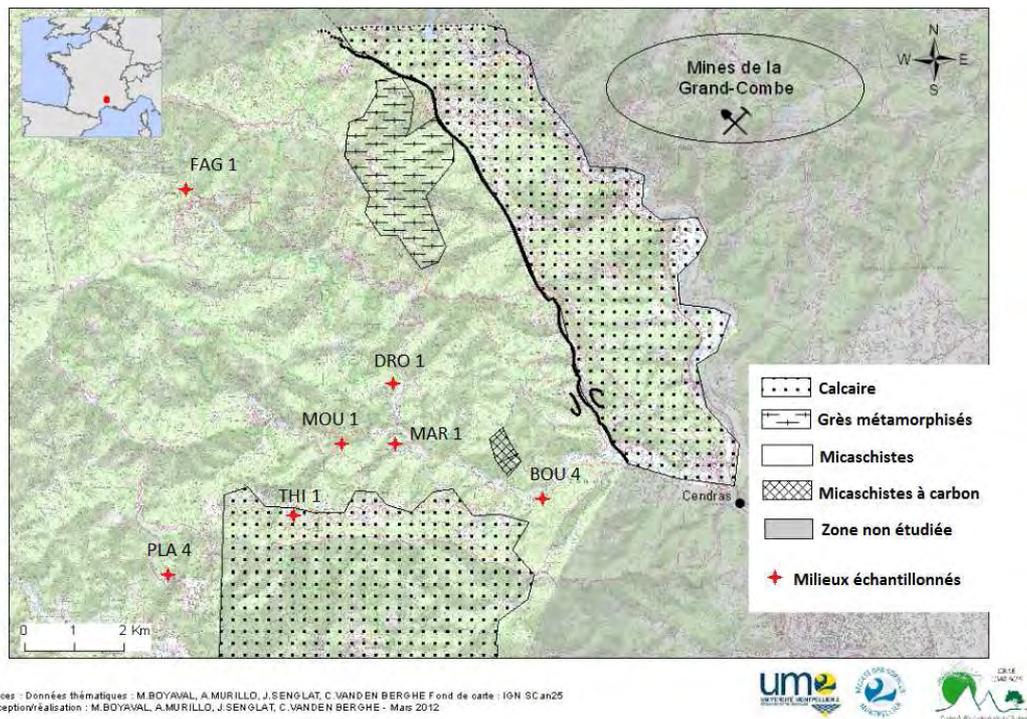


Figure 1. Carte géologique de la vallée de Galeizon et milieux échantillonnés

3- Extraction et analyse des rhizopodes

Un seul échantillon par milieu a été analysé. Il a été sélectionné en fonction de la probabilité qu'il contienne des thécamoebiens, sachant qu'ils affectionnent particulièrement les sphaignes (Mitchell et al., 2000). Les milieux n'en contenant pas ont été choisis aléatoirement. Le protocole d'extraction des thécamoebiens (Annexe 2) est basé sur celui de Hendon & Charman (1997) et Charman et al. (2000). Il n'a pas été ajouté les tablettes de *Lycopodium* : par conséquent, les concentrations de rhizopodes ne peuvent être estimées.

Les thécamoebiens extraits ont été placés entre lame et lamelle pour observation au microscope (objectif x40). Ils ont été identifiés à partir de la clé d'identification des thécamoebiens de Booth & Sullivan (2007). Le comptage s'est fait sur une base de 150 individus par site, ce qui permet *a priori* d'avoir une bonne représentation du milieu tout en gardant une précision statistique correcte (Payne & Mitchell, 2008).

4- Traitement des résultats

Les courbes de raréfaction du nombre de taxons de chaque milieu ont été tracées avec le logiciel Past. Elles permettent de voir si le comptage de 150 individus atteint un palier correspondant à une bonne description spécifique du milieu.

Un diagramme des assemblages des différents milieux a ensuite été réalisé à l'aide du logiciel Tilia (Grimm, 1992). Il permet de présenter la composition en thécamoebiens, ici exprimée en pourcentages. Seules les espèces représentant au moins 2 % de l'abondance totale y sont représentées.

Enfin, une analyse canonique des correspondances (ACC), effectuée à l'aide du package ADE4 sur le logiciel statistique R (Chessel et al., 1988), permet de vérifier une corrélation entre les assemblages de thécamoebiens et certaines variables environnementales (Table 1). Pour cette étude, les variables choisies sont le pH, mesuré en laboratoire, le type de sol (calcaire, schiste, argile), observé sur le terrain et confirmé sur carte géologique, et l'ouverture du milieu, classé selon trois catégories (ouvert : zone herbacée ou rocheuse ;

fermé : zone arbustive ; semi-ouvert : milieu intermédiaire).

Table 1. Variables environnementales pour les milieux échantillonnés

Milieux	pH	Types de sol	Milieu
PLA 4	6,53	Micaschiste	semi-ouvert
FAG 1	6,40	Micaschiste	fermé
MOU 1	5,85	Micaschiste	fermé
BOU 4	6,90	Micaschiste	ouvert
THI 1	7,49	Calcaire	fermé
DRO 1	6,17	Argile, schiste	ouvert
MAR 1	6,66	Micaschiste	ouvert

RESULTATS

Dans chaque milieu, 150 individus ont été dénombrés, sauf pour l'échantillon PLA pour lequel 164 thécamoebiens ont été comptés. 45 espèces, réparties dans 18 genres, ont été identifiées (Annexe 3).

Le graphique des courbes de raréfaction (Fig. 2) montre que les milieux échantillonnés n'atteignent pas le palier correspondant à une bonne description spécifique du milieu. Ceci signifie que le nombre de thécamoebiens compté n'est pas suffisant pour observer la biodiversité réelle des milieux.

MAR, PLA, MOU et FAG présentent cependant des courbes relativement satisfaisantes.

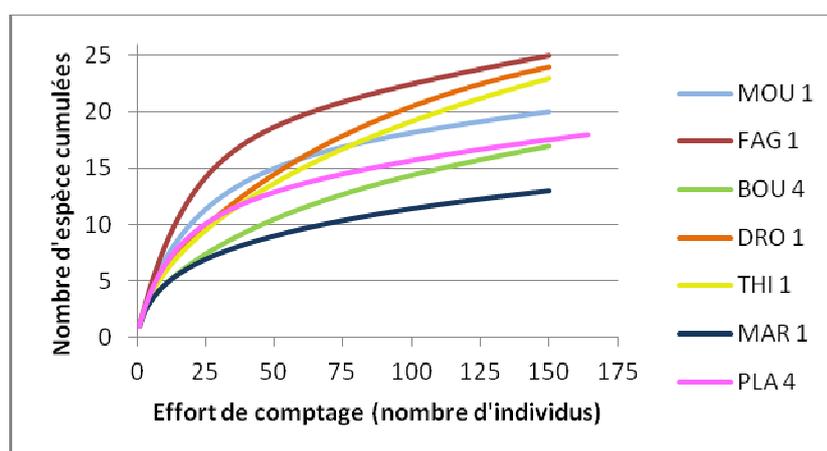


Figure 2. Courbes de raréfaction des différents milieux échantillonnés

Le diagramme d'abondance des thécamoebiens (Fig. 3) présente les assemblages des milieux échantillonnés. Ils sont caractérisés par un nombre variable de taxons, avec des abondances différentes. Dans le cas de FAG 1, il y a plus de 20 taxons différents, qui présentent des abondances relativement faibles. En revanche, seuls 11 taxons ont été identifiés dans MAR 1, avec *Arcella discoïdes* qui représente plus de 40 %. Certains taxons semblent être ubiquistes : c'est par exemple le cas de *Cyclopyxis arcelloïdes*, qui est présente dans tous les milieux à plus de 5 %. D'autres semblent en revanche être spécifiques d'un milieu : c'est par exemple le cas de *Diffflugia pristin*

retrouvée uniquement dans THI 1.

La Figure 4 présente les espèces de thécamoebiens (a), les milieux projetés (b), la position des variables environnementales de l'ACC (c) et les pourcentages d'explication des axes (d). La Table 2 présente la participation des différentes variables environnementales à la réalisation des axes 1 et 2. Le choix de deux axes sur trois a été réalisé après étude des trois appariements possibles, de manière à choisir celui qui explique le mieux la répartition des thécamoebiens. On peut voir que l'axe 1 est corrélé avec la variable *Ouverture du milieu* (0.86). L'axe 2 est, quant à lui, corrélé aux variables *Sol* et *pH* (respectivement 0.94 et 0.69).

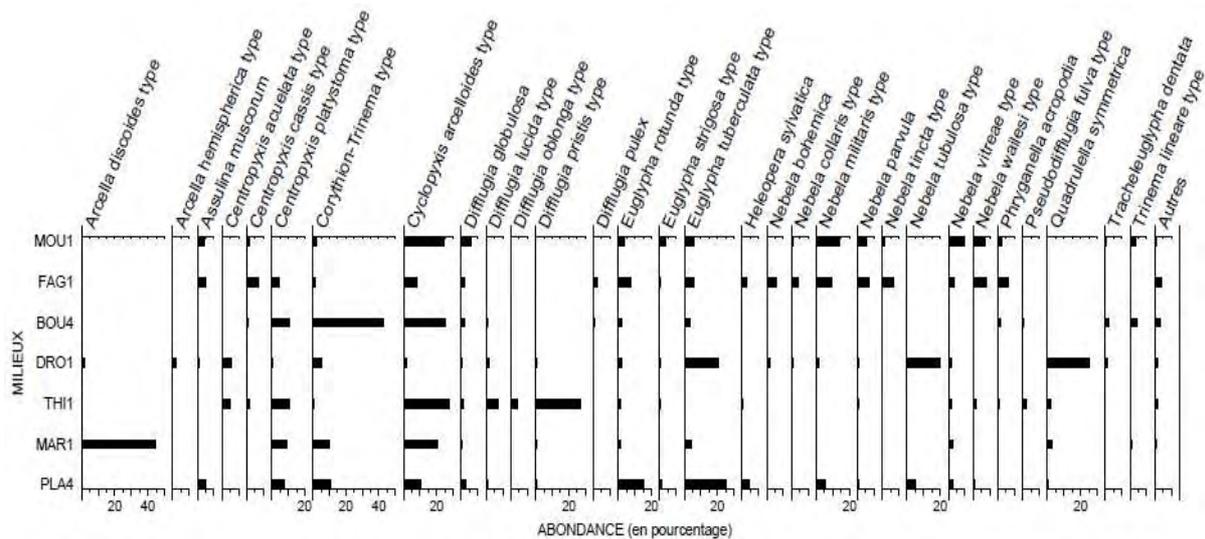


Figure 3. Représentation (en %) des thécamoebiens dans les différents milieux. Les taxons dont l'abondance ne dépasse pas 2 % sont réunis dans la catégorie « Autres ».

On distingue en outre plusieurs zones sur la Figure 4 (b). Les milieux MOU 1, FAG 1 et PLA 4 sont proches et associés au pH et au type de sol. Les milieux BOU 4 et MAR 1, correspondant aux mares temporaires, forment eux-aussi un groupe associé à l'ouverture du milieu. Alors que DRO 1 et THI 1, milieu de résurgence et d'eau courante, sont très éloignés des autres et l'un de l'autre.

A ces différents regroupements de milieux, on peut associer des assemblages de thécamoebiens :

- Dans les milieux MOU 1, FAG 1 et PLA 4, contenant des sphaignes, on trouve *Assulina muscorum*, *Centropyxis cassis*-type, *C. platystoma*-type, *Diffugia globulosa*, *D. pulex*, *Euglypha rotunda*-type, *E. strigosa*-type, *Heleopera sylvatica*, *Nebela bohemica*, *N. collaris*-type, *N. militaris*-type,

N. parvula, *N. tinctoria*-type, *N. vitreae*-type, *N. wailesi*-type et *Phryganella acropodia*.

- Dans les milieux BOU 4 et MAR 1, on trouve *Arcella discoïdes*-type, *Corythion-Trinema*-type, *Euglypha tuberculata* et *Tracheleuglypha dentata*.
- Dans THI 1, on trouve *Diffugia lucida*-type, *D. oblonga*-type, *D. pristis*-type et *Pseudodiffugia fulva*-type.
- Enfin, dans DRO 1, on trouve *Arcella hemispherica*-type, *Nebela tubulosa*-type et *Quadrullella symmetrica*.

Par contre, *Cyclopyxis arcelloïdes*-type n'est pas dans un regroupement et se situe à l'intersection des axes de l'ACC. Elle n'est donc pas caractéristique d'un type de milieu et peut être considérée comme ubiquiste.

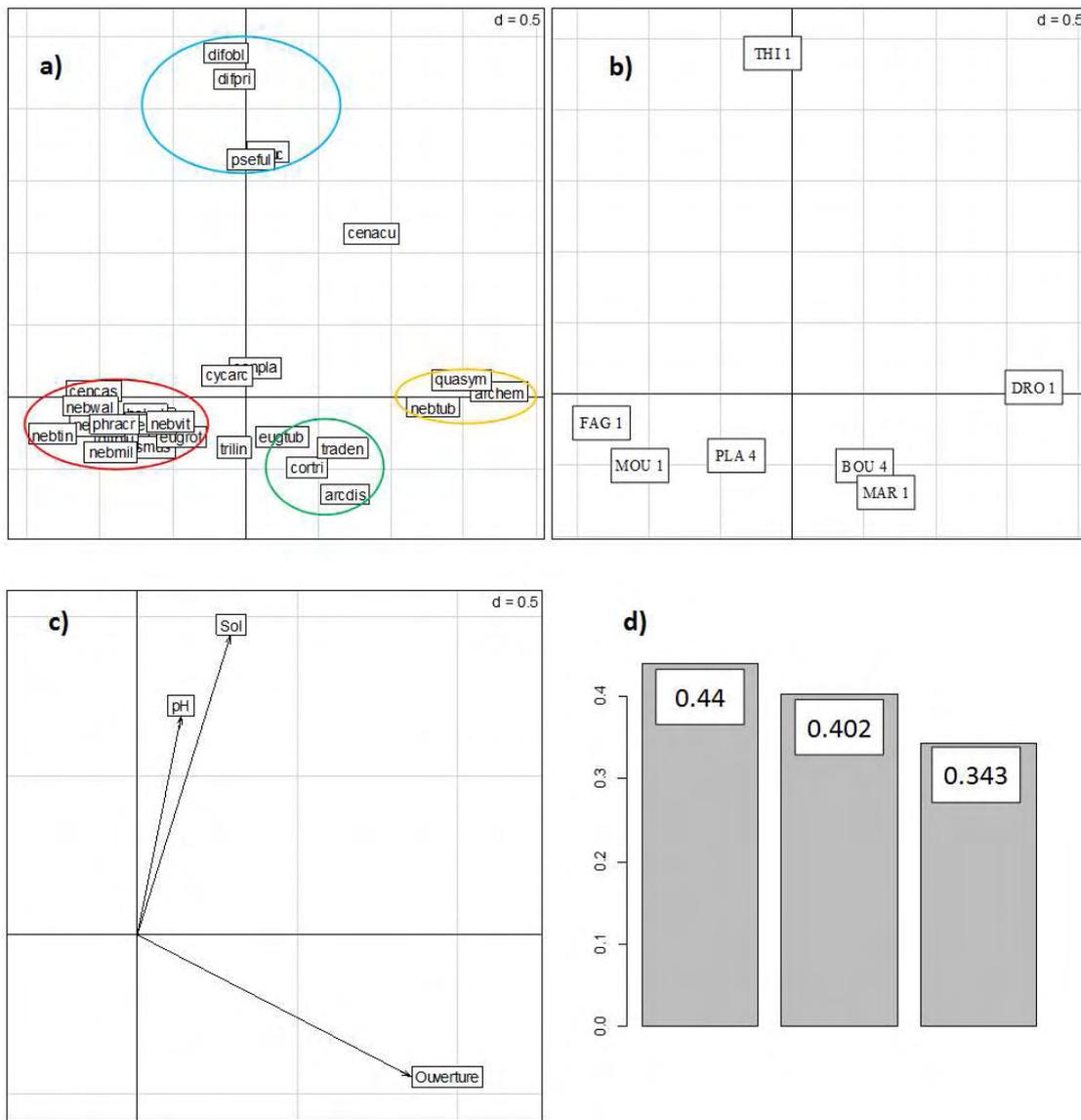


Figure 4. Analyse Canonique des Correspondances des différents milieux. a) thécamoebiens ; b) positionnement des sites ; c) variables environnementales ; d) pourcentages d'explication des axes. Les taxons sont nommés comme suit : arcdis, *Arcella discoïdes*-type ; archem, *Arcella hemispherica*-type ; assmus, *Assulina muscorum* ; cenacu, *Centropyxis aculeata*-type ; cencas, *Centropyxis cassis*-type ; cenpla, *Centropyxis platystoma*-type ; cortri, *Corythion-Trinema*-type ; cycarc, *Cyclopyxis arcelloides*-type ; difglo, *Diffflugia globulosa* ; difluc, *Diffflugia lucida*-type ; difobl, *Diffflugia oblonga*-type ; difpri, *Diffflugia pristis*-type ; difpul, *Diffflugia pulex* ; eugrot, *Euglypha rotunda*-type ; eugstri, *Euglypha strigosa*-type ; eugtub, *Euglypha tuberculata*-type ; helsyl, *Heleopera sylvatica* ; nebboh, *Nebela bohémica* ; nebcoll, *Nebela collaris*-type ; nebmil, *Nebela militaris*-type ; nebpav, *Nebela parvula* ; nebtin, *Nebela tincta*-type ; nebtub, *Nebela tubulosa*-type ; nebvai, *Nebela vitreae*-type ; nebwai, *Nebela wailesi*-type ; phracr, *Phryganella acropodia* ; psetul, *Pseudodifflugia fulva*-type ; quasym, *Quadrullella symmetrica* ; traden, *Tracheleuglypha dentata* ; triilin, *Trinema lineare*-type. Les cercles, figure a), représentent des assemblages d'espèces.

Table 2. Contribution des variables environnementales à la formation des axes 1 et 2

	Axe 1	Axe 2
Ouverture	0.8558670	-0.4464084
Sol	0.2914822	0.9434986
pH	0.1369579	0.6881991

DISCUSSION

Il faut tout d'abord noter que cette étude présente certains biais à prendre en compte lors des interprétations. En effet, les comptages étant réalisés par trois expérimentateurs, l'identification des thécamoebiens a pu être biaisée. Pour minimiser cet effet, les trois personnes ont participé au dénombrement de chaque milieu échantillonné. Des études récentes montrent en outre que les facteurs environnementaux abiotiques et biotiques affectent la morphologie de la coquille (Mitchell et al., 2008). D'autre part, les thécamoebiens sont caractérisés par un degré élevé de variabilité morphologique à la fois entre et au sein des populations (Bobrov & Mazei, 2004). Une telle variabilité peut affecter les identifications.

1- Concentration en thécamoebiens et richesse spécifique des milieux

Aucune tablette de *Lycopodium* permettant d'estimer la concentration en thécamoebiens n'ayant été utilisée, la concentration en thécamoebiens ne peut être estimée qu'en fonction du nombre de lames comptées pour atteindre 150 individus. Un milieu nécessitant plus de lames qu'un autre présente forcément une concentration plus faible, mais l'écart réel ne peut être calculé.

D'ailleurs, ce seuil de comptage fixé à 150 individus a été sous-estimé. Payne & Mitchell (2008) avaient effectivement expliqué que cette valeur suffisait pour obtenir une représentation satisfaisante de la diversité tout en gardant une précision statistique correcte. Cependant, lors de cette étude, il est apparu qu'il était nécessaire d'augmenter ce seuil. L'échantillon PLA 4, dans lequel 164 individus ont été dénombrés, fait d'ailleurs partie de ceux présentant une courbe de raréfaction correcte (Fig. 2), ce qui tend à prouver qu'en augmentant le nombre de comptage, la biodiversité de chaque milieu est mieux représentée. De plus, Schönborn (1962) explique que la température provoque la réduction du temps de

génération. Etant donné que les échantillons ont été prélevés au mois de janvier, dans des conditions de faible température, le nombre d'individus trouvés dans les milieux est donc probablement minimal.

2- Hydrologie et thécamoebiens

L'humidité constitue le facteur principal de répartition des amibes, puisque la quantité d'eau présente dans un milieu représente l'espace de développement des individus. D'après certaines études (par exemple, Tolonen et al., 1992), les tests aplatis et de petites tailles peuvent coloniser des espaces plus petits, avec une faible épaisseur d'eau : *Arcella discoides*, essentiellement présente dans la mare de MAR 1, est un disque circulaire aplati, d'un diamètre inférieur à 100 μm . Ce milieu, étant dépendant des précipitations, peut fréquemment voir son taux d'humidité diminuer. D'après sa taille et sa forme relativement petites, cette espèce d'*Arcella* serait donc adaptée à une humidité variable. Par contre, *Nebela tubulosa*, essentiellement observée dans la résurgence DRO 1, correspond à une amibe de longueur supérieure à 175 μm . Son développement nécessite donc une forte humidité, que l'on retrouve bien dans DRO 1.

Cependant, la morphologie des thécamoebiens n'est pas toujours forcément liée à l'humidité. En effet, dans cette étude, une espèce comme *Centropyxis aculeata*, proche de 75 μm , apparaît principalement dans DRO 1 et THI 1. Ces milieux contiennent théoriquement une grande quantité d'eau, et donc une forte humidité pour un thécamoebien de petite taille. D'ailleurs, certaines études (Tolonen et al., 1992), qui comparent les préférences hydrologiques entre espèces, caractérisent ce *Centropyxis* comme l'une des espèces appréciant le plus les milieux humides.

Ainsi, les taux d'humidité distincts entre les milieux est en partie à l'origine des différents assemblages de thécamoebiens. Sur la Figure 4b, les milieux apparaissent relativement éloignés, sauf BOU 1 et MAR

1 très proches l'un de l'autre. Cette proximité peut s'expliquer par le fait qu'ils ont tout deux une quantité d'eau très variable.

3- Végétation, pH et thécamoebiens

Meisterfeld (1977) a montré que dans les communautés de sphaignes, la lumière et l'oxygène sont des facteurs importants du milieu de vie des thécamoebiens. En effet, les tapis de sphaignes interceptent la lumière arrivant à la surface. Les sphaignes échantillonnées ne s'étant accumulées que sur quelques centimètres d'épaisseur, les assemblages représentent seulement la couche superficielle des milieux, avec des variations de lumière et d'oxygène probablement faibles.

Les sphaignes constituent des milieux riches en thécamoebiens (Mitchell et al., 2000), ce que l'étude montre effectivement à travers la Figure 4a. Par exemple, l'espèce *Nebela tinctoria*, décrite par Chardez (1965) comme très commune dans les mousses et l'humus, est observée dans les milieux MOU 1 et FAG 1 correspondant aux milieux à sphaignes. D'après Van Breemen (1995), les sphaignes se développent préférentiellement dans les milieux acides. Les milieux PLA 4, MOU 1 et FAG 1 sont effectivement parmi les plus acides et sont composés de sphaignes.

Mieczan (2007) a étudié les préférences d'habitat et a déterminé que certains taxons comme *Assulina* et *Euglypha* présentent des préférences pour un faible pH. *Assulina muscorum*, seule espèce représentée du genre *Assulina*, est uniquement présente dans les milieux ayant les pH les plus faibles. L'observation est identique pour les espèces du taxon *Euglypha*, présentes en plus faible abondance dans les milieux à pH élevés. On retrouve l'ensemble de ces espèces, hormis *Euglypha tuberculata*, dans le groupe associé aux milieux de sphaignes (Fig. 4a).

Les axes des variables *Sol* et *pH* sont orientés dans la même direction, ce qui est cohérent car le sol régit le pH du milieu.

La composition des milieux en thécamoebiens étant fonction du pH, qui favorise directement ou indirectement la présence de sphaignes, le sol va donc influencer la diversité des thécamoebiens.

Finalement, même s'il a été démontré que les thécamoebiens sont sensibles aux microvariations au sein d'un habitat et aux macrovariations entre différentes régions géographiques (Mitchell et al., 1999), les données de cette étude montrent une capacité d'adaptation relativement élevée. En effet, les dénombrements réalisés présentent un nombre important d'espèces identifiées, avec 45 espèces observées sur près de 80 actuellement référencées. Cela peut s'expliquer par le fait que certaines soient cosmopolites, et d'autres spécifiques à certaines caractéristiques de milieu. Wilkinson (2001) suggère d'ailleurs que les petites espèces peuvent être passivement transportées sur de longues distances, alors que ceci serait impossible pour les plus grandes. De même, les différences de répartition entre espèces peuvent présenter un lien avec leurs habitats : les espèces vivant plus en surface sont susceptibles d'être transportées plus facilement.

CONCLUSIONS

Afin d'améliorer cette étude, il serait intéressant d'augmenter le nombre d'échantillonnages des différents types de milieu. Ajouter des milieux tourbeux, que les thécamoebiens affectionnent particulièrement, permettrait d'obtenir de nouveaux types de milieu et d'avoir des milieux plus représentatifs (Cubizolle & Sacca, 2004). D'autre part, les relations entre assemblages et gradients environnementaux étant aussi connues pour la végétation (Glaser et al, 1990), il pourrait être intéressant d'associer les relevés botaniques des zones échantillonnées en tant que variables supplémentaires.

Cette étude a permis de mettre en évidence que l'humidité, le pH et la présence de sphaignes dans un milieu vont impacter la composition de celui-ci en termes de richesse spécifique et d'abondance en

thécamoebiens. Cela est dû à l'affinité et aux caractéristiques physiologiques qu'ont les taxons ou les espèces avec les différentes variables environnementales. Il existe également d'autres facteurs, tels que la quantité de carbone et d'azote, qui affectent les thécamoebiens et seraient donc à prendre en considération (Martini et al., 2006). Ainsi, malgré ces préférences, un grand nombre de taxons sont cosmopolites et se retrouvent dans l'ensemble des milieux.

D'autres études sur ces sites pourraient ainsi permettre d'approfondir la question de l'assemblage des thécamoebiens selon les différentes variables environnementales. En suivant cette démarche sur plusieurs années on pourrait suivre l'évolution des sites au cours du temps et ainsi reconstituer leur dynamique.

REFERENCES

- Basset K.L. (2010). *Aux origines du parc national des Cévennes : des précurseurs à la création le 2 septembre 1970*. Parc national des Cévennes, 247 p.
- Bobrov A.A. & Mazei Y. (2004). Morphological variability of testate amoebae (Rhizopoda: Testacealobosea: Testaceafilosea) in natural populations. *Acta Protozoologica*, 43 : 133-146.
- Booth R.K. & Sullivan M.E. (2007). *Key to testate amoebae inhabiting Sphagnum-dominated peatlands with emphasis on taxa preserved in Holocene sediments*, Rapport interne faisant suite à l'atelier «A workshop focused on testate amoebae identification, ecology, and their use in paleoenvironmental reconstruction », vol. 7, Université du Québec à Montréal, Montréal, 35 p.
- Chardez D. (1965). Ecologie générale des thécamoebiens (Rhizopoda, Testacea). *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux*, 33 : 307-341.
- Charman D.J., Hendon D. & Woodland W.A (2000). *The identification of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in peats*. Technical Guide no 9, Quaternary Research Association, 147 p.
- Chessel D., Lebreton J.D., Prodon R. & Yoccoz N. (1988). L'analyse des relations espèces-milieu par l'analyse canonique des correspondances. *Acta Oecologica*, 9 : 53-67.
- Cubizolle H. & Sacca (2004). La conservation des tourbières : enjeux patrimoniaux, modalités de gestion et jeux d'acteurs. *La conservation des tourbières*, 79 : 266-344.
- Dragesco J. (1980). Les protozoaires. In : J.R. Durand et C. Levêque (éds), *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne*. Coll. Initiations-Documentations Tech., ORSTOM, Paris, pp. 153-192.
- Glaser P.H., Janssens J.A. & Siegel D.I. (1990). The response of vegetation to chemical and hydrological gradients in the lost river peatland, northern Minnesota. *Journal of Ecology*, 78 : 1021-1048.
- Grimm E.C. (1992). *TILIA/TILIA graph. Version 1.2*. Illinois state Museum, Springfield, Illinois.
- Hendon D. & Charman D.J. (1997). The preparation of testate amoebae (Protozoa : Rhizopoda) samples from peat. *The Holocene*, 7 : 199-205.
- Jaffuel R. & Pin M. (2006). La Charte européenne du tourisme durable dans le Parc national et réserve de biosphère des Cévennes (France) : La rencontre entre un concept et un territoire. In : C. Gagnon et S. Gagnon (eds.), *L'écotourisme, entre l'arbre et l'écorce : de la conservation au développement viable des territoires*. Presses de l'Université du Québec, Québec, pp. 211-227.
- Lammare A. (2011). *Développement d'une fonction de transfert au moyen des thécamoebiens et reconstitution des conditions paléoenvironnementales holocènes d'une tourbière à pelses, Kuujjuarapik, Québec nordique*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, 116 p.

- Martini I.P., Martinez Coltizas A. & Chesworth W. (2006). *Peatlands : evolution and records of environmental and climate changes*. Coll. "Developments in Earth surface processes series" no 9, Elsevier, Amsterdam, 588 p.
- Meisterfeld R. (1977). Die horizontale und vertikale Verteilung der Testaceen (Rhizopoda: Testacea) in *Sphagnum*. *Archiv für Hydrobiologia*, 79: 319-356.
- Mieczan T. (2007). Epiphytic protozoa (testate amoebae and ciliates) associated with *Sphagnum* in peat-bogs: Relationship to chemical parameters. *Polish Journal of Ecology*, 55 : 79-90.
- Mitchell E.A.D., Buttler A.J., Warner B.G. & Gobat J.M. (1999). Ecology of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in *Sphagnum* peatlands in the Jura mountains, Switzerland and France. *Ecoscience*, 6 : 565-576.
- Mitchell E.A.D., Buttler A., Grosvernier P., Rydin H., Albinsson C., Greenup A.L., Heijmans M.M.P.D., Hoosbeck M.R. & Saarinen T. (2000). Relationships among testate amoebae (Protozoa), vegetation and water chemistry in five *Sphagnum*-dominated peatlands in Europe. *New Phytologist*, 145 : 95-106.
- Mitchell E.A.D., Charman D.J. & Warner B.G. (2008). Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future. *Biodiversity and Conservation*, 17 : 2115-2137.
- Payne R.J. & Mitchell E.A.D. (2008). How many is enough? Determining optimal count totals for ecological and palaeoecological studies of testate amoebae. *Journal of Paleolimnology*, 42 : 483-495.
- Schönborn W. (1962). Zur Ökologie der sphagnicolen, bryokolen un terrikolen Testaceen. *Limnologica*, 1 : 231-254.
- Tolonen K., Warner B.G. & Vasander H. (1992). Ecology of testaceans (Protozoa, Rhizopoda) in mires in Southern Finland. Autecology. *Arch Protistenkd*, 142 : 119-138.
- Van Breemen N. (1995). How *Sphagnum* bogs down other plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 10 : 270-275.
- Wilkinson D.M. (2001). What is the upper size limit for cosmopolitan distribution in free-living microorganisms? *Journal of Biogeography*, 28 : 285-291.

ANNEXES

Annexe 1 : Présentation des sites. Le pH a été mesuré sur le terrain (pH_T) et au laboratoire (pH_L).

Ruisseau de la Fage : FAG 1

Végétation : *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Sphagnum auriculatum*.

pH_T : 5-6 ; pH_L : 6,40

Surface du prélèvement : 4 m²

Station Droséra : DRO 1

Végétation : *Calluna vulgaris*, *Carex flacca*, *Castanea sativa*, *Cistus* spp., *Erica arborea*, *E. cinerea*, *E. scoparia*, *Eupatorium cannabinum*, *Genista pilosa*, *Juncus bulbosus*, *J. effusus*, *Molinia caerulea*, *Pinus pinaster*, *Pteridium aquilinum*, *Succisa pratensis*.

pH_T : 5 ; pH_L : 6,17

Surface : 4 m²

Particularité : eau trouble provenant de suintements entre des couches perméable et imperméable.

Le Bourget : BOU 4

Végétation : *Cynodon dactylon*, *Cyperus longus*, *Dactylis glomerata*, *Linum angustifolium*, *Oenothera biennis*, *Ranunculus sardous*, *Sedum rupestre*.

pH_T : 6 ; pH_L : 6,90

Surface : 2 m²

Particularité : mare temporaire cupulaire liée à la présence de roche affleurante.

Source de Moulinas : MOU 1

Végétation (versant nord d'une châtaigneraie) : *Agrostis capillaris*, *Arbutus unedo*, *Calluna vulgaris*, *Erica scoparia*, *Ilex aquifolium*, *Juniperus communis*, *Lonicera peryclimenum*, *Pinus pinaster*, *Polytrichastrum formosum*, *Quercus ilex*, *Rubus* sp., *Sorbus aria*, *Sphagnum subnitens*, *Teucrium scorodonia*.

pH_T : 5 ; pH_L : 5,85

Surface : 4 m²

Le Thieure : THI 1

Végétation : *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Rubus* sp.

pH_T : 7 ; pH_L : 7,49

Surface : 0,2 m²

Particularité : prélèvement sur un muret

Le Martinet : MAR 1

Végétation : *Alnus glutinosa*, *Bambusa* sp., *Castanea sativa*, *Celtis australis*, *Corylus avellana*, *Populus nigra*, *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Robinia pseudoacacia*, *Salix* sp.

pH_T : 6 ; pH_L : 6,66

Surface : 1,5 m² ; profondeur : 10 cm

Particularité : flaque, dans un lit de rivière

Les Planasses : PLA 4

Végétation : *Calluna vulgaris*, *Centaurea pectinata*, *Danthonia decumbens*, *Erica scoparia*, *Juniperus communis*, *Nardus stricta*, *Pinus nigra*, *P. pinaster*, *P. sylvestris*, *Polytrichastrum formosum*, *Sphagnum auriculatum*

pH_T : 5 ; pH_L : 6,53

Surface : 0,5 m²

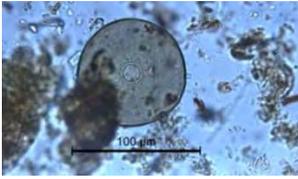
Annexe 2 : Protocole d'extraction des thécamoebiens

Ce protocole, inspiré de celui de [Hendon & Charman \(1997\)](#) et [Charman et al. \(2000\)](#), s'applique pour des échantillons comprenant des sédiments ainsi que des végétaux.

- 1) Tamiser le mélange entre 250 et 10 μm afin de garder que les organismes ou les éléments compris entre ces tailles ;
- 2) Centrifuger 5 mn à 3000 tours/mn ;
- 3) Enlever le surnageant ;
- 4) Rajouter deux gouttes de safranine afin de colorer l'échantillon ;
- 5) Le rincer à l'eau distillée, le centrifuger à nouveau et enlever le surnageant ;
- 6) Prendre une lame, mettre quelques gouttes de la préparation avec une goutte de glycérol ;
- 7) S'assurer que tout le matériel est bien rincé à l'eau distillée entre chaque échantillon afin d'éviter une contamination entre ceux-ci.

ANNEXE 3 – Photographies de certains thécamoebiens recensés dans l'étude

ARCELLA



A. catinus-type



A. crenulata-type



A. discoides-type



A. hemispherica-type

ASSULINA



Assulina muscorum

CENTROPYXIS



C. aculeata-type



C. platystoma-type

CORYTHION-TRINEMA



Trinema/Corythion

CYCLOPYXIS

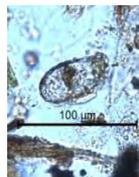


Cyclopyxis arcelloides-type

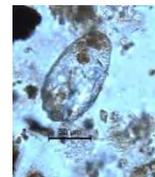
DIFFLUGIA



Diffflugia globulosa



Diffflugia pristis-type

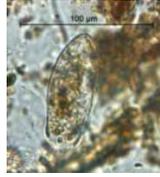


Diffflugia lucida-type

EUGLYPHA



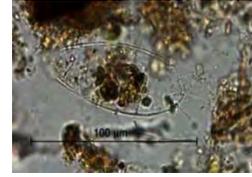
E. rotunda-type



E. strigosa-type

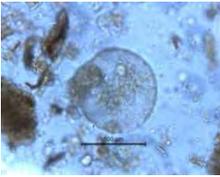


E. tuberculata-type



E. cristata

LESQUEREUSIA



Lesquereusia spiralis

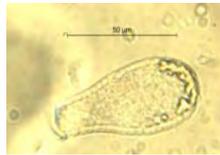
NEBELA



Nebela bohémica



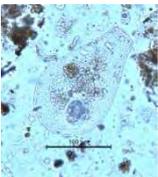
Nebela collaris



Nebela militaris



Nebela parvula



Nebela wailesi



Nebela tubulosa

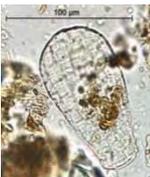


Nebela vitraea



Nebela tinctoria

QUADRULELLA



Quadrulella symmetrica

ETUDE ANTHRACOLOGIQUE D'UN SONDAGE DE LA COUVERTURE SEDIMENTAIRE DU TUMULUS DU SIGNAL DE LA LICHÈRE (HAUTE VALLEE DU GALEIZON, LOZERE, FRANCE) : ELEMENTS DE COMPARAISON ENTRE PAYSAGE ACTUEL ET VEGETATION PASSEE

Aude Courgeon ¹, Anne-Hélène Pierre ², Andréa Theil ³

*Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

¹ aude.courgeon@etud.univ-montp2.fr, ² annehelene.pierre@etud.univ-montp2.fr,

³ andrea.theil@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Jean-Frédéric Terral, Christian Anton – Lucie Chabal, Philippe Poirier (anthracologie)

Résumé : Parmi les approches paléoenvironnementales qui permettent de saisir les transformations du couvert végétal, l'anthracologie tente de reconstituer une image (de locale à régionale) des végétations passées à partir de l'identification taxonomique de restes carbonisés prélevés en contexte sédimentaire naturel ou en contexte archéologique. La méthode de l'anthraco-analyse a été appliquée à des charbons de bois mis au jour lors d'un sondage réalisé dans la couverture sédimentaire du *Tumulus* de la Lichère (Cévennes, France) à différentes profondeurs. Bien que l'on ne puisse considérer le sondage comme une séquence stratigraphique et l'étude comme une approche diachronique, les résultats font état sur la base de faibles effectifs, des variations antagonistes des fréquences en chêne à feuillage caduc (*Quercus f.c.*) et en bruyère (*Erica type arborea*). Ces variations pourraient traduire l'ouverture et la dégradation progressive d'une chênaie méso-supraméditerranéenne et l'installation concomitante d'une lande à bruyères répondant à une dynamique écologique régie essentiellement par des contraintes anthropiques (pastoralisme ou incendies).

Mots-clés : Anthracologie, action anthropique, *tumulus*, vallée du Galeizon, végétations

Abstract : Among palaeoenvironmental approaches allowing to apprehend changes in vegetation cover, anthracology (or charcoal analysis) attempts to reconstruct ancient vegetations (from local to regional) on the basis of the identification of charred wood remains recovered from natural sedimentary or archaeological contexts. Anthracological method was applied to charred wood remains excavated at different depths from the survey of the sediment mound of a *Tumulus* (Signal de la Lichère, Cévennes region, France). Although we cannot consider the survey as a stratigraphic sequence and the study as a diachronic approach, the results based on a small number of samples show antagonist variations in frequency of deciduous oak and heather (*Erica type arborea*). These variations may reflect the opening and the gradual degradation of a meso-supramediterranean oak woodland and concomitantly, the installation of a heath matching to an ecological dynamic governed mostly by anthropogenic factors (grazing or fire).

Keywords : Anthracology (charcoal analysis), human influence, palaeoenvironment, *tumulus*, Galeizon valley

Les études paléoenvironnementales permettent de reconstituer l'histoire des écosystèmes passés et de cibler les facteurs écologiques, abiotiques et/ou biotiques, responsables des changements de végétation. Pour ce faire, plusieurs stratégies méthodologiques propres à différents domaines disciplinaires peuvent être mises en

application (Bourquin-Mignot et al., 1999). L'une d'entre elles, l'anthracologie ou anthraco-analyse (Chabal, 1997) a été mise en œuvre à partir d'un corpus de charbons de bois mis au jour lors d'un sondage préliminaire réalisé en janvier 2012 dans la couverture sédimentaire d'un *tumulus* situé près du Signal de la Lichère, au nord de la vallée du Galeizon (Gard, France) (Fig. 1).

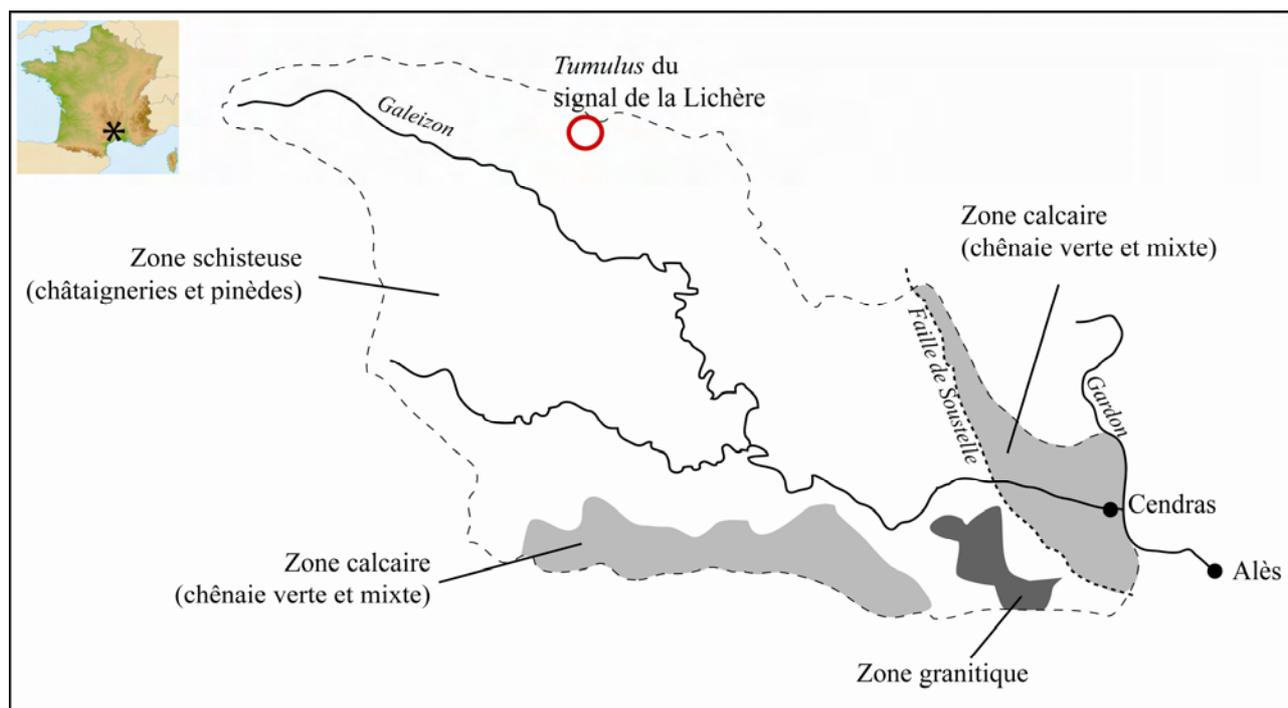


Figure 1. Localisation du site d'étude dans le contexte géologique et phytogéographique de la vallée du Galeizon

Le Bassin versant du Galeizon, d'orientation Nord-ouest / Sud-est, couvre une surface d'environ 8800 ha. Cette vallée est située au Nord-Ouest de la ville d'Alès (Gard). Elle correspond au territoire partagé entre les communes de Cendras, Soustelle, Saint Paul La Coste, Lamelouze et St Martin-de-Boubaux réparties sur deux départements : le Gard et la Lozère. La vallée du Galeizon est composée pour l'essentiel de deux unités dont la géologie structure la végétation (Fig. 1 ; Boyaval et al., 2013) : une unité schisteuse en amont, caractérisée à basse altitude par le chêne vert (*Quercus ilex*), des boisements à pins (pin maritime, *Pinus pinaster*, majoritairement) et le châtaignier (*Castanea sativa*) dans les zones plus élevées de la

vallée (étage bioclimatique méso-supraméditerranéen) et une unité cévenole calcaire en aval, dominée par un matorral à chêne vert et ponctuellement une chênaie mixte (chêne vert / chêne pubescent, *Quercus pubescens*). Ces unités, séparées par la faille géologique de Soustelle (ou de la Croix des Vents) orientée Nord - Nord-ouest / Sud - Sud-est, constituent respectivement 85 % et 15 % du bassin versant. Outre le contexte géologique, d'autres facteurs sont responsables de l'appauvrissement et de l'homogénéisation des ceintures végétales.

A partir de données récoltées sur le terrain et du travail bibliographique réalisé, cet article tente d'aborder les grandes lignes de la modification du paysage dans la vallée du

Galeizon. Ce territoire est occupé par l'Homme depuis près de 6000 ans, comme en témoignent le grand nombre de vestiges archéologiques recensés dans la région (Dedet & Gauthey, 1994 ; Anton, 2010), notamment des sites funéraires et des roches gravées (Fig. 2).

Un sondage a été réalisé dans une butte recouvrant entièrement le *Tumulus* de la Lichère dont la fouille archéologique n'a pas encore été réalisée (Fig. 3). Les charbons de bois recueillis à différentes profondeurs ont été étudiés à l'aide de la méthode de l'antraco-analyse dans le but de fournir des éléments préliminaires concernant les changements de végétation intervenus au cours du temps. Les résultats sont discutés à la lumière du boisement actuel et de données paléoécologiques régionales, tout en gardant à l'esprit que l'échantillonnage réalisé à différentes profondeurs ne peut être considéré comme une séquence stratigraphique, les charbons de bois n'ayant pu être datés.

MATERIEL ET METHODES

1- Localisation et présentations des éléments phytoécologiques du site d'étude

Le site d'étude (766 m d'altitude - 44° 12' 55.97" N / 03° 56' 10.17" E), localisé à l'ouest du signal de Lichère dans la haute Vallée du Galeizon (Fig. 2), inclut un *tumulus* datant approximativement du second millénaire avant notre ère (C. Anton, com. pers.).



Figure 2. Cupules (réseau de cavités) creusées durant la Préhistoire sur une dalle de mica-schiste (Photo. J.-F. Terral).

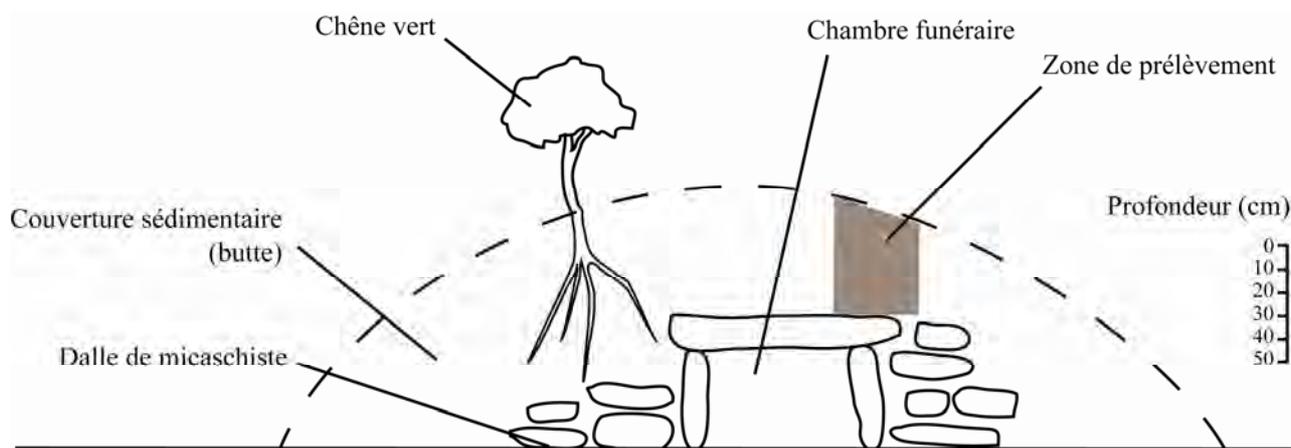


Figure 3. Coupe longitudinale théorique du Tumulus de la Lichère sur laquelle le sondage a été réalisé.

C'est une sépulture surplombée de dalles schisteuses, elles-mêmes recouvertes par des sédiments sur lesquels des végétaux (herbacées et petits ligneux) se sont installés. Le *Tumulus* est situé sur un replat dans une pente orientée vers l'ouest, au sein d'un milieu ouvert où l'on retrouve majoritaire-

ment des individus de chêne vert de petite taille, *Quercus ilex* (Fagacées) et des Ericacées (bruyère cendrée : *Erica cinerea* ; bruyère arborescente : *Erica arborea* ; callune : *Calluna vulgaris*). La callune est une espèce héliophile pionnière qui supporte bien les incendies grâce à sa forte capacité de

régénération. On remarque également la présence de genêt à balai (*Cytisus scoparius*, Fabacées), de cade (*Juniperus oxycedrus*, Cupressacées) et de filaire à feuilles étroites (*Phillyrea angustifolia*, Oléacées). La zone est environnée par des zones forestières dominées par plusieurs espèces de Pinacées : le pin maritime (*Pinus pinaster*), le pin laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp *laricio*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et probablement quelques rares individus de pins de Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*), dont la distinction avec le pin laricio est difficile. On retrouve plus en altitude, préférentiellement au niveau de faibles résurgences des petits bosquets de bouleau (*Betula pendula*, Bétulacées). Partout aux alentours du site, des taillis de châtaignier sont présents.

2- Sondage sédimentaire et collecte de charbons de bois

Les sédiments recouvrant la partie la plus profonde de la sépulture ont été prélevés à différentes profondeurs sur un carré de 50 cm de côté, jusque la progression en profondeur ne soit plus possible : 10, 20, 30, 40 et 50 cm. Le sédiment est préalablement trié afin de récupérer les charbons de bois de plus grosses tailles, bien visibles. Un second tri est réalisé

en laboratoire avec un tamis à maille de 4 mm afin de collecter les charbons de petite taille pouvant être analysés.

3. Méthode de l'anthraco-analyse

La méthode de l'anthraco-analyse consiste en l'identification taxonomique des charbons de bois dont les caractères anatomiques sont observés à partir de 3 plans de coupe réalisés manuellement (sections transversale, longitudinale radiale et longitudinale tangentielle) à l'aide d'un microscope à réflexion. L'identification des charbons de bois a été faite à l'aide de l'anthracothèque de référence du CBAE et d'ouvrages spécialisés (Schweingruber, 1990 ; Vernet, 2001 ; <http://www.woodanatomy.ch/>).

RESULTATS

50 fragments de charbons de bois ont été collectés et observés en microscopie à réflexion (Tab. 1). Deux fragments de trop petite taille n'ont pu être analysés. 48 d'entre eux ont pu être identifiés, le plus souvent au niveau du genre. Toutefois, les caractéristiques anatomiques de certains charbons plaident en la faveur de certaines espèces ou groupes d'espèces.

Table 1. Résultats bruts (charbons de bois étudiés, taxons déterminés et fréquences absolues) de l'analyse anthracologique.

Profondeur du prélèvement (cm)	Nombre de charbons étudiés	Nombre de charbons indéterminables	Taxons reconnus		
			<i>Erica</i> type <i>arborea</i>	<i>Quercus</i> à feuillage caduc	<i>Pinus</i>
10	11	0	9	2	0
20	15	1	12	2	0
30	9	0	4	4	1
40	8	1	1	6	0
50	7	0	0	7	0
Total	50	2	26	21	1

Les taxons identifiés sont *Erica* type *arborea*, *Quercus* à feuillage caduc et *Pinus* (Tab. 1). Le châtaignier pourtant très présent dans la végétation environnante du site n'a pas été relevé dans l'assemblage anthracologique.

L'espèce la plus abondante dans l'assemblage est *Erica arborea*, tout particulièrement dans la partie supérieure du sondage. Il est d'ailleurs intéressant de noter que depuis la base (50 cm) jusqu'au sommet du sondage

(10 cm), les fréquences absolues d'*Erica type arborea* et de *Quercus* à f.c. varient de manière diamétralement opposée (Fig. 4). Les niveaux inférieurs sont caractérisés par la présence de charbons de chêne alors que les niveaux supérieurs sont dominés par la bruyère. Seul un charbon attribué au genre *Pinus* a pu être mis en évidence, mais son identification au niveau spécifique n'a pas été possible.

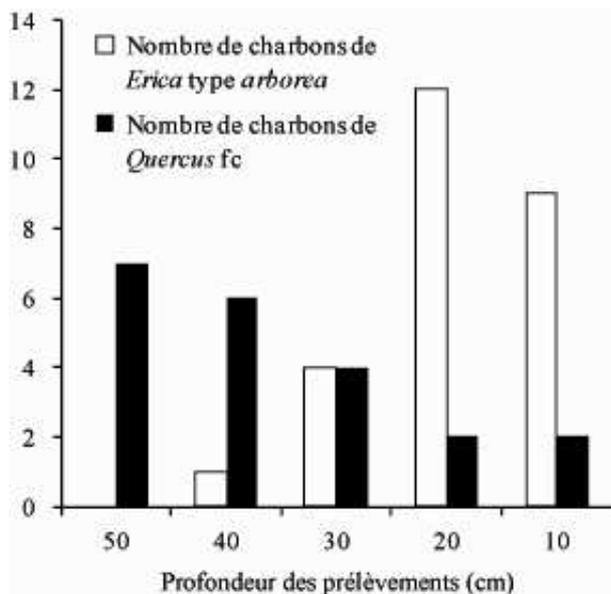


Figure 4. Variations des fréquences en charbons de bois de *Quercus f.c.* (chêne à feuillage caduc) et d'*Erica type arborea* (Bruyère type b. arborescente) en fonction de la profondeur des prélèvements.

DISCUSSION

1- Relations entre les indices anthracologiques et la végétation actuelle

Outre l'unique et anecdotique échantillon de pin mis en évidence par l'analyse anthracologique, la bruyère arborescente (*Erica type arborea*) identifiée dans l'assemblage anthracologique est omniprésente dans la végétation actuelle des environs du tumulus du Signal de la Lichère. Par contre, malgré un examen attentif des végétaux ligneux se développant dans la zone d'étude, aucun chêne blanc (*Quercus pubescens*) n'a été recensé. D'après nos observations, le chêne blanc se cantonne actuellement plus au sud dans la vallée et sur

l'autre versant de la vallée du Galeizon, zones caractérisées par un substrat calcaire où il forme des chênaies mixtes, en association avec le chêne vert (*Quercus ilex*) (Fig. 1).

2- Signification écologique de la présence dans l'assemblage anthracologique de la bruyère arborescente et du chêne pubescent

La mise en évidence de charbons de bois appartenant à *Erica type arborea* témoigne de l'existence d'une formation végétale ouverte spécifique de substrats acides tels que les schistes. Aujourd'hui, elle est omniprésente et constitue dans la vallée du Galeizon, des landes où elle côtoie la bruyère cendrée (*Erica cinerea*), la bruyère à balais (*E. scoparia*) et la callune (*Calluna vulgaris*). Elle peut également être observée en association avec des espèces sclérophylles (filaires, *Phillyrea angustifolia* et *P. latifolia*; arbousier, *Arbutus unedo*) dans des matorrals silicicoles à chêne vert. Dans les deux cas, elle semble constituer un bon marqueur de formations perturbées (végétation post-incendie) ou de formations plus directement aux prises avec l'anthropisation (zones où la pression pastorale est récurrente).

Aussi, compte tenu de la présence actuelle de la bruyère arborescente autour du site d'étude, nous sommes en droit de nous demander si les charbons de bois extraits de nos échantillons ne seraient pas issus de végétaux récemment incendiés. Après le feu, des processus post-dépositionnels ou érosifs auraient pu contribuer à faire migrer les charbons vers la butte du *Tumulus* et certains fragments auraient pu être entraînés au sein des sédiments lors de la croissance de racines de végétaux (un chêne vert de 50 cm de hauteur environ est enraciné sur la couverture du *Tumulus*). Pourtant, les variations des fréquences en bruyère arborescente n'est pas homogène sur notre séquence ; plus encore, elles sont en constante progression depuis la base de la séquence où elle est absente jusqu'au niveau sommital. De manière concomitante, les fréquences en chêne à feuillage caduc diminuent.

Compte tenu du faible nombre de charbons de bois étudiés, du faible nombre d'espèces identifiées et du fait que nous ne disposons d'aucun élément tangible pour considérer que nos échantillons sont stratifiés de manière diachronique, il nous est difficile d'interpréter l'antagonisme observé des variations de fréquence de bruyère arborescente et de chêne de type pubescent. Toutefois, dans l'hypothèse selon laquelle les charbons de bois seraient stratifiés chronologiquement, le spectre anthracologique obtenu traduirait l'ouverture et la dégradation progressive de la chênaie supraméditerranéenne reconquise par une lande à bruyères, dynamique de végétation régie probablement par des pressions anthropiques ou de perturbations récurrente et brutales telles que des incendies.

3- Le chêne et la bruyère dans l'histoire holocène régionale de la végétation

Les études palynologiques réalisées sur le Mont Lozère (De Beaulieu & Gilot, 1972 ; Reille, 1988) montrent que la végétation des Cévennes était dominée au Préboréal (premier étage de l'Holocène, de 11 000 à 10 000 cal. BP) par des pins (végétation composée de plus de 45% de *Pinus* type *sylvestris*). Ces auteurs ont également noté la présence précoce du noisetier (*Corylus*), qui a joué un rôle pionnier important au Boréal (10 000-9000 cal. BP). Au début de l'Atlantique, aux alentours de 9000 cal. BP, *Quercus* s'est imposé dans les paysages, parallèlement à la régression des pinèdes. Jusqu'à la fin de l'Atlantique (5500 cal. BP), avant que les pratiques humaines ne commencent à avoir une influence significative sur le milieu, la chênaie mixte dominait entièrement les paysages. Les pelouses d'altitude n'étaient en particulier pas encore utilisées pour le pastoralisme. Le développement des populations néolithiques entraîne à partir du Subboréal (5500-2800 cal. BP) une régression des chênaies caducifoliées au profit du hêtre (*Fagus sylvatica*) et du sapin (*Abies alba*). Largement favorisée par l'homme, l'hêtraie s'est développée au cours des derniers 5 derniers millénaires depuis les montagnes méditerranéennes jusqu'au rebord cévenol (Vernet, 2006).

Les fluctuations de végétation, peut-être en partie dues aux variations climatiques du Néolithique, peuvent surtout être expliquées par la présence de l'Homme dont les indices d'occupation de la vallée sont nombreux (Fig. 2). Lors de l'installation, au Néolithique moyen (vers 5000 cal. BP), des populations chasséennes dans les Cévennes, les paysages étaient dominés sans partage par la chênaie caducifoliée atlantique (Reille, 1988). Ces populations semblent avoir largement utilisé le débroussaillage par le feu (écobuage) qui aurait eu pour conséquence d'ouvrir le milieu et de favoriser les bruyères, notamment la bruyère arborescente. Bien que non datés, les charbons récoltés le plus profondément dans le sondage pratiqué du tumulus de la Lichère trouvent peut être leur origine dans cette technique.

Le développement de l'agriculture et du pastoralisme, entraînant l'ouverture du milieu, ont provoqué la régression des chênes caducifoliés entre 6000 et 4000 cal. BP. La métallurgie, grande consommatrice de combustible, a également été l'un des facteurs prédominant dans l'intensification de l'exploitation des forêts. Enfin, les chênes caducifoliés ont été exploités en tant que bois de construction ou bois de chauffage (Durand, 2000). Dans ces nouvelles conditions, la chênaie, concurrencée en altitude par la hêtraie, s'est maintenue à basse altitude jusqu'à l'époque romaine (second âge du Fer), où elle a été supplantée dans les zones siliceuses des Cévennes. Le développement des châtaigneraies a constitué une nouvelle manne commerciale pour la région, d'abord au Moyen-âge puis à l'époque moderne. A partir de l'an 1000 et durant plusieurs siècles, l'Homme a procédé à des aménagements colossaux dans la vallée du Galeizon (terrasses, calades), qui lui ont permis de créer des terrains plats cultivables et d'optimiser l'utilisation de l'eau. Sur ces terrasses, la culture du châtaignier recouvrait près de 70% de la surface totale de la vallée au milieu du XIXe siècle. Au cours du XXe siècle, accentuée par les grandes guerres et la recrudescence de maladies sur le châtaignier, l'exode rural a entraîné l'abandon progressif de ce territoire. Manquant de moyens humains

pour entretenir leurs vergers, les propriétaires se sont orientés vers des exploitations plus simples. La châtaigneraie a donc souvent été exploitée pour son tanin, son bois pour la construction de piquets. Elle a été ensuite colonisée par le pin maritime, introduit dans la région pour l'éclayage des galeries de mines à charbon. En moins de 150 ans, les paysages dominés par les feuillus se sont transformés en forêts de résineux, entraînant la fermeture des milieux et l'érosion des sols, et augmentant considérablement le risque d'incendie. Les plus récents ont d'ailleurs été datés à partir d'études dendrochronologiques. Trois grands feux ont eu lieu ces dernières années dans la vallée : 1950, 1982 et 2006-2007 (C. Karasinski, J. Roy & C. Sabadel, données non publiées).

CONCLUSION

Dans les Cévennes méditerranéennes, l'agriculture, le pastoralisme puis la métallurgie ont entraîné, à partir de la fin du Néolithique, la régression de la chênaie caducifoliée au profit de l'extension des landes à bruyères. Dès l'âge du Fer et à l'Antiquité, l'introduction du châtaignier a encore aggravé la régression de la chênaie. Après deux millénaires d'exploitation, la châtaigneraie est depuis 50 à 100 ans laissée à l'abandon : elle est colonisée par les espèces pionnières comme les bruyères ou les pins introduits.

Bien que les données récoltées sur le terrain concordent bien avec les informations tirées de la bibliographie, l'interprétation de nos résultats reste très spéculative. Ceci ne nous permet pas de répondre pleinement à la problématique de départ. En effet, l'étude comporte certaines limites. Tout d'abord, les charbons récoltés sur le *Tumulus* étaient pour la plupart de très petite taille, et n'ont pas permis de réaliser des coupes assez précises pour pouvoir identifier l'intégralité du matériel, entraînant un manque de robustesse concernant l'analyse des résultats. De plus, il aurait été nécessaire de réaliser des prélèvements dans des couches plus profondes afin d'avoir une vision plus large de l'état de la végétation passée. Enfin, la datation des

charbons au Carbone 14 aurait permis de donner la dimension chronologique nécessaire à cette étude.

Ce travail est une introduction aux fouilles prévues, mais non encore programmées. Les moyens de datation qui y seront mis en œuvre et des recherches plus approfondies permettront de préciser les aspects post-dépositionnels et les changements de végétations.

REFERENCES

- Anton C. (2010). Prospection inventaire de la vallée du Galeizon. In : *Bilan scientifique 2010 de la Direction régionale des affaires culturelles de la région Languedoc-Roussillon*. Service régional de l'Archéologie, pp. 92-93.
- Beaulieu (de) J.-L. & Gilot E. (1972). Végétations holocènes du Mont Lozère : analyses polliniques et datages. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 274 : 3531-3534.
- Bourquin-Mignot C., Brochier J.-E., Chabal L., Crozat S., Fabre L., Guibal F., Marinval P., Richard H., Terral J.-F. & Théry L. (1999). *La Botanique*. Collection "Archéologiques" dirigée par A. Ferdière. Editions Errance, 205 p.
- Boyaval M., Murillo A., Senglat J. & Vanden Berghe C. (2012). Reconstitution partielle des paléoenvironnements de la vallée cévenole du Galeizon au travers de relevés botaniques et géologiques. *ORPAL Synthesis*, 5 : 7-18.
- Chabal L. (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) : l'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Documents d'Archéologie Française n°63, 192 p.
- De Beaulieu J.-L. & Pons A. (1979). Recherche 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. (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), vol. 25, pp. 27-32.*
- Dedet B. & Gauthey J. (1994). La nécropole de Peyraube (Lamelouze, Gard) au premier âge du Fer ». *Documents d'archéologie méridionale*, 17 : 101-151.
- Durand A. (2002). Elements for a cultural history of wood in southern France (Xth-XVIth c.). *In : S. Thiébault (ed.), Charcoal analysis. Methodological approaches, palaeoecological results and wood uses. Proceedings of the Second International Meeting of Anthracology Paris (13th-16th September 2000). British Archaeological Reports, International Series, 1063 : 261-266.*
- 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.
- Schweingruber F.H. (1990). *Anatomy of European woods*. Haupt P. (ed.), Bern et Stuttgart, 410 p.
- Vernet J.-L. (2001). *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents*, Editions CNRS, Paris, 395 p.
- Vernet J.-L. (1997). *L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours*. Errance, Paris, 248 p.
- Vernet J.-L. (2006). La crise des écosystèmes méditerranéens à l'Holocène. *In : C. Beck, Y. Lunginbül, T. Muxart (eds.), Temps et espaces des crises de l'environnement*. Editions Quae, coll. Indisciplines, pp. 175-190.