



O

r

p

a

l

synthesis 2010

No 3

Causse de
l'Hortus,
Hérault

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

Editeurs associés
Adam ALI ^{1,3}
Ilhem BENTALEB ^{2,3}
Laurent BREMOND ^{1,4}
Benoît BROSSIER ^{1,5}
Laurent FABRE ⁵
Marie-Pierre LEDRU ^{2,6}
Serge MULLER ^{2,3}
Paul ROIRON ^{1,3}
Ingeborg SOULIE-MÄRSCHKE ^{2,5}

¹ CBAAE, ² ISEM,
³ UM2, ⁴ EPHE, ⁵ CNRS, ⁶ IRD

Auteurs
Marie ALART, Léa BARONNAT,
Antoine BOULLIS, Clément
BOUSQUET, Caroline
DAMIANO, Sébastien ENAULT,
Pauline GABORIT, Thomas
GUILLERME, Mailis HUGUIN,
Martin JEANMOULIN, Anne
KENAGHAN, Evanne LE FUR,
Sylvain MONTEUX, Naila
NATIVEL, Emanuele
NEGROSINI, Elsa NOEL,
Benjamin RAMASSAMY,
Adrien TAUDIERE, Fanny
WELTMAN

Maquette
Serge MULLER

Publication
3^e trimestre 2013
Université Montpellier-2

ORPAL : Voyage dans l'histoire des garrigues montpelliéraines

Le Pic St-Loup et l'Hortus constituent l'ensemble orographique le plus structurant du paysage nord montpelliérain, dominé par la garrigue et les vignobles. Culminant à 658 m d'altitude, le Pic St-Loup est un monolithe orienté est-ouest, formé de bancs de calcaires du Jurassique supérieur dont certains sont totalement redressés à la verticale. Au sud de ce chaînon, dans la Combe de Mortières, affleurent des terrains plus anciens : ce sont notamment des marnes noires du Jurassique ancien et moyen, d'où émergent de nombreux fossiles marins qui attestent que la zone était à l'époque couverte par un océan tropical et peu profond. A la fin du Crétacé, les eaux océaniques se retirent et les terres commencent à émerger sous l'effet de l'orogénèse qui atteint son paroxysme il y a 50 millions d'années. De nouvelles formations sédimentaires lacustres se forment alors au fond des dépressions (calcaires lacustres continentaux, notamment). S'ensuit une longue période d'érosion qui permet de creuser les combes de Mortières et de Fambetou, cette dernière étant située entre le Pic St-Loup et l'Hortus. Pourtant, ces deux massifs n'ont jamais été en connexion, car le Causse de l'Hortus est constitué de calcaires plus récents (Crétacé) qui n'ont pas subi de plissements. La remontée du Pic St-Loup à la hauteur de l'Hortus est liée au jeu d'une faille, localisée dans la combe de Fambetou. Au Quaternaire, l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires accentuent les phénomènes d'érosion et forment les éboulis d'éclats calcaires géoliffractés que l'on observe au pied des falaises du Pic St-Loup et de l'Hortus. Enfin, on ne pourrait conclure ce préambule sans aborder la présence de l'Homme, qui a façonné les paysages lors des derniers millénaires. Les plus anciens témoignages remontent à plus de 40 000 ans, avec les restes néandertaliens de la grotte de l'Hortus, par exemple. Nombreux depuis la Préhistoire à nos jours, les vestiges de l'occupation des sociétés humaines sont d'une incroyable diversité : grottes, villages fortifiés, tumuli, aires de charbonnage, fours à chaux et à cade, lavognes, roches gravées, châteaux...
Parcourir ces presque 200 millions d'années de l'histoire paléogéographique du Pic St-Loup et de l'Hortus sur la base de petits instantanés a représenté l'enjeu des travaux des étudiants de la promotion ORPAL 2009-2010.

Jean-Frédéric Terral
Editeur en chef d'ORPAL - synthesis



Le Rocher du Causse, village chalcolithique situé sur la cause de l'Hortus (env. 4500 ans av. auj.)

ORPAL : module d'enseignement-recherche avec de 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 2010

Causse de l'Hortus

Hérault

Reconstitution des paléoenvironnements de la région du Pic Saint-Loup (Hérault)	7
Approche anthracologique du charbonnage dans les garrigues de l'Hortus (Hérault, France)	15
Relation actuelle pollen-végétation dans les lavognes du bassin de St-Martin-de-Londres	25
Etude de la dynamique post-incendie d'une parcelle forestière méditerranéenne à l'aide de l'analyse dendrochronologique	39
La pédoanthracologie : un outil pour reconstruire la biomasse brûlée	49
Variabilité des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) de la feuille à l'humus chez <i>Quercus ilex</i> et <i>Quercus pubescens</i> dans le bassin de Saint-Martin-de-Londres	59
Compétition et répartition du chêne pubescent (<i>Quercus pubescens</i>) et du chêne vert (<i>Quercus ilex</i>) sur le causse de l'Hortus (Hérault)	69



Le causse de l'Hortus, vu du Pic St-Loup : falaise crétacée de l'Hortus et affleurements de calcaires lacustres éocènes du Bassin de St-Martin-de-Londres.

RECONSTITUTION DES PALEOENVIRONNEMENTS DE LA REGION DU PIC SAINT-LOUP (HERAULT)

Sébastien Enault ¹, Thomas Guillaume ², Benjamin Ramassamy ³

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

¹ sebastien.enault@etud.univ-montp2.fr, ² thomas.guillaume@etud.univ-montp2.fr,

³ benjamin.ramassamy@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Serge Muller et Ingeborg Soulié-Märsche

Résumé : Il est question dans cet article de recréer, à l'aide des organismes fossiles trouvés dans la région du Pic Saint-Loup, des environnements qui leur étaient associés et de l'âge des dépôts. La présence d'une faune typiquement marine montre que la région était immergée durant le Mésozoïque. L'Éocène est en revanche caractérisé par la présence de Planorbis du genre *Australorbis* et de gyrogonites de Charophytes, qui attestent l'existence locale de marécages d'eau douce. Une revue de la littérature existante concernant la macrofaune associée à ces dépôts suggère un environnement subtropical chaud.

Mots clés : paléoenvironnements, fossiles, gyrogonites, géologie

Abstract : This work aims at proposing a palaeoenvironmental reconstruction based on fossils collected in the region of Pic Saint-Loup, on associated environments and on age of deposits. The collected material, mainly of marine origin, suggests a shallow marine environment during the Mesozoic. Other samples, comprising freshwater gasteropods of the genus *Australorbis* and Charophyte gyrogonites attest the local existence of freshwater marshes during the Eocene. A literature review concerning the associated vertebrate fauna suggests a hot subtropical environment.

Keywords : palaeoenvironments, fossils, gyrogonites, geology

La paléontologie est la science qui étudie les restes fossiles d'êtres vivants en vue de connaître leurs relations de parenté et leur mode de vie. L'étude de ces fossiles permet de reconstituer les environnements dans lesquels ils évoluaient. Nous allons ici nous attacher à cet aspect de la paléontologie. Afin de bien comprendre les différents environnements qui se sont succédés au cours du temps dans le bassin de St-Martin-de-Londres, il faut étudier l'origine de sa formation qui coïncide avec la formation de la chaîne pyrénéo-provençale. Celle-ci se produit en 3 étapes liées aux mouvements du bloc ibérique (Bousquet, 1997).

La première étape s'étend du Trias moyen (-230 millions d'années ou Ma) au Crétacé inférieur (-110 Ma). L'ancienne chaîne de montagnes hercynienne, formée au Paléozoïque par la soudure du Gondwana et de l'ensemble Laurasie-Eurasie, s'érode, laissant une vaste surface plane (Biju-Duval, 1999). Après une sédimentation de type continental, la mer recouvre peu à peu la région du Languedoc-Roussillon à partir du Jurassique.

La deuxième étape se produit du Crétacé inférieur (-110 Ma) au milieu du Crétacé supérieur (-85 Ma). Le Golfe de Gascogne se forme grâce à la séparation de l'Europe et de l'Ibérie. Durant tout le Crétacé, le bloc

ibérique va coulisser vers l'est par rapport à l'Europe, provoquant de nombreuses fractures au niveau des futures Pyrénées. En Languedoc-Roussillon, la mer se retire et les terres sont de nouveau sujettes à une sédimentation de type continental.

La troisième et dernière étape a lieu du Crétacé supérieur (-85 Ma) à l'Eocène supérieur (-40 Ma). Elle va se terminer par le rapprochement et la collision de l'Ibérie et du bloc continental formant ainsi la chaîne Pyrénéo-Provençale. Cette collision va sensiblement modifier le relief alentour, et de nombreux plis et chevauchements vont apparaître des deux côtés de la zone de collision. Cet événement provoque ainsi la formation du pic Saint-Loup.

Le but de cet article est de reconstituer les paléoenvironnements de la région du Bassin de St-Martin-de-Londres à des fenêtres de temps précises grâce au matériel fossile récolté.

MATERIEL ET METHODES

Afin de pouvoir répondre à la problématique posée, il nous a fallu aller sur le terrain afin de collecter divers échantillons. Ils étaient constitués pour la plupart de fossiles trouvés dans des roches d'âges différents et prélevées un peu partout dans la région du bassin de Saint-Martin-de-Londres (Fig. 1). La période de temps que nous pouvons observer grâce aux échantillons collectés s'étend du Jurassique à l'Eocène.

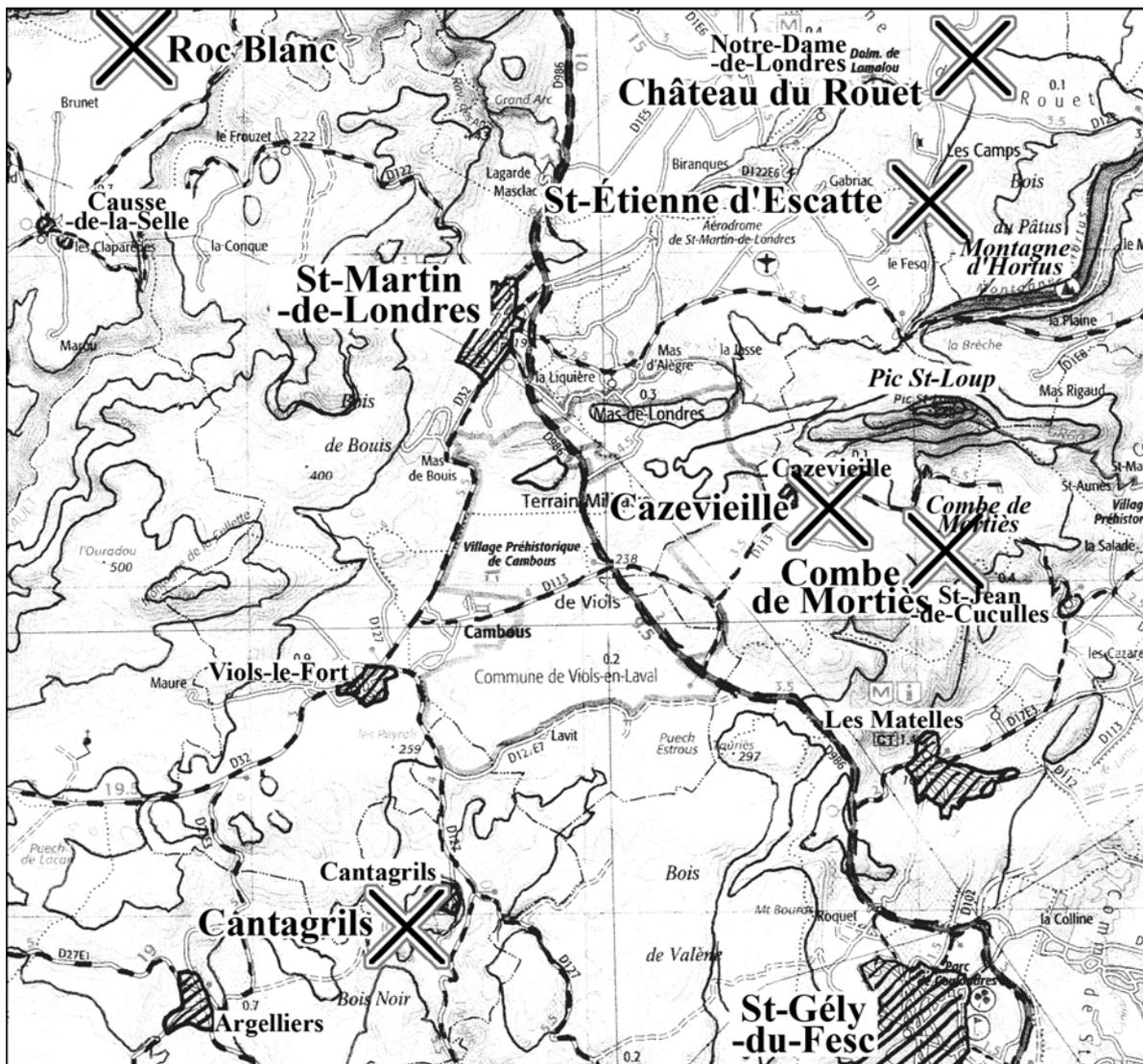


Figure 1 : Carte du bassin de Saint-Martin-de-Londres.
Les croix représentent les sites où ont été récoltés les échantillons

Les échantillons ont été récupérés sur 3 jours et ont été numérotés et datés en fonction de la zone dans laquelle ils ont été trouvés. Ils sont pour la plupart fossiles, sauf des marnes et des argiles sans fossiles apparents qui ont également été récupérées afin de les analyser en laboratoire. De nombreux fossiles ont été récupérés à même le sol après des recherches au niveau des gisements connus pour être fossilifères. Il a parfois fallu dégager les roches pour récupérer les échantillons. Lorsque cela n'était pas possible, des photos ont été prises pour conserver une trace des organismes trouvés. Chaque fois que des échantillons étaient prélevés sur le terrain, le type de roches dans lequel ils ont été trouvés a été noté ainsi que sa provenance précise à l'aide d'un GPS.

Une fois au laboratoire, nous avons fait subir différents traitements à nos sédiments avant de pouvoir les analyser. Ils ont donc d'abord été séchés à l'étuve ou au soleil afin de pouvoir retirer toute humidité aux traitements. Après séchage, ils ont été nettoyés avec 100 ml de peroxyde d'hydrogène et de l'eau chaude afin de ramollir le sédiment pour pouvoir le tamiser. Pour le tamisage, trois tamis de mailles différentes (1 mm, 350 et 200 µm) ont été utilisés. Ce tamisage a permis de caractériser nos sédiments en fonction de l'épaisseur des grains. Après tamisage, les échantillons ont été laissés à sécher puis

observés. Les éléments présents, notamment les fossiles ont été notés et triés.

Nous avons aussi nettoyé et protégé les échantillons les plus fragiles issus de la Combe de Mortières. Nous les avons laissés baigner dans l'acide chlorhydrique environ 1h30, puis rincés délicatement à l'eau avec une brosse à dents pour retirer la couche de marne sans abimer l'échantillon. Après cette étape, ces fossiles ont été vernis avec un mélange de toluène et d'histolaque pour empêcher leur oxydation. En effet, ils sont composés de marnes pyriteuses s'oxydant à l'air libre. Les fossiles ont été identifiés à l'aide de leurs caractéristiques et de leur âge à l'aide manuels traitant du sujet (Pellant, 1992 ; Beurlen & Lichter, 1987).

Nous avons aussi pu récolter des données supplémentaires à l'aide des collections de l'ISE-M, notamment grâce aux fossiles de vertébrés qui ont été pris en photos et qui regroupent principalement des organismes du Tertiaire comme le *Lophiodon*, des dents d'Artiodactyles et de marsupiaux ou encore quelques fragments d'os de Crocodilien.

RESULTATS

Les fossiles, une fois identifiés, ont été rangés dans un tableau suivant leur lieu de prélèvement et leur âge (Tab. 1) :

Tableau 1 : Fossiles de la région du bassin de St-Martin-de-Londres suivant leur lieu de découverte, le type de roche dans lequel ils ont été trouvés et leur âge. +, 0-5 fossiles ; ++, 6-10 fossiles ; +++, > 10 fossiles.

Etage	Lieu	Fossile(s)	Substrat
Toarcien	Combe de Mortières	Ammonoidea (+++); Bélemnoida (+++); Lamellibranches (+++); Crinoïdes (+), Cnidaires (+) Anthozoaires (+); Gastéropodes (++)	Marnes pyriteuses
	Cazevieille	Bélemnites (<i>Belemnopsis canaliculatus</i>) (+); Ammonites (<i>Dactylioceras</i>) (+)	Calcaire
Hauterivien	Roc blanc	Bélemnites (++) ; bivalves (+)	Calcaire
	Rouet	Gastéropodes (+++)	Calcaire
Maastrichtien	Sud Viols-le-Fort	Bivalves (+++); Gastéropodes (<i>Nerinea sp.</i>) (++)	Calcaire Bauxite
Lutétien	Château de Rouet	Planorbes (<i>Australorbis pseudoammonius</i>) (+++)	Calcaire lacustre
	Moulin de Rouet	Bivalves (+)	Calcaire lacustre

Toarcien (-183 à -175,6 Ma), Jurassique supérieur, Combe de Mortières et pied du versant sud du Pic-Saint-Loup à Cazevieille. La plupart des fossiles appartiennent aux sous-classes des Ammonoidea et des Belemnoidea. Des fossiles de Gastéropodes, notamment *Eucyclus capiteus* et de Lamellibranches sont aussi présents mais en moins grandes quantités. Enfin, quelques fossiles de Cnidaires et un entroque de Crinoïde ont aussi été découverts.

Hauterivien (-136,4 à -130 Ma), Crétacé inférieur, Roc Blanc et Rouet, Causse de l'Hortus. Aucun Ammonoidea n'a été trouvé dans l'Hauterivien, bien que l'on y rencontre encore quelques Belemnoidea avec un seul genre (*Belemnopsis*). Quelques Lamellibranches et Gastéropodes ont aussi été découverts, mais ils étaient peu abondants.

Maastrichtien (-70,6 à -65,5 Ma), dernier étage du Crétacé supérieur, sud de Viols-le-Fort. Les roches du Causse de Viols-le-Fort présentent une faune bien différente : la majorité des fossiles appartiennent aux genres *Nerinea* et *Cerithium*, et sont associés à quelques bivalves. Au niveau du sédiment, peu de fossiles ont été trouvés dans les roches de cette époque, principalement quelques fragments de coquilles non-identifiables. Nous avons cependant noté la présence de gyrogonites de l'espèce *Ambylochara begudiana* var. *minima*.

Lutétien (-48,6 à -44 Ma), Eocène, château et moulin de Rouet, Causse de l'Hortus. Une seule espèce a été trouvée en très grande quantité : le planorbe *Australorbis pseudoammonius*. Un seul échantillon contemporain contenant quelques Lamellibranches a été découvert dans une zone différente de celle où ont été trouvés les Planorbes.

DISCUSSION

Les échantillons récoltés s'étalent sur quatre étages géologiques, depuis le Toarcien jusqu'au Lutécien. A l'exception du Maastrichtien, chaque étage est représenté par deux sites permettant de corroborer les informations récoltées.

Le Jurassique supérieur (Toarcien ; -183 à -

175,6 Ma) est représenté par deux sites : la Combe de Mortières, une dépression au sud du Pic Saint-Loup, où a été récolté un nombre important de fossiles, et la mare de Cazevieille, qui est en revanche représentée par moins de dix fossiles. La plupart des fossiles collectés appartiennent aux sous-classes Ammonoidea et Belemnoidea. Les Lamellibranches sont également représentés, sans qu'une identification précise n'ait été possible (absence de la charnière), ainsi que quelques gastéropodes, avec notamment *Eucyclus capiteus*. Tous les organismes échantillonnés étant d'origine marine, les deux sites traduisent donc l'existence d'un milieu marin. La présence de Cnidaires révèle une faible profondeur, une eau chaude et un milieu probablement très riche en biodiversité, à l'instar des récifs coralliens actuels. La Combe de Mortières est en fait constituée de deux niveaux fossilifères : les marnes noires qui font la particularité du site, sous laquelle affleure une bosse de calcaire. Ce milieu récifal peu profond va perdurer jusqu'à la fin du Jurassique supérieur (Bousquet, 2008).

Les sites du Roc Blanc et du Rouet, échantillonnés ensuite, datent du Crétacé inférieur (Hauterivien ; -136,4 à -130 Ma). Les roches de cet étage sont des calcaires typiques présentant une teinte vaguement jaunâtre. La sédimentation est toujours marine : bien qu'aucun Ammonoidea n'ait été récolté, quelques Belemnoidea sont encore présents, avec un seul genre identifié : *Belemnopsis*. Des bivalves sont également présents (avec le même problème d'identification que sur les sites précédents), ainsi que de nombreux gastéropodes. L'environnement est donc toujours marin au Crétacé, mais il est en revanche difficile d'émettre plus d'hypothèses sur le milieu. Selon Bousquet (1997), c'est à cette période que la Péninsule Ibérique et l'Europe se rapprochent, avec pour conséquences, des régressions et transgressions marines laissant de nombreuses couches de débris détritiques d'érosion, de couches de sables et d'argiles.

Des terrains datant du Crétacé supérieur (Maastrichtien ; -70,6 à -65,5 Ma) ont ensuite

étés étudiés, au sud de Viols-le-Fort. La majorité des fossiles récoltés sont des gastéropodes marins du genre *Nerinea*. On a donc un milieu essentiellement marin. Dans des sédiments contemporains, des gyrogonites (fructifications calcifiées de Charophytes) ont également été retrouvées près de la mare de St Etienne de Gabriac, dans des marnes jaunes de la limite Crétacé-Tertiaire (K/T). Les Charophytes sont des algues vivant exclusivement dans des milieux d'eau douce ou saumâtres peu profonds. Cela indique que le milieu n'était pas exclusivement marin à cette période : il existait des îlots portant des lacs ou d'eau douce. Notons que la famille des Characeae traverse plutôt bien la crise K/T, en dépit de l'extinction des familles voisines. Soulignons également la présence de sphérules de fer, caractéristiques de la limite K/T, qui nous permet de vérifier l'âge du substrat. Cette période présente donc deux grands types de milieux (marin et continental), attestant ainsi le caractère littoral de la région.

Le Tertiaire languedocien est majoritairement continental, ce qui est illustré par les deux derniers sites échantillonnés, tous deux proches du château de Rouet. Ces dépôts datent de l'Eocène (Lutétien ; -48,6 à -40,4) et les fossiles récoltés consistent en quelques bivalves Lamellibranches trouvés aux alentours du moulin, ainsi qu'une très grande quantité de planorbes (Gastéropodes pulmonés d'eau douce) au dessus du château. Ces organismes sont typiques d'environnements marécageux. La collection de vertébrés fossiles de l'ISE-M (responsable Suzanne Jiquel) nous a permis de confirmer cette observation : en effet, à la même période, on retrouve des fossiles de Crocodiliens et de gros mammifères du genre *Lophiodon* (Crochet et al., 1988), qui sont typiques des régions chaudes et marécageuses. La présence de primates de petite taille, typiques des régions chaudes, confirme l'existence d'un climat tropical.

Durant cette période, la chaîne pyrénéo-provençale va véritablement apparaître (Bousquet, 1997), entraînant la formation d'un "avant-pays" dans la région qui va devenir plus durablement continentale. Cette chaîne pyrénéo-provençale entraîne la formation de massifs encore visibles, tels que le pic Saint-Loup et la falaise de l'Hortus, et rehaussant des sédiments encore plus anciens, comme ceux de la Combe de Mortiers.

Bien que nous n'ayons pas de matériel fossile pour les périodes suivantes, des recherches bibliographiques nous ont permis de reconstituer l'évolution du milieu du Lutétien jusqu'à nos jours. Durant le Miocène (-22 Ma), l'érosion et quelques transgressions marines modifient encore le paysage. Mais c'est surtout les fluctuations du niveau de la Méditerranée qui l'affecteront à partir de cette période (Bousquet, 1997). De grandes failles se forment, depuis le granite paléozoïque de l'Aigoual jusqu'aux argiles continentales de la plaine de l'Hérault. Des affaissements de terrain apparaissent en "escalier" le long des failles, de l'Aigoual à la Méditerranée. Le niveau de la Méditerranée va fluctuer du Miocène au Pliocène. Au Miocène, une mer peu profonde et chaude attestée par la présence de dents de requins et d'huîtres fossiles, côtoie les reliefs de la région de St-Martin-de-Londres qui reste émergée (Bousquet, 1997). Cette mer régresse lors de la crise messinienne (-7 Ma) et laisse de grandes plaines et des vallées d'érosion très loin dans les zones actuellement submergées.

Il y a 5 millions d'années, au Pliocène, le niveau de la Méditerranée remonte et les eaux marines réinvestissent les profonds canyons formés par les fleuves se jetant dans la mer retirée (Clauzon et al., 1996). Lentement, l'érosion et le charriage vont combler ces vallées de sédiments pour aboutir au paysage languedocien qui nous est maintenant familier.

Tableau 2 : Evolution du paléo-environnement de la région du bassin de St-martin-de-Londres au cours du temps. Les étages notés en orange représentent les fenêtres étudiées dans cet article.

Durée de la période	Époque	Étages	Environnement	
-1,8 Ma à aujourd'hui	Holocène	Atlantique	retrait de la mer	
		Boréale		
	Pléistocène	Tarantien		
		Ionien		
		Calabrien		
-5 à -1,8 Ma	Pliocène	Plaisancien	remontée de la mer	
		Zancléen	régression de la mer	
-23 à -5 Ma	Miocène	Messinien	mer chaude peu profonde	
		Tortonien		
		Serravalien		
		Langhien		
		Burdigalien		
-28 à -23 Ma	Oligocène	Chattien	zone côtière marécageuse	
		Rupélien		
-33 à -28 Ma	Eocène	Priabonien	zone côtière marécageuse	
-37 à -33 Ma		Bartonien		
-40 à -37 Ma		Lutétien		
-48 à -40 Ma		Yprésien		
-55 à -48 Ma	Paléocène	Thanétien	île Pyrénéo-Provençale	
-58 à -55 Ma		Sélandien		
-61 à -58 Ma		Danien		
-65 à -61 Ma	Crétacé supérieur	Maastrichtien	zone côtière	
-70 à -65 Ma		Campanien	terres immergées	
-83 à -70 Ma		Santonien		
-85 à -83 Ma		Coniacien		
-89 à -85 Ma		Turonien		
-93 à -89 Ma		Cénomaniens		
-99 à -93 Ma		Albien		
-112 à 99 Ma		Crétacé inférieur		Aptien
-125 à -112 Ma				Barrémien
-130 à -125 Ma				Hauterivien
-136 à -130 Ma	Valanginien			
-140 à -136 Ma	Berriasien			
-145 à -140 Ma	Jurassique supérieur	Tithonien	mer chaude peu profonde	
-150 à -145 Ma		Kimméridgien		
-155 à 150 Ma		Oxfordien		
-161 à 155 Ma	Jurassique moyen	Callovien	mer chaude peu profonde	
-164 à -161 Ma		Bathonien		
-167 à -164 Ma		Bajocien		
-171 à -167 Ma		Aalenien		
-175 à -171 Ma	Jurassique inférieur	Toarcien	mer chaude peu profonde	
-183 à -175 Ma		Toarcien		

CONCLUSION

La formation du bassin de St-Martin-de-Londres est principalement due aux mouvements entraînés par la formation de la chaîne pyrénéo-provençale, ainsi qu'au type de sédimentation dépendant de l'environnement. Nos échantillons ont permis d'établir qu'au Toarcien (Jurassique supérieur), le milieu était essentiellement marin, peu

profond et chaud. Durant l'Hauterivien (Crétacé inférieur), le milieu reste marin, mais les caractéristiques paléoenvironnementales ne nous sont pas connues. Au cours du Maastrichtien (Crétacé supérieur), on trouve des fossiles aussi bien marins que d'eau douce, ce qui indique que le milieu était littoral et n'était que partiellement submergé. Le Lutétien (Eocène) indique en revanche un milieu bien différent, continental, marécageux

et chaud.

Des études plus poussées pourraient permettre de reconstituer le milieu avec plus de précision. Il faudrait en premier lieu multiplier les zones de recherche afin de récolter plus de matériel et sur une plus grande zone afin de faire une reconstitution plus précise. Nos recherches se sont de plus concentrées sur des fenêtres de temps précises : élargir les investigations à des roches de périodes plus diverses apporterait plus de précisions à ce travail.

RÉFÉRENCES

- Beurlen K. & Lichter G. (1987). *Les Fossiles*. Ed. La nature en couleurs, 287 p.
- Biju-Duval B. (1999). *Géologie sédimentaire: bassins, environnements de dépôts, formation du pétrole*. Edition Technip, 744 p.
- Bousquet J.-C. (1997). *Géologie du Languedoc-Roussillon*. Les presses du Languedoc, Montpellier, 142 p.
- Bousquet J.-C. & Vianey-Liaud M. (2001). *Dinosaures et autres reptiles du Languedoc*. Nouvelles presses du Languedoc, Montpellier, 244 p.
- Bousquet J.-C. (2008). *Découverte Géologique: Les plus beaux sites de l'Hérault*. Les Ecologistes de l'Euzière, Prades-le-Lez, 160 p.
- Clauzon G., Suc J.-P., Gautier F., Berger A. & Loutre M.-F. (1996). *Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis : Controversy resolved ?* *Geology*, 24 : 363-366.
- Crochet J.-Y., Godinot M., Hartenberger J.-L., Remy J.-A., Sigé B. & Sudre J. (1988). Découverte dans le bassin de Saint-Martin-de-Londres (Hérault, Sud de la France) d'un gisement à vertébrés continentaux d'âge Eocène moyen. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt*, 107 : 419-434.
- Macaire P. (2000). *Le pic Saint-Loup sous toutes ses faces*. Edition Le Plein de Sens, 744 p.
- Mattei J. (1986). Le brachyanticlinal du Pic Saint-Loup (Hérault, Bas-Languedoc). *Géologie de la France*, 4 : 349-376.
- Pellant C. (1992). *Fossils*. Canadian Nature Guides, 192 p.

APPROCHE ANTHRACOLOGIQUE DU CHARBONNAGE DANS LES GARRIGUES DE L'HORTUS (HERAULT, FRANCE)

Anne Kenaghan¹, Emanuele Negrosini²

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

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

¹ a.kenaghan@hotmail.com, ² emanuele.negrosini@gmail.com

Encadrement : Jean-Frédéric Terral et Laurent Fabre

Résumé : Du Moyen-âge jusqu'au siècle dernier, le charbonnage et les autres artisanats de la garrigue ont façonné le paysage de l'Hortus. Les analyses archéologiques et anthracologiques nous donnent les outils nécessaires pour étudier les environnements passés et les exploitations anthropiques de ces charbonnières. Notre étude s'inscrit dans une démarche d'ethnoécologie dont la finalité est de déterminer une éventuelle dynamique végétale liée à l'abandon de la garrigue. Les résultats montrent que le milieu actuel comporte une moins grande richesse qu'autrefois. Cela pourrait s'expliquer par une fermeture du milieu liée à la compétitivité des chênes verts.

Mots clés : charbonnage, garrigue, *Quercus ilex*, dynamique écologique, anthracologie

Abstract : From the Middle-Ages to the last century, the colliery together with the other crafts of the Mediterranean scrubland, has profoundly shaped the landscape of Hortus. Today, archaeological and anthracological analyses can give us the tools to study past environments and human coal making. Our study is an ethnoecological attempt aiming at determining a possible plant dynamics related to the abandonment of scrubland. The results show that the current environment has a lower species richness than before. This could be explained by a closing of the landscape due to the competitiveness of green oaks.

Keywords : coal, garrigue, *Quercus ilex*, ecological dynamics, anthracology

Sur les substrats calcaires de l'Hérault, domine aujourd'hui une végétation méditerranéenne formée de chênaies et de formations de pins d'Alep, et constituant une mosaïque de paysages. Le chêne vert domine la garrigue, souvent sous la forme de taillis, ce qui indique l'existence passée d'exploitations humaines actuellement abandonnées, mais qui ont perduré durant sept millénaires (Vernet, 1973). Dès le Moyen-âge et jusqu'au siècle dernier, le charbonnage a eu un rôle important dans les pratiques de gestion et d'exploitation de la garrigue qui se trouve au pied de la falaise de l'Hortus. De manière plus précise, l'histoire nous décrit l'importance qu'avait le charbon de bois avant la fin du XVIII^e siècle :

c'était le combustible principalement exploité à l'époque, en raison de son faible poids (transport facilité) et de son pouvoir calorifique élevé. Il représentait une source d'énergie indispensable pour la métallurgie médiévale (Fabre, 1992). A partir du Moyen-âge, la carbonisation en meule devient la technique la plus pratiquée en Languedoc-Roussillon, ce qui a probablement déterminé un changement dans les pratiques d'exploitation du milieu (Gandon et al., 1999). Les outils utilisés en anthracologie et en archéologie nous offrent l'opportunité d'apprécier ces perturbations écologiques et historiques (Battesti, 1992) et ce, d'autant plus si l'on veut comprendre comment le milieu réagit à l'abandon de la part de l'Homme. Notre étude s'inscrit dans l'étude

anthracologique des phénomènes de charbonnage dans la garrigue héraultaise. L'aspect lié à la dynamique végétale sera interprété en termes ethnologiques.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

L'Hortus est situé à 25 km au nord de Montpellier sur la Commune de Valflaunès, en face du Pic St-Loup (43°47'N ; 03°50'E ; Fig.1). Le site étudié est délimité au sud par la combe de Fambetou et au nord par la falaise de l'Hortus. Ce territoire est situé au sein de l'étage mésoméditerranéen (Dugrand, 1964), dans les ambiances bioclimatiques subhumide

à humide correspondant à des précipitations annuelles moyennes comprises entre 600 et 950 mm. Sur le site, un étagement de la végétation a pu être relevé. Celui-ci dérive à la fois du contexte topographique du secteur étudié et d'un effet de versant. On détermine ainsi un sous-étage inférieur à *Pinus halepensis* (pin d'Alep), *Pistacia lentiscus* (pistachier lentisque) et *Quercus ilex* (chêne vert), constitué de formations méso-xérophiles sempervirentes, qui s'oppose à un sous-étage supérieur caractérisé par des chênaies mixtes, composées de *Q. ilex* et de *Q. pubescens* (chêne blanc), qui constituent des formations plus mésophiles.

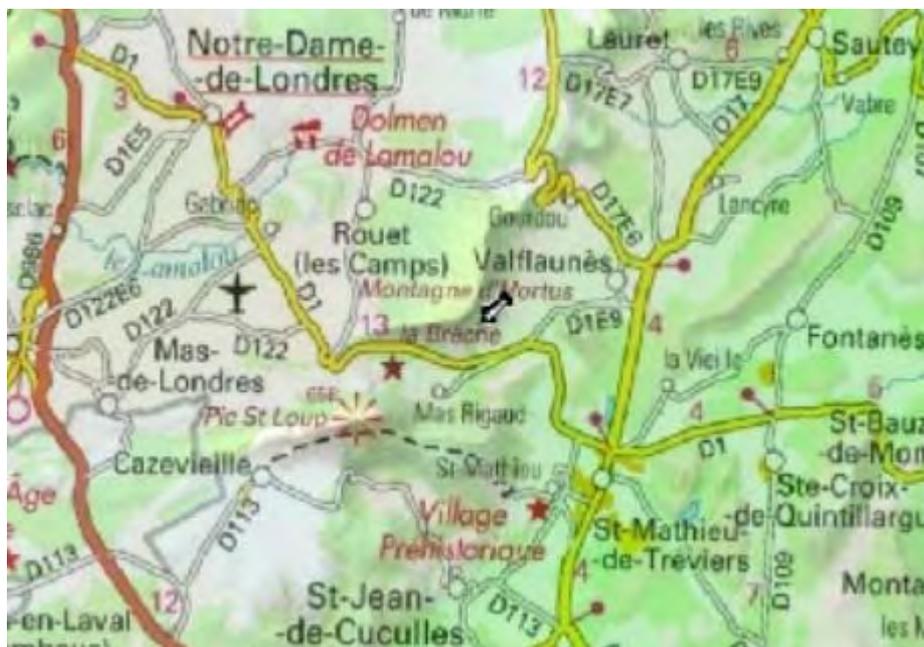


Figure 1 : Localisation de l'étude, signalée par l'indicateur central

2- Matériel

Du point de vue analytique, notre recherche a été caractérisée par deux éléments. D'abord, il a été question d'obtenir les macrorestes de charbons de bois présents dans deux charbonnières. Ensuite, nous avons déterminé la quantité de bois exploitable à partir de la végétation actuelle. Ces deux champs d'informations ont été utilisés selon les

méthodes expérimentales proposées par Fabre (1992) dans le but de comparer le charbonnage archéologique avec un charbonnage que l'on réaliserait actuellement. Une partie des résultats a été traitée par une AFC qui permet d'analyser des éléments et des variables hétérogènes.

3- Méthode

Chaque charbonnière a été préalablement

étudiée du point de vue topologique, écologique et botanique. Comme indiqué plus haut, l'objectif de l'étude est de déterminer une éventuelle dynamique végétale. Pour ce faire, nous avons exploité les données hétérogènes à partir de trois cadres chronologiques. Le premier correspond à l'état actuel de la végétation. Après avoir

compté le nombre d'individus de chaque espèce, nous avons estimé le nombre de rondins (diamètre supérieur à 10 cm), potentiellement exploitables, avec les arbres présents dans un 1/4 de rayon de 27 m à partir de centre de la failde (aire de récolte du bois pour le charbonnage) (Fig.2 ; Tab. 1).

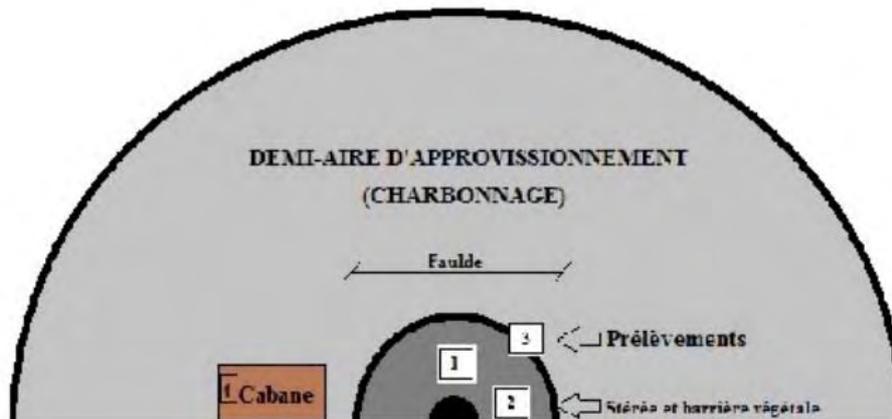


Figure 2 : Représentation graphique de la demi-surface d'une charbonnière et de l'aire d'approvisionnement (d'après Fabre, 1992)

Tableau 1 : Végétaux présents sur le périmètre de récolte de bois et exploitables pour les deux charbonnières étudiées

Taxons	Charbonnière 1		Charbonnière 2	
	Nombre d'individus	Nombre de rondins exploitables	Nombre d'individus	Nombre de rondins exploitables
<i>Arbutus unedo</i>	0	0	2	0
<i>Clematis</i> sp.	4	0	5	0
<i>Hedera helix</i>	15	0	10	0
<i>Helleborus foetidus</i>	2	0	0	0
<i>Juniperus oxycedrus</i>	5	0	3	0
<i>Lonicera</i> sp.	0	0	2	0
<i>Phillyrea latifolia</i>	5	2	16	63
<i>Pinus halepensis</i>	0	0	1	50
<i>Pistacia lentiscus</i>	6	0	0	0
<i>Quercus coccifera</i>	0	0	3	0
<i>Quercus ilex</i>	24	255	24	113
<i>Quercus pubescens</i>	7	41	16	105
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0	0	2	0
<i>Smilax aspera</i>	20	0	30	0
<i>Thymus vulgaris</i>	0	0	1	0

Ces données ont été intégrées dans le relevé floristique. Ensuite, il a été question d'obtenir des informations d'au moins deux états écologiques antérieurs, et ceci à partir des restes de charbons de bois. Nous avons été

amenés à faire deux sortes de prélèvements, ce qui devrait correspondre à deux périodes historiques distinctes : une première série de prélèvements est liée aux restes de charbons présents dans la failde, l'autre correspond aux

prélèvements faits à partir des murs de la cabane du charbonnier (Fig. 2). Cette dernière devrait nous fournir les informations historiques les plus reculées. Ce protocole suit

les indications des recherches anthracologiques antérieures effectuées par [Fabre \(1992\)](#).

Tableau 2 : Comparaison relative des deux charbonnières par leurs essences ligneuse « charbonnables » actuelles et celles retrouvées dans le passé

Taxons	Charbonnière 1		Charbonnière 2	
	Espèces actuelles exploitables	Charbons de bois analysés	Espèces actuelles exploitables	Charbons de bois analysés
<i>Arbutus unedo</i>		x	x	x
<i>Cistus</i> sp.		x	x	x
<i>Clematis</i> sp.			x	x
<i>Hedera helix</i>				
<i>Helleborus foetidus</i>				
<i>Juniperus oxycedrus</i>	x	x	x	x
<i>Lonicera</i> sp.			x	
<i>Phillyrea latifolia</i>	x	x	x	x
<i>Pinus halepensis</i>			x	x
<i>Quercus coccifera</i>			x	
<i>Quercus ilex</i>	x	x	x	x
<i>Quercus pubescens</i>	x	x	x	x
<i>Rosmarinus officinalis</i>				
<i>Smilax aspera</i>				
<i>Pistacia lentiscus</i>	x	x		x
<i>Thymus vulgaris</i>			x	

Par ailleurs, un inventaire des restes archéologiques retrouvés dans la zone de rejet de la cabane a été effectué. Les objets trouvés sont susceptibles d'être analysés du point de vue archéologique afin d'appréhender l'âge de la dernière exploitation de la charbonnière (information qui ne peut pas être obtenue directement à partir de l'analyse anthracologique).

Les huit prélèvements effectués sur le terrain ont été traités par tamisage, afin d'extraire les charbons de bois du matériel terreux. Ce tamisage s'est fait sous jet d'eau avec deux tamis en série (mailles de 1 cm et 5 mm respectivement). Une fois secs, les charbons ont été triés à la main sous une loupe binoculaire.

4- L'analyse anthracologique

Les méthodes exploitées dans cette étude dérivent des techniques d'analyses employées au Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

(CBAE) de Montpellier. Pour chaque prélèvement, 100 fragments de charbon de bois ont été analysés au microscope à réflexion ([Vernet et al., 1988](#)). Chaque échantillon est fracturé manuellement puis observé tout d'abord selon le plan de coupe transversal et le cas échéant selon le plan longitudinal. La reconnaissance des essences ligneuses a été faite à l'aide d'un atlas xylologique ([Schweingrüber, 1990](#)) et des collections de charbons de bois actuels du laboratoire. Les résultats sont traités qualitativement (type de taxon) et quantitativement (rapport du nombre d'observations pour un taxon donné sur le nombre d'identifications opérées) sur chaque échantillon ([Vernet, 2001](#)). Il faut rappeler que ces identifications ont pour objectif de donner une image approximative du milieu ayant été « potentiellement » exploité : la mesure des proportions des espèces présentes sur le site de charbonnage n'implique nullement le fait qu'on ait obtenu l'ensemble des variétés végétales présentes sur le site lors

du dernier charbonnage. Nous obtiendrons, en effet, des données qui restent relatives à une pratique humaine, donc fortement affectées par le libre arbitre. Au demeurant, la datation relative de ces échantillons ligneux n'est possible qu'en faisant référence aux analyses archéologiques citées ci-dessus.

RESULTATS

1- Relevés floristiques et estimation du nombre de rondins exploitables en vue du charbonnage

Charbonnière 1 : Espèces présentes : 9 ;
Espèces exploitables : 3

La flore actuelle comporte un grand nombre de *Quercus ilex* dont on pourrait tirer du charbon. On observe également quelques *Phillyrea latifolia* (filaires), dont il serait possible de tirer des rondins. Le reste de la végétation sert peu au charbonnage, car les végétaux sont de trop petite taille (petits ligneux, arbustes, plantes vivaces), mais le charbonnier pouvait utiliser ces espèces dans ses activités quotidiennes.

Charbonnière 2 : Espèces présentes : 13 ;
Espèces exploitables : 4

La flore actuelle comporte cette fois-ci des proportions de *Quercus ilex*, *Q. pubescens* et *Phillyrea latifolia* très semblables. A noter que le relief du pourtour de cette charbonnière a un dénivelé important, ce qui pourrait jouer un rôle dans la répartition des espèces de végétaux s'y trouvant. Elle est exposée au soleil, en adret, ce qui peut expliquer la plus grande diversité de plantes (héliophiles) en comparaison avec la charbonnière 1.

2- Analyses anthracologiques : comparaison des charbonnières

Quercus ilex domine la végétation autour des

deux charbonnières (plus de 80% de la végétation). Nous allons nous concentrer sur les autres végétaux présents en moins grand nombre et donc présenter seulement ces derniers dans les graphiques qui suivent. Cela nous permet de réduire l'échelle du graphique (Fig. 3) et d'avoir ainsi une plus grande précision d'observation.

Charbonnière 1 : L'intérieur CH.1 Int comporte 7 espèces, dont 3 (*Juniperus oxycedrus*, *Cistus* sp. et *Arbutus unedo*) sont plutôt de petite taille et héliophiles, comparées à *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Pistacia lentiscus* et *Phillyrea latifolia*. La périphérie est moins riche en espèces que l'intérieur de la charbonnière. Nous avons trouvé *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* et *Juniperus oxycedrus* en proportions plus ou moins équivalentes.

Le mur de la CH.1, vestige des charbonnages précédents, comporte principalement *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Pistacia lentiscus* et un peu de *Juniperus oxycedrus*.

Charbonnière 2 : L'intérieur CH.2 Int comporte également 7 espèces, notamment *Pinus halepensis* (qui n'était pas présent pour la CH.1). Nous trouvons en périphérie une diversité importante de végétaux, notamment du *Juniperus oxycedrus* et *Arbutus unedo* (arbousier). Cela peut être attribué à la pente qui s'est créée au fil du temps au centre de la charbonnière, répartissant du coup les charbons en périphérie. Le mur de la CH.2 comporte *Clematis* sp. (clématite) et *Cistus* sp. (ciste). C'est le seul endroit de la charbonnière où nous avons trouvé *Clematis* sp., qui date sans doute d'un charbonnage ultérieur, car le mur contient les restes de charbonnages accumulés au fil des ans.

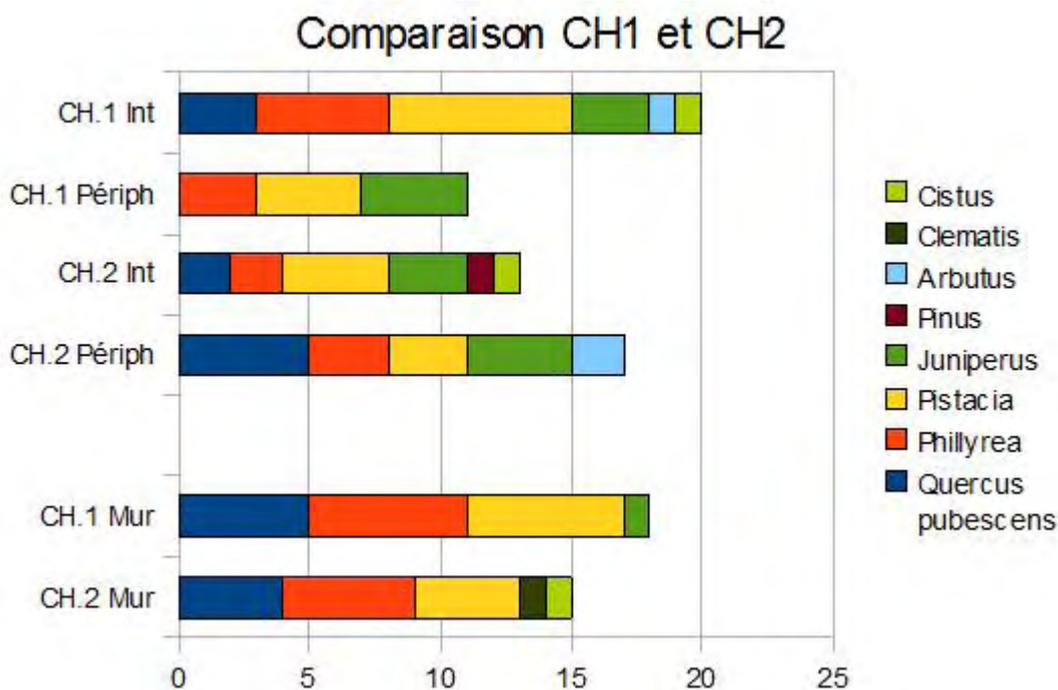


Figure 3 : Nombres de fragments identifiés pour les deux charbonnières étudiées CH1 et CH2

3- Comparaison entre les relevés floristiques actuels et les charbons de bois analysés

Il est intéressant de faire la comparaison entre les espèces présentes actuellement et celles que nous avons pu identifier suite à l'analyse des charbons de bois (Tabs. 1 et 2). Cette analyse comparative permet d'avoir déjà un aperçu de l'évolution qualitative de la végétation entre le dernier charbonnage et aujourd'hui. Nous rappelons que ces informations ne correspondent qu'à une partie de la végétation. Les seules essences ligneuses exploitées sont prises en compte (pour les charbons de bois) dans les comparaisons.

Charbonnière 1 : *Quercus ilex*, *Q. pubescens* et *Phillyrea latifolia* sont les espèces que l'on retrouve souvent sur le lieu de charbonnage. Elles étaient là précédemment et le sont encore aujourd'hui.

Lors du dernier charbonnage, nous avons pu identifier *Juniperus oxycedrus*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo* et *Cistus* sp. Dans la flore actuelle, *Arbutus unedo* et *Cistus* sp. ont disparu, et *Juniperus oxycedrus* et *Pistacia lentiscus* sont présents mais non exploitables

(car diamètre du tronc trop petit). A noter que nous avons relevé la flore sur un quart de la charbonnière seulement, il se peut donc que certaines espèces nous ait échappées dans les trois-quarts restants.

Charbonnière 2 : pour ce lieu de charbonnage, où la diversité floristique est plus importante que pour la charbonnière 1, nous pouvons observer que ce constat est également valable pour l'époque du dernier charbonnage.

Quercus ilex, *Q. pubescens*, *Phillyrea latifolia* et *Pinus halepensis* sont des espèces communes au lieu du charbonnage ; *Pistacia lentiscus* a vraisemblablement disparu depuis le dernier charbonnage ou n'a pas été trouvé lors du relevé floristique effectué sur un quart de la charbonnière.

4- L'analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'objectif de cette analyse permet de mettre en évidence les principales informations relatives à la composition et la structure de la végétation, et de hiérarchiser les facteurs qui les contrôlent. L'AFC (Fig. 4) a été effectuée en utilisant le nombre de fragments de

charbons analysés pour chaque espèce. Cette analyse nous permet de comparer les deux charbonnières, en regardant quelles espèces sont majoritaires aux différents points de

prélèvements. On peut ainsi observer la corrélation entre les points de prélèvement et leur richesse en espèces.

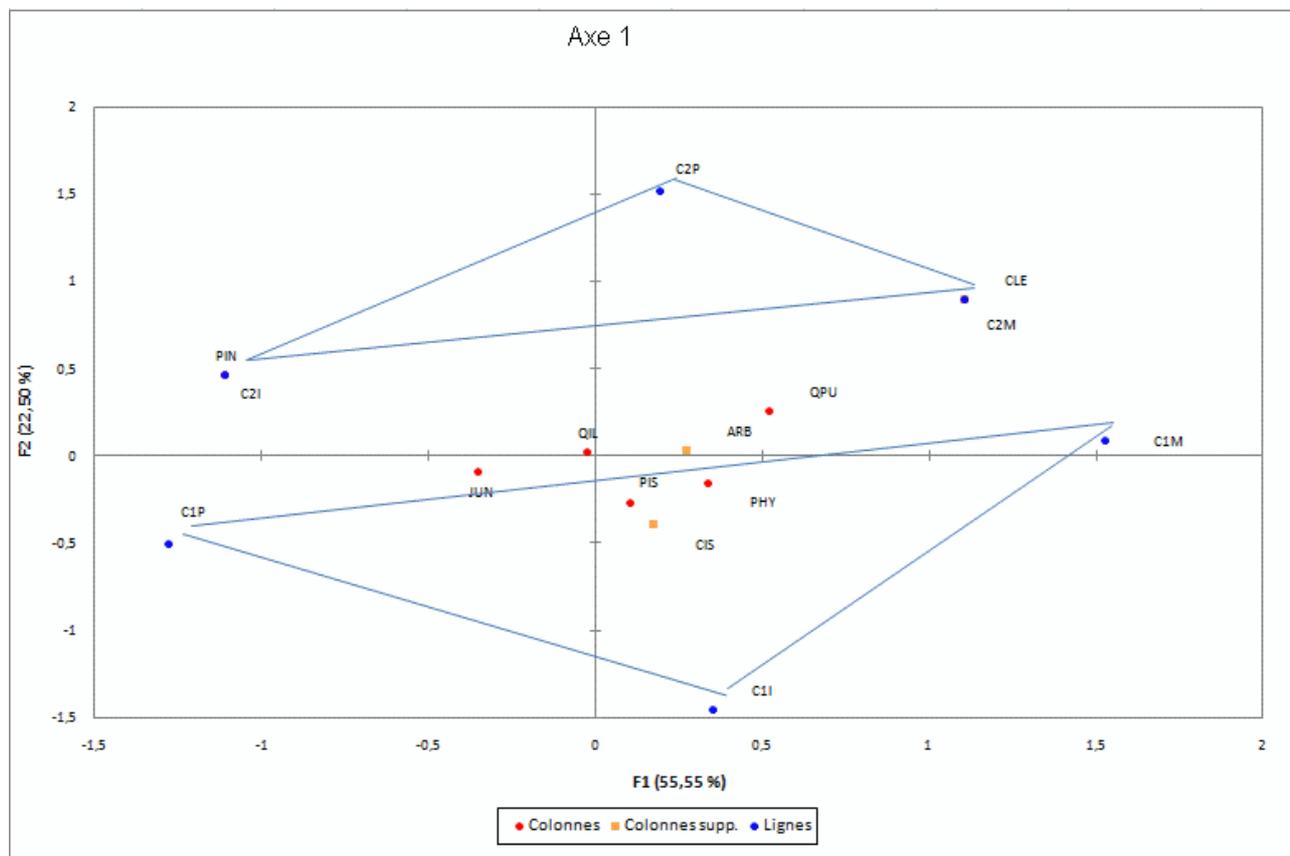


Figure 4: AFC de l'ensemble des charbons des bois retrouvés sur les deux sites.
 C1I & C2I : prélèvements intérieurs aux charbonnières 1 et 2,
 C1P & C2P : prélèvements en périphérie,
 C1M & C2M : prélèvements dans les murs.
 JUN *Juniperus*, QUIL *Quercus ilex*, QPU *Quercus pubescens*, ARB *Arbutus*,
 PHY *Phillyrea*, PIS *Pistachia*, CIS *Cistus*, CLE *Clematis*

L'axe 1, qui a une valeur propre supérieure à la valeur propre de l'axe 2, montre l'existence d'un gradient, qui à première vue semble opposer *Juniperus oxycedrus* à *Quercus pubescens*. L'axe 2 oppose dans un deuxième temps les deux charbonnières. Les points bleus reliés en triangle en haut du graphique représente la charbonnière 2, et les 3 points en bas correspondent à la charbonnière 1. Les points oranges et rouges correspondent aux essences végétales trouvées via l'analyse anthracologique.

A part le point désignant *Quercus ilex*, situé

au centre du graphique (et qui donc est trouvé à tous les endroits de prélèvement pour chacune des charbonnières), les autres essences se répartissent entre les différents endroits de prélèvement. Ainsi on peut observer par exemple que le genévrier cade se trouve préférentiellement soit vers l'intérieur de la charbonnière 2, soit vers la périphérie de la charbonnière 1. Ce que l'on peut tirer de cette analyse est que les paramètres écologiques des deux charbonnières diffèrent dans le temps (soit pour les intérieurs et pour les deux murs).

Pinus halepensis et *Clematis* sp., qui sont

caractéristiques de la charbonnière 2, n'ont pas été pris en compte parce que leur abondance n'était pas suffisamment importante pour qu'on les considère dans l'analyse au même titre que les autres espèces.

DISCUSSION

Nous allons ici interpréter les informations récoltées en faisant référence aux diverses analyses déjà effectuées sur le sujet du charbonnage en garrigue.

Tout d'abord, il est intéressant de mettre en évidence les différences et les particularités que comportent les deux charbonnières à l'état actuel. Les relevés floristiques montrent, en effet, que les deux sites analysés ont des caractéristiques écologiques dissemblables. D'une part, la charbonnière 1 représente un milieu assez fermé caractérisé par une richesse spécifique relativement faible ; d'autre part, la charbonnière 2 présente quatre espèces supplémentaires qui, associées à une forte densité de *Quercus pubescens* et *Phillyrea latifolia*, caractérisent un milieu plus « ouvert ». Ces différences ne sont probablement pas imputables à l'ancienne pratique du charbonnage et dépendent essentiellement de la topographie : la présence d'une route qui coupe le bas de la charbonnière 2 (ouvrant ainsi une fenêtre frontale à cette dernière) et la forte pente du versant offrirait un meilleur ensoleillement aux arbustes et aux plantes en générale de petite taille qui se développent au dessus de la chênaie.

Ces paramètres « topographiques », qui sont restés semblables au cours des derniers siècles, nous permettent de comprendre les changements dans la diversité spécifique des lieux de charbonnage. En regardant ces derniers résultats (Fig. 4), nous remarquons que l'ancienne composition floristique passée « exploitable » des deux charbonnières était différente. De plus, ceci est facilement observable dans l'AFC (Fig. 4) où les caractères des deux charbonnières s'opposent. Du point de vue temporel, le mur nous renseigne sur une époque antérieure à celle de la faulde. A noter que *Pinus halepensis*

présent sur la charbonnière 2 est probablement âgé de plusieurs décennies au vu de son diamètre de plus de 60 cm. Cela pourrait nous donner éventuellement une date relative de l'abandon de la charbonnière 2. Par ailleurs, nous remarquons que le nombre d'espèces charbonnées est généralement moindre par rapport à celles retrouvées dans les fauldes. Ce constat est à interpréter du point de vue ethno-botanique plutôt qu'écologique (Gandon et al., 1999). Il est probable que le charbonnier ait voulu utiliser une essence plutôt qu'une autre pour constituer la ramille qui couvre la charbonnière, ou que la taille de l'arbre qu'il utilisait habituellement n'était pas convenable au charbonnage. Il est probable que la perte de diversité dans notre cas est à chercher dans la pratique de charbonnage et non uniquement dans la composition floristique des époques passées. C'est pour cela que nous gardons à l'esprit que l'analyse anthracologique, même en étant un outil remarquable, reste tributaire des pratiques humaines qui sont variables dans le temps et dans l'espace (Battesti, 1992).

De surcroît, et toujours par rapport à l'analyse anthracologique nous prenons en considération la problématique de l'échantillonnage car il est certain qu'une perte d'information est liée aux processus taphonomiques présidant à la constitution des assemblages fossiles. Si dans l'interprétation des résultats, on prend en considération ce phénomène, et que l'on s'intéresse à la comparaison entre les espèces présentes actuellement et celles retrouvées dans l'ensemble des charbons de bois, il est possible de constater un autre fait important. En effet, il semblerait que l'exploitation de la garrigue par les charbonniers ait permis à une flore héliophile de se développer en parallèle au développement (par rejets et drageons) de *Quercus ilex*. Ceci est observable dans les tableaux 2 et 3 qui montrent que, pour la CH1, deux espèces (*Arbutus unedo* et *Cistus* sp.) ont peut-être disparu depuis le dernier charbonnage. Cela pourrait être attribué au manque de lumière procuré par le développement de la chênaie. En effet dans une logique de compréhension des phénomènes

écologiques, nous mettons en évidence que la pratique de coupe donnait un avantage sélectif à *Quercus ilex* aux autres essences. Celui-ci a en effet un fort pouvoir de régénération par drageonnement et par rejet, ce qui le favorise face à *Quercus pubescens* par exemple.

CONCLUSION

L'analyse anthracologique informe sur la composition végétale d'un milieu anthropisé, comme celui de la garrigue. Cette discipline, associée aux recherches archéologiques, permet de comprendre les corrélations et interactions entre l'Homme et la dynamique écologique d'un milieu. Notre étude était basée sur le fait d'une dynamique végétale imputable à l'abandon de la garrigue. Les résultats, en complément des études paléoécologiques antérieures, indiquent qu'une succession végétale entraîne une fermeture du milieu ainsi qu'un appauvrissement floristique des formations végétales liées au chêne vert. Toutefois, nos données, correspondant à une période trop réduite, ne permettent pas de vérifier que le taillis de *Quercus ilex* évolue vers une futaie de *Quercus pubescens*. Une telle succession est un processus ayant lieu sur le long terme, et peut prendre des siècles, voire des millénaires.

REFERENCES

Battesti V. (1992). *Une charbonnière expérimentale, méthodologie de l'anthracologie sur les charbonnières pour une approche de la gestion du milieu forestier en Languedoc*. Mémoire de Maîtrise, Université Montpellier 2.

Chabal L. (1991). *L'homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne, des âges des métaux à la période romaine : Recherches anthracologiques théoriques, appliquées principalement à des sites du Bas Languedoc*. Thèse de doctorat, USTL,

Montpellier, 435 p.

Dugrand R. (1964). *La garrigue montpelliéraine. Essai d'explication d'un paysage*. Presses Universitaires de France, Paris.

Fabre L. (1992). *Le charbonnage historique en région méditerranéenne française : approche expérimentale et anthracologique*. URA CNRS 1477, Université Montpellier 2.

Fabre L., Candebage P. (1990). *Charbonnières et bois historique de la Boissière*. Mémoire de Maîtrise, USTL, URA 1477, Montpellier, 55 p.

Fabre L., Grau Almero E., Lalanne J.-F., Vernet J.-L., Durand A. (1991). *Charbonnière et forêt méditerranéenne à la Boissière (Hérault)*. USTL Lab. Paléobotanique, Environnement et Archéologie, Montpellier, 8 p.

Gandon R., Garcin F., Vidal G. (1999). *Dynamique de la chênaie d'Yeuse (Quercus ilex) et l'action de l'homme sur les causses de l'Hortus*. Mémoire d'initiation à la recherche, Université Montpellier 2.

Schweingrüber F.H. (1990). *Anatomie europäischer Hölzer, vol. 1 & 2*. Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart.

Vernet J.-L. et al. (1988). *Développements méthodologiques de l'analyse anthracologique. Une approche directe des flores préhistoriques*. ATP Archéométrie 1985-1988, Rapport final CNRS, 102 p.

Vernet J.-L. (1973). Étude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire, d'après les charbons de bois principalement. *Paléobiologie continentale*, 4 : 1-90.

Vernet J.-L. (2001). *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents. Sud-ouest de l'Europe : France, péninsule ibérique et îles Canaries*. Edition CNRS, Paris, 395 p.

ANNEXE

Tableau récapitulatif de l'ensemble des données dérivant de l'analyse anthracologique

Site	Espèces>>	QIL	QPU	PHY	PIS	JUN	PIN	ARB	CLE	CIS
Intérieur 1	C1I1	83	1	5	5	5	0	0	0	1
Intérieur 2	C1I2	77	4	5	10	1	0	2	0	1
Périphérie	C1P	89	0	3	4	4	0	0	0	0
Mur	C1M	82	5	6	6	1	0	0	0	0
Intérieur 1	C2I1	87	1	1	5	4	1	0	0	1
Intérieur 2	C2I2	89	2	3	4	2	0	0	0	0
Périphérie	C2P	83	5	3	3	4	0	2	0	0
Mur	C2M	85	4	5	4	0	0	0	1	1
Placette 1	PL1	86	14	1	0	0	1	0	0	0
Placette 2	PL2	34	32	19	0	0	19	0	0	0

RELATION ACTUELLE POLLEN-VEGETATION DANS LES LAVOGNES DU BASSIN DE ST-MARTIN-DE-LONDRES

Martin Jeanmougin¹, Evanne Le Fur², Adrien Taudière³

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

¹ martin.jeanmougin@etud.univ-montp2.fr, ² evanne.le-fur@etud.univ-montp2.fr,

³ adrien.taudiere@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Marie-Pierre Ledru et Serge Muller

Résumé : Une analyse phytosociologique de quelques lavognes du bassin de Saint-Martin-de-Londres et de leur périphérie a été couplée à une analyse palynologique de sédiments de surface prélevés dans ces mêmes mares. L'objectif est de mettre en relation les données de végétation actuelles avec les assemblages polliniques afin de caractériser l'association et la représentativité. En effet, la connaissance des relations pollen-végétation des différents taxons étudiés devrait permettre une meilleure reconstitution de la végétation passée à partir de données palynologiques.

Mots clés : mare temporaire, palynologie, phytosociologie, sédiments de surface

Abstract : A phytosociological analysis of some temporary pools of the Saint-Martin-de-Londres basin and their vicinities is coupled with a palynological study of recent sediments sampled from the same pools. The aim is to connect vegetation data with palynological data in order to qualify the association and representativity between vegetation and pollen. Indeed, knowledge about pollen-vegetation relationships of the different studied taxa should allow the reconstruction of past vegetation from palynological data.

Keywords : temporary pool, palynology, phytosociology, surface sediments

Grâce aux études sur la reconstitution des paléoenvironnements, la compréhension des changements passés permet de mieux appréhender les changements futurs. La palynologie est l'une des composantes de l'étude des paléoenvironnements. Elle repose sur l'étude du pollen et des spores conservés dans les couches sédimentaires. En relation avec l'histoire, des données dendrologiques ou encore une étude géologique, elle permet une reconstitution fidèle de l'histoire des formations végétales. Cette étude s'intéresse aux grains de pollen des Angiospermes dans des sédiments de surface de mares temporaires du bassin de Saint-Martin-de-Londres. Elle a pour but de déterminer les relations entre la végétation et

le contenu pollinique des sédiments de surfaces des mares. La palynologie repose sur trois conditions (Reille, 1990) : la première consiste en une très bonne connaissance du rapport végétation/pluie pollinique que l'on considère constant au cours du temps, mais qui varie beaucoup selon les régions, les espèces représentées et le couvert végétal. La deuxième concerne la connaissance du rapport entre le pollen déposé et le pollen observé parfois aux termes de plusieurs milliers d'années, c'est-à-dire le degré de conservation des pollens qui peut s'avérer différent selon les grains de pollen. Enfin, la troisième concerne le palynologue puisqu'elle stipule que l'extraction, le comptage et l'identification doivent se faire sans biais. Cette étude s'intéresse tout particulièrement à la première condition, mais pourra aussi

mettre en valeur les difficultés rencontrées pour remplir la troisième.

MATERIEL ET METHODES

L'étude de terrain a été réalisée du 27 au 29 janvier 2010 sur 10 mares situées dans et à proximité du Bassin de Saint-Martin-de-Londres (Tab. 1 ; Annexe 1). Les données géologiques montrent que ces mares se trouvent sur des roches calcaires datant majoritairement du tertiaire. Ces mares sont des lavognes, c'est-à-dire des mares permettant aux troupeaux de s'abreuver. En raison de l'abondance de ces troupeaux, les mares sont pour la plupart très fortement pâturées, même si l'on assiste depuis la déprise agricole et l'exode rural à une

tendance à la fermeture des milieux. Aujourd'hui, les végétations autour de ces lavognes sont principalement des garrigues riches en termes de diversité floristique. Elles accueillent quelques espèces animales protégées, notamment des Amphibiens. Pour chaque mare étudiée, un relevé phytosociologique a été effectué sur un rayon de 10 mètres autour de celle-ci. Le paysage a été caractérisé brièvement (ouvert, fermé, exposé au vent, etc.). Des données recueillies l'an dernier par [Versini \(2009\)](#) sur les espèces présentes dans les mares ont également été utilisées (Annexe 2). Le prélèvement de quelques cm³ de sédiment de surface est réalisé, lorsque l'opération est possible, au centre de la mare.

*Table 1 : Caractéristiques générales des mares étudiées.
En italique, les mares dont le pollen n'a pas été étudié.*

Nom	Code	Commune	Lati.N	Long.E	Alt. (m)	Surf. (m ²)	Prof. (m)
Clapasses	CLA	Claret	43,8491	3,8593	323	40	0.2
Espinas	ESP	Claret	43,8588	3,8580	325	200	0.5
<i>Les Palles (côté non pâturé)</i>	<i>PAL-np</i>	<i>Cazevieille</i>	<i>43,7668</i>	<i>3,7969</i>	<i>281</i>	<i>35</i>	<i>1.0</i>
<i>Les Palles (côté pâturé)</i>	<i>PAL-p</i>	<i>Cazevieille</i>	<i>43,7668</i>	<i>3,7969</i>	<i>281</i>	<i>15</i>	<i>0.4</i>
Pampelune	PAM	Argelliers	43,7016	3,7183	131	70	0.4
Parking du Pic St-Loup	PSL	Cazevieille	43,7710	3,7946	294	30	0.2
Mas d'Auroux	AUR	Ferrières-les-V.	43,8669	3,8388	323	300	1.2
Mas Neuf	MAS9	Claret	43,8467	3,8633	332	180	0.6
Ombre	OMB	Claret	43,8627	3,8591	320	180	1.0
Saint-Etienne-de-Gabriac	SEG	Rouet	43,8167	3,7867	220	40	1.0

L'observation microscopique des types polliniques et des photographies représentatives des familles ont permis de se familiariser avec la détermination pollinique. Grâce à la collection de lames de référence de l'ISEM, un diaporama a par la suite été réalisé. Il expose les familles végétales les plus représentées dans les dix relevés phytosociologiques et donc susceptibles d'être retrouvées dans les échantillons polliniques. Chaque famille est caractérisée par la présence et le nombre de pores et de sillons, ainsi que par l'ornementation de l'exine et la taille moyenne du pollen.

Huit échantillons de sédiments parmi les dix ont été choisis pour n'utiliser qu'une seule

centrifugeuse et diminuer ainsi le temps d'extraction. Lors du protocole d'extraction, il y a eu une élimination des carbonates, puis une défloculation et un traitement à l'acide fluorhydrique (FH) pour supprimer la silice des échantillons. Ensuite, les fluosilicates produits par le traitement au FH ont été éliminés et le milieu acidifié. Pour finir, les échantillons ont été déshydratés et la cellulose a été éliminée. Après un passage à l'alcool, les échantillons polliniques ont été transférés dans des piluliers avec quelques gouttes de glycérine. A noter la perte, lors des manipulations en laboratoire, d'une partie du culot d'un des échantillons (AUR). De ce fait, il a été supprimé des comptages polliniques car présentant un trop grand risque de biais.

Le montage des lames, correspondant à chacun des sites, a été réalisé à partir de 25µl de chaque extrait. Chacun des trois échantillonneurs a monté ses propres lames. Les lames ont ensuite été analysées, par l'échantillonneur qui les a montées, sous microscope optique à un grossissement de 10x40 (le grossissement 10x63 étant réservé à la détermination du pollen). Les lames ont été comptées de façon homogène en colonne de sorte à obtenir 100 grains de pollen. Ces observations ont été reportées sur des feuilles de comptages (cf. Annexe 3) et ensuite transcrites sous tableur informatique. L'identification a été réalisée à l'aide de la collection pollinique de référence de l'ISEM et des atlas polliniques de [Moore & Webb \(1978\)](#) et [Reille \(1990\)](#).

En ce qui concerne le traitement des données, le biais d'échantillonnage a tout d'abord été traité sous la forme d'un histogramme présentant la moyenne du nombre total de pollens pour les différents échantillonneurs et pour toutes les mares en fonction des taxons étudiés. Les écart-types correspondent à la moyenne des écarts-types de chaque mare entre les trois analystes.

Le diagramme pollinique a été réalisé après le calcul de la concentration pollinique (CP en nombre de grains par cm³) selon la formule suivante :

$$CP = \frac{(NL/NT) \cdot SP}{VG \cdot VC} \cdot VS$$

Avec :

NL : Nombre de lignes comptées

NT : Nombre de lignes totales

SP : Somme pollinique

VG : Volume goutte (25µl)

VC : Volume culot

VS : Volume sédiment (1ml)

Le diagramme pollinique de l'environnement actuel en fonction de chaque site a été réalisé grâce au logiciel GPalWin ([Goeury, 1997](#)). Dans une optique comparative, un diagramme de la végétation périphérique (terrestre) et locale (aquatique) des mares a également été réalisé sous GPalWin en utilisant les indices de recouvrement du relevé phytosociologique. La relation entre le pollen et la végétation a été traitée en se basant sur le travail d'[Amami et al. \(2010\)](#) qui ont compilé de nombreux

travaux sur le sujet. La comparaison entre association et représentativité de la végétation par rapport au pollen retrouvé dans les sédiments est réalisée en se basant sur les indices de Davis. Respectivement, les calculs d'association (A), de sous-représentation (U) et de surreprésentation (O) sont ceux-ci :

$$A = B_0 \cdot (P_0 + P_1 + P_2)^{-1}$$

$$U = P_1 \cdot (P_1 + B_0)^{-1}$$

$$O = P_0 \cdot (P_0 + B_0)^{-1}$$

Avec :

B₀ : nombre d'échantillons dans lesquels le pollen et la végétation sont présents.

P₀ : nombre d'échantillons dans lesquels le pollen est présent dans les sédiments mais la plante est absente de la végétation.

P₁ : nombre d'échantillons dans lesquels le pollen n'est pas présent mais la plante est présente dans la végétation.

Une comparaison entre l'association et la représentativité des espèces herbacées et ligneuses a été réalisée en se basant sur le travail de [Webb et al. \(1981\)](#). Les R² représentant l'association et les coefficients directeurs, la représentativité. Chaque point correspond à la somme des concentrations polliniques des taxons herbacés ou ligneux d'un site.

Enfin, en se basant sur le travail de [Jacobson & Bradshaw \(1981\)](#), la proportion de pollen local a été analysée. Cette analyse ne différencie pas le pollen extra-local du régional, car il n'y a pas assez d'éléments pour les différencier. La courbe présentant la relation entre la taille des sites et la proportion relative des pollens originaires de zones différentes est visible en annexe (cf. Annexe 4), avec la proportion attendue dans le cadre de cette étude (en rouge sur la courbe).

RESULTATS

Afin de pouvoir traiter les données, quelques remaniements ont été réalisés. Lors d'une comparaison de taxons, si le niveau taxonomique n'est pas le même, un regroupement au niveau du taxon le moins précis a été effectué. Pour réaliser les diagrammes de végétation, les taux de recouvrement ont été convertis en pourcentages.

La Figure 1 représente le nombre moyen de grains de pollen comptabilisés par taxon avec comme barre d'erreur la moyenne des écarts-types de chaque mare entre les trois analystes. Cet écart-type correspond au biais dû à l'observateur et à l'échantillonnage. Ces

résultats révèlent des écarts-types qui, bien qu'importants pour certains taxons (Cyperaceae, *Quercus ilex* et Poaceae) restent raisonnables.

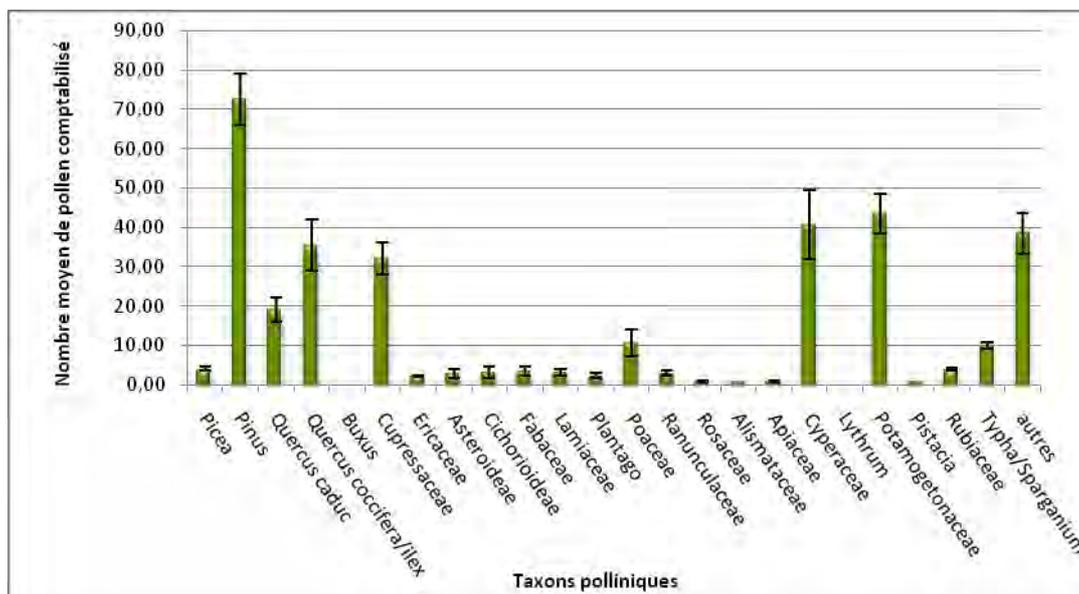


Figure 1 : Biais entre les différents analystes

Les diagrammes sont présentés Figures 2 et 3, et l'utilisation des indices d'association et de représentativité du pollen Table 2. Sur les taxons uniquement hydrophiles (d'après l'étude de terrain de Versini, 2009), seuls trois d'entre eux ont été retrouvés à plus de 5 % dans le pollen d'au moins une des sept mares. Il s'agit des Potamogetonaceae, de *Typha* et des Cyperaceae. En termes de végétation, la famille des Potamogetonaceae a été recensée à plus de 40% dans SEG et à moins de 10 % dans OMB, ESP, PSL et PAM. Le pollen de cette famille a été observé dans toutes les mares entre 3 et 20 % et jusqu'à 40 % pour SEG. Le pollen et la végétation de ce taxon sont fortement associés ($A= 0,71$) avec une légère tendance à la surreprésentation ($U= 0$ et $O= 0,29$).

Sur le terrain, le genre *Typha* à été observé à plus de 25 % dans les mares PSL et PAM.

Dans le pollen, il a été comptabilisé à 7 % dans PAM et à moins de 1 % dans PSL et SEG. Tout comme les Potamogetonaceae, le genre *Typha* est caractérisé par une forte association et une légère surreprésentation du pollen. Les Cyperaceae sont présents dans toutes les mares entre 6 et 42 %, sauf dans MAS9 où les plantes de cette famille ont été observées à moins de 1 %.

En ce qui concerne le pollen des Cyperaceae, il est compris entre 3 à 22 %, avec 6 % pour MAS9. L'indice révèle une association complète ($A= 1$). Les *Ranunculus* ont été retrouvés dans le pollen de toutes les mares mais à moins de 2 % alors qu'ils ont été quantifiés dans OMB (plus de 40 %), CLA (plus de 10 %) et PSL (2 %). L'indice A montre une association forte.

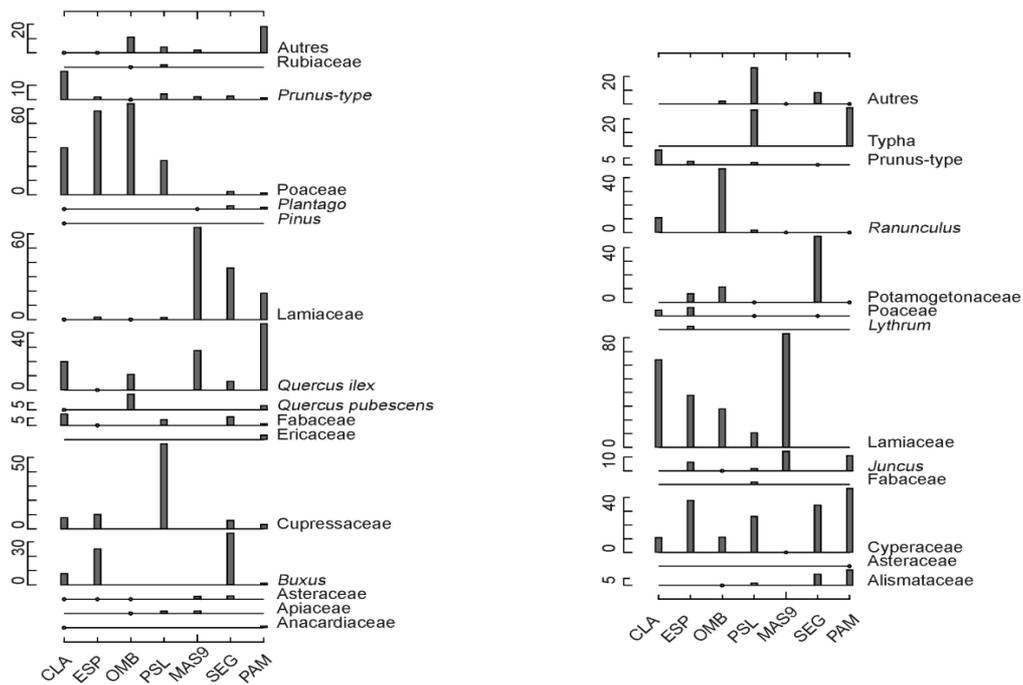


Figure 2 : Diagrammes de végétation (en pourcentages) des mares étudiées, pour les espèces terrestres à gauche, et les espèces hydrophiles à droite

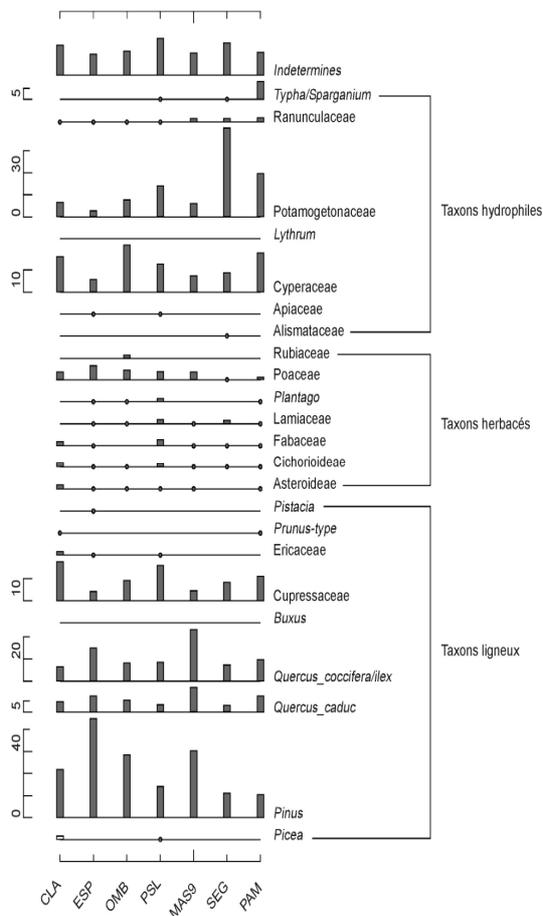


Figure 3 : Diagramme pollinique (en pourcentages) des sédiments de surface

Table 2 : Indices d'association et de représentativité.

Taxons	A	U	O	Représentation du taxon
Picea	0,00	∅	1,00	Fortement sur représenté
Pinus	0,14	0,0	0,86	Plutôt sur représenté
Quercus caduc	0,43	0,0	0,57	Plutôt sur représenté
Quercus coccofera/ilex	0,86	0,0	0,14	Légèrement sur représenté
Buxus	0,00	1,0	∅	Fortement sous représenté
Cupressaceae	0,71	0,0	0,29	Légèrement sur représenté
Ericaceae	0,00	1,0	1,0	Non associé
Asteraceae	0,86	0,0	0,14	Légèrement sur représenté
Fabaceae	0,83	0,0	0,17	Légèrement sur représenté
Lamiaceae	0,86	0,14	0,00	Légèrement sous représenté
Plantago	0,14	0,75	0,75	Faiblement associé
Poaceae	0,86	0,0	0,14	Légèrement sur représenté
Ranunculaceae	0,71	0,0	0,29	Légèrement sur représenté
Rosaceae	0,29	0,71	0,00	Plutôt sous représenté
Alismataceae	0,25	0,75	0,00	Plutôt sous représenté
Apiaceae	0,25	0,67	0,50	Faiblement associé
Cyperaceae	1,00	0,0	0,00	Complètement associé
Lythrum	0,00	1,0	∅	Fortement sous représenté
Potamogetonaceae	0,71	0,0	0,29	Légèrement sur représenté
Pistacia	0,00	∅	1,00	Fortement sur représenté
Rubiaceae	0,50	0,50	0,00	Sous représenté
Typha/Sparganium	0,67	0,0	0,33	Légèrement sur représenté
Juncaceae	0,00	1,0	∅	Fortement sous représenté
Anacardiaceae	0,00	1,0	∅	Fortement sous représenté

Les relevés phytosociologiques révèlent la présence de *Lythrum* dans ESP à 1 %, alors qu'aucun grain de pollen n'a été trouvé dans les sédiments de surface. Son pollen est fortement sous-représenté. De même, le genre *Juncus* a été observé sur le terrain dans cinq mares entre 1 et 12 %, sans être retrouvé dans l'analyse pollinique, son indice montre aussi une forte sous-représentation.

Les Alismataceae ont été identifiées dans quatre mares à moins de 10 % (dont SEG : 6 %) et ils n'ont été observés que dans les sédiments de SEG à moins de 1 %. Cette famille est plutôt sous-représentée.

Sur tous les taxons herbacés, seule la famille des Poaceae dépasse 5 % dans les résultats de l'étude pollinique, les autres sont quasiment absents. Les Poaceae sont présentes à plus de 25 % autour des mares CLA, ESP, OMB et PSL et leur pollen est présent dans tous les sites (jusqu'à 8 %). Les Poaceae présentent une forte association pollen-végétation ($A=0,86$).

Les Lamiaceae correspondent à la famille la plus observée sur le terrain, que ce soit dans la mare ou hors de celle-ci. En effet, ses pourcentages locaux (c'est-à-dire au sein de la mare) atteignent pour PAM, SEG et MAS9 respectivement 20, 40 et 60%. Autour de la mare, les pourcentages de végétation varient de 10 à 80% sauf pour SEG et PAM où cette famille n'a pas été observée hors de la mare. L'analyse du pollen révèle la présence de ce taxon dans toutes les mares sauf dans CLA, mais toujours à moins de 2%. Les indices montrent une forte association ($A=0,86$) avec une légère tendance à la sous-représentation ($U=0,14$ et $O=0$).

Les taxons polliniques Rubiaceae, Asteraceae, *Plantago*, Fabaceae et Apiaceae quant à eux, ont été observés sur le terrain et dans le pollen, mais toujours à moins de 5%. Les Apiaceae et *Plantago* sont faiblement associés. Les Fabaceae ($A=0,83$ et $U=0$) et les Asteraceae ($A=0,86$ et $U=0$) sont fortement associées et légèrement surreprésentées. Les Rubiaceae sont associées avec une tendance à la sous-représentation.

Dans le cas des taxons ligneux, *Buxus* a été observé autour de CLA (10%), ESP (24%) et SEG (32%). Il n'a pas été retrouvé dans l'analyse pollinique et présente une très forte sous-représentation ($A=0$ et $U=1$). *Pistacia* et *Picea* ne sont pas présents dans les relevés phytosociologiques, mais se retrouvent respectivement dans un ou deux prélèvements de sédiment. Ces taxons ne sont pas associés ($A=0$) et sont fortement surreprésentés ($O=1$).

Les Ericaceae ne sont présentes que sur PAM en termes de végétation et sur trois sites dans l'étude pollinique (PSL, ESP et CLA). Le pollen et la végétation ne sont pas associés ($A=0$).

Prunus-type est présent autour de toutes les mares, mais son pollen n'est présent que dans deux mares. Son indice révèle une sous-représentation.

Le pollen de *Pinus* a été retrouvé dans le sédiment de chaque mare et en grande quantité. Il correspond à une proportion qui varie entre 12 et 42 % du pourcentage pollinique, alors qu'il a été observé uniquement autour de CLA et avec un très faible taux de recouvrement. Son pollen est plutôt surreprésenté et peu associé. Les Cupressaceae ont été observées autour des mares CLA, ESP, SEG et PAM entre 2 à 10 % et en grande quantité autour de PSL : près de 60 %. Son pollen a été retrouvé dans toutes les mares (3 à 18 %) dont 15 % pour le sédiment du PSL. Cette famille est très associée et faiblement surreprésentée.

Enfin, les Fagaceae ont été séparées en deux types : *Q. ilex/coccifera* et *Q. pubescens*. Sur le terrain le *Q. ilex* a été bien plus observé que le *Q. pubescens*. En effet, *Q. ilex* a été quantifié autour de toutes les mares sauf ESP et PSL, et à plus de 20 % pour CLA, MAS9 et PAM. Alors que *Q. pubescens* a été observé autour de PAM et OMB et ne dépasse les 5% de recouvrement que pour OMB. En ce qui concerne l'analyse pollinique, celle-ci révèle la présence de ces deux espèces dans toutes les mares et en plus grande quantité dans ESP et MAS9, mais pour toutes les mares le rapport pollinique entre *Q. pubescens* et *Q. ilex* est de 2/3. *Q. pubescens* ($A=0,43$ et $O=0,57$) est faiblement associé et plutôt

surreprésenté alors que *Q. ilex* (A= 0,86 et O= 0,14) est très associé et légèrement surreprésenté.

La Figure 4 représente l'association et la représentativité du pollen sous forme graphique. Elle permet la comparaison de ces deux paramètres entre les espèces ligneuses et les espèces herbacées. Le R² indique la robustesse de l'association et correspond donc à l'indice A de la Table 2. Plus le coefficient directeur de la pente (a) est proche de 1, plus le pollen et la végétation du taxon sont associés. Lorsque « a » est supérieur à 1, le pollen a tendance à être surreprésenté, et lorsque le « a » est inférieur à 1, le pollen a tendance à être sous-représenté. La force de la sur- ou sous-représentation est d'autant plus forte que « a » s'éloigne de 1.

Pour la courbe de tendance linéaire (pour laquelle l'ordonnée à l'origine est 0) des taxons ligneux, le a= 0,85 et le R²= 0,29. Cela signifie que les ligneux sont légèrement sous-représentés et que leur association pollen-végétation est plutôt faible. Les points concernant les taxons herbacés ne sont pas interprétables car le pourcentage du pollen est globalement le même quel que soit le pourcentage de la végétation. Le R² de la courbe de tendance étant trop faible, celle-ci n'a pas été représentée.

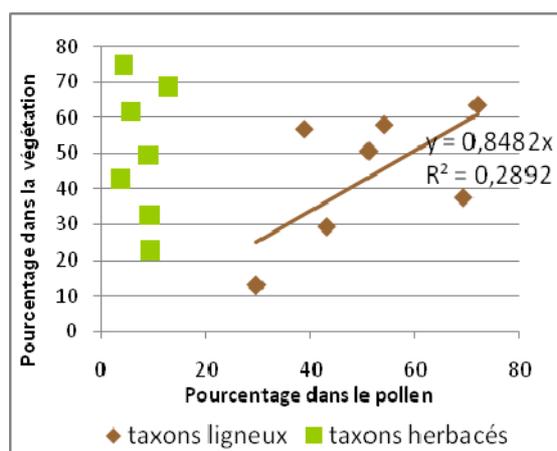


Figure 4 : Corrélation entre pollen et végétation pour les taxons herbacés et ligneux.

La proportion de pollen local, c'est-à-dire provenant des plantes hydrophiles, a été

calculée pour chaque mare. Elle est comprise entre 9 et 52% avec une moyenne de 29% et une grande variabilité entre les groupes (écart-type = 16). Ce pourcentage est beaucoup plus faible que celui attendu selon la courbe de Jacobson & Bradshaw (1981). En effet, la valeur attendue en local est de 80% au vu de la taille des mares étudiées.

DISCUSSION

Pour savoir si le biais entre les trois analystes est significatif ou non, un test de détermination des grains de pollen aurait dû être mis en place : chacun des analystes aurait compté le pollen de la même ligne sur une même lame. Puis un test statistique du χ^2 , permettant d'analyser si les distributions sont identiques, aurait été mis en place et aurait permis de valider ou non l'utilisation des moyennes des comptages.

Pour ce qui est des diagrammes et des indices de Davis, plusieurs taxons présentent une très forte association pollen-végétation. La plupart de ces taxons sont légèrement surreprésentés (*Quercus ilex*, Cupressaceae, Asteraceae, Fabaceae, Ranunculaceae, *Typha*, Poaceae et Potamogetonaceae). Dans ce cas de figure, le pollen présent sans végétation proche correspondante pourrait provenir de la végétation extra-locale voire régionale. Ainsi, ces taxons produisent la plupart du temps une grande quantité de pollen qui se dissémine bien par le vent, au moins jusqu'à moyenne distance.

Les Poaceae sont parmi les plantes qui produisent le moins de pollen et pourtant, leur association est forte. Cela démontre une anémogamie très efficace.

Un seul taxon est légèrement sous-représenté (Lamiaceae). Cela est sans doute dû à l'entomogamie de ce taxon qui ne favorise donc pas la présence de pollen dans les mares. Enfin, les Cyperaceae sont complètement associés. La présence de leur pollen dans des sédiments anciens peut donc être interprétée comme une preuve de présence dans la végétation locale.

Cependant, cette association est uniquement prise en compte qualitativement. En effet, les indices de Davis ne prennent en compte que

la présence où l'absence de pollen. Dans certains cas, cet indice qualitatif correspond à une réalité numérique. Ainsi, dans le cas des Potamogetonaceae, il y a bien le maximum de grains de pollen dans les sédiments du site pour lequel le recouvrement des plantes de cette famille atteint 40%. En revanche, dans d'autres cas, la réalité numérique semble contredire les indices de Davis. Ainsi, chez les *Ranunculus* qui sont qualitativement très associés, il y a du pollen dans tous les sites mais en très faible quantité, alors que sur le terrain, ils représentent 40% sur un des sites et 0% sur quatre mares. De plus, les proportions les plus importantes de pollen ont été retrouvées dans les sédiments des sites dépourvus de *Ranunculus*. Dans ce cas, il ne semble pas y avoir de relation entre la quantité de pollen et la quantité de végétation périphérique. Il serait intéressant, pour remédier à cela, d'utiliser, en complément des indices de Davis, des indices prenant en compte les données quantitatives.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette différence entre l'association qualitative et l'association quantitative. Plusieurs de ces hypothèses partent du postulat qu'en présence de beaucoup d'individus, chaque individu produirait moins de pollen. Une adaptation locale, ou plus vraisemblablement une acclimatation ou une communication entre les différentes plantes du genre *Ranunculus*, expliqueraient une relocalisation de l'énergie pour une autre fonction que la production de pollen, car une production faible suffirait pour assurer la reproduction. Enfin, une compétition intra-spécifique pour la ressource obligerait les individus à allouer moins d'énergie à la reproduction car il faut plus d'énergie pour acquérir des ressources.

Un seul taxon présente une association moyenne, les Rubiaceae. Cela démontre que la présence de pollen n'indique pas obligatoirement la présence de végétation, et l'absence de pollen l'absence de végétation.

Six taxons présentent une faible association. *Pinus* et *Q. pubescens* sont plutôt surreprésentés. Cependant, les *Pinus* sont presque fortement surreprésentés au vu des données numériques très en faveur du pollen.

Ainsi, la présence de pollen de *Pinus*, même en forte proportion, n'indique pas une forte proportion de végétation de *Pinus* périphérique. Les Alismataceae et Rosaceae sont plutôt sous-représentées. Les Apiaceae et les *Plantago* sont quant à eux parfois surreprésentés, parfois sous-représentés. Leur association est donc faible. Pour ces deux taxons, il est par conséquent très difficile d'utiliser le pollen pour prédire leur présence.

Enfin, sept taxons ne sont pas associés. Les Ericaceae sont parfois fortement surreprésentées et parfois fortement sous-représentées. Leur pollen est donc inutilisable en ce qui concerne la palynologie des lavognes de cette région. *Picea* et *Pistacia* sont fortement surreprésentés. La présence de pollen dans un sédiment n'indique donc que leur présence à l'échelle régionale. Enfin, *Buxus*, *Lythrum*, les Juncaceae et les Anacardiaceae sont fortement sous-représentés. Cependant, leur absence dans le pollen peut être due à leur non détermination et non pas à leur absence effective. Néanmoins, il est certain que ces quatre taxons ne sont pas fortement associés et donc que l'utilisation de leur pollen dans une étude de reconstruction des paléoenvironnements doit se faire avec précaution.

En ce qui concerne la représentation graphique des taxons herbacés et des taxons ligneux, elle montre que les plantes herbacées ont un pourcentage de pollen faible (entre 3,7 et 12,7%) quel que soit le pourcentage de la végétation. Ceci s'explique par le fait que les seuls taxons surreprésentés sont des ligneux et que la majorité des herbacés sont sous-représentés. En effet, les taxons ligneux sont plus rarement entomogames que les taxons herbacés.

Pour finir, le pourcentage de pollen local et extra local calculé à partir de la courbe de [Jacobson & Bradshaw \(1981\)](#) révèle un faible pourcentage de pollens locaux (<52%) alors que la courbe prédit environ 80%.

Ceci peut s'expliquer par plusieurs facteurs. En effet, la sur-proportion pollinique des taxons non locaux peut être partiellement expliquée par l'ouverture des milieux, propice à l'anémogamie extra locale voire régionale. De plus, les animaux pourraient en se lavant

amener du pollen dans les mares. En ce qui concerne la proportion pollinique faible des taxons locaux, elle peut être imputée à la sous-représentation des plantes herbacées dans les lavognes. En effet, toutes les plantes hydrophiles sont herbacées et il a été vu précédemment qu'elles sont sous-représentées pour ces sites. En outre, le surpâturage et l'utilisation par le bétail des lavognes pour s'abreuver et se laver entraînent une couverture très partielle de la végétation hydrophile sur les mares.

CONCLUSION

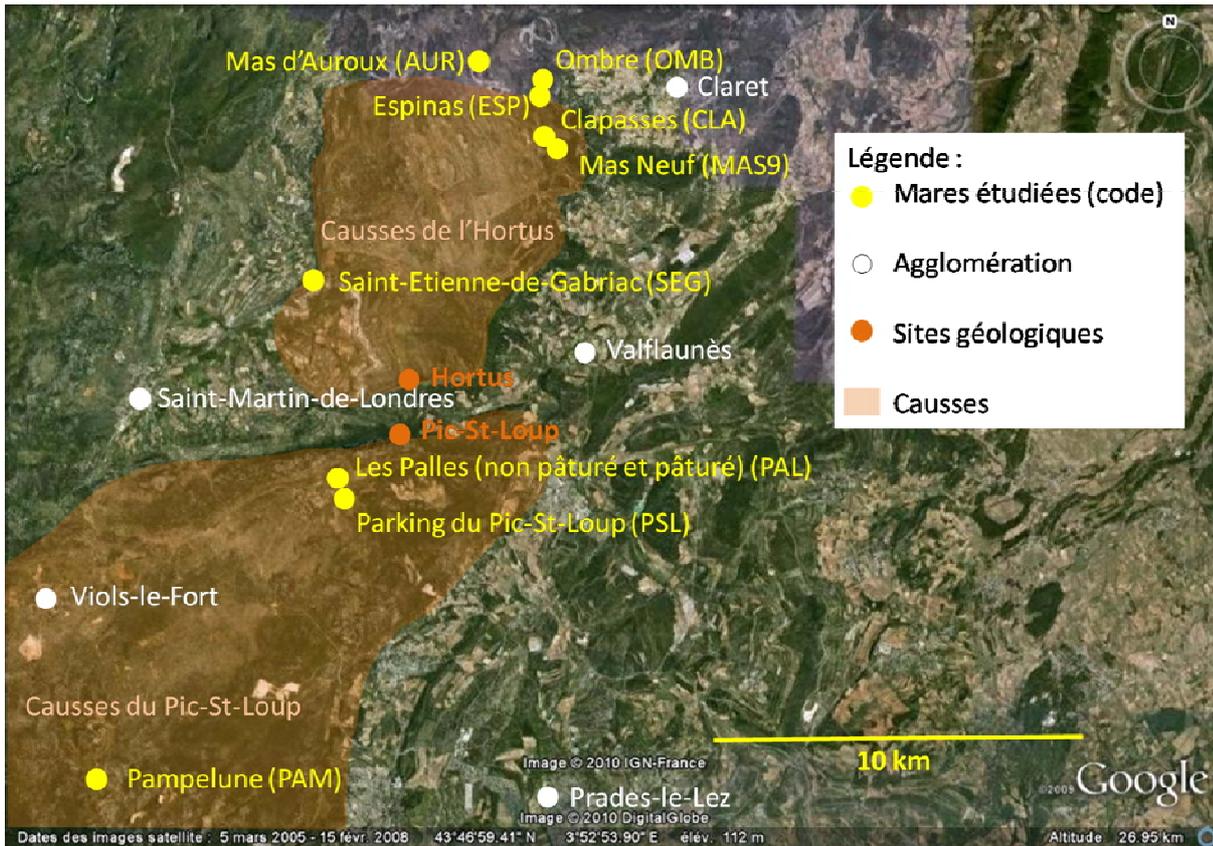
La palynologie repose sur trois conditions (Reille, 1990). Cette étude met en lumière essentiellement la première, qui concerne la connaissance du rapport pluie pollinique/végétation. En effet, au cours de l'étude, ce rapport a été estimé pour tous les taxons étudiés. Les indices qualitatifs obtenus sont à comparer avec d'autres indices qualitatifs et quantitatifs caractérisant les mêmes taxons présents sur d'autres mares temporaires méditerranéennes. Cela permettrait, en cas de résultats comparables, d'élargir ces résultats à l'ensemble des mares temporaires du bassin méditerranéen. Ainsi, la signature pollinique des mares temporaires et les rapports pluie pollinique/végétation permettraient une bonne reconstitution des paléoenvironnements de ces milieux. Le biais d'échantillonnage et d'analyse, troisième condition de Reille, aurait dû être testé par une méthode statistique plus fiable avec la comparaison des analyses des mêmes lignes d'une même lame de la part des trois analystes. Pour finir, il aurait été intéressant de comparer les différentes caractéristiques des mares, à partir d'un jeu de données plus important. Pour pouvoir en déduire leurs impacts sur les indices d'associations et de représentativité, sur les

rapports polliniques ligneux/herbacées et local/non local, et enfin sur la concentration pollinique totale dans les sédiments de chaque mare.

RÉFÉRENCES

- Amami B., Muller S.D., Rhazi L., Grillas P., Rhazi M. & Bouahim S. (2010). Modern pollen-vegetation relationships within a small Mediterranean temporary pool (western Morocco). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162 : 213-225.
- Goeury C. (1997). GPalWin : gestion, traitement et représentation des données de la paléocologie. Actes du XV^e symposium de l'APLF, Lyon, p. 31.
- Jacobson G.L. Jr. & Bradshaw R.H.W. (1981). The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research*, 16 : 80-96.
- Moore P.D. et Webb J.A. (1978). *An illustrated guide to pollen analysis*. Hodder and Stoughton, 133 p.
- Reille M. (1990). *Leçons de Palynologie*. Ed. CNRS, Paris.
- Reille M. (1999). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord* (4 volumes). Laboratoire de Botanique Historique et Palynologique, Marseille.
- Versini A. (2009). *Caractérisation et détermination des biocénoses des mares et lavognes des garrigues du Montpelliérais*. Master1 BGAE-FENEC, Université Montpellier-2.
- Webb T. III, Howe S.E., Bradshaw R.H.W. & Heide K.M. (1981). Estimating plant abundances from pollen percentages: The use of regression analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 34 : 269-300.

ANNEXE 1 : Localisation géographique des mares étudiées



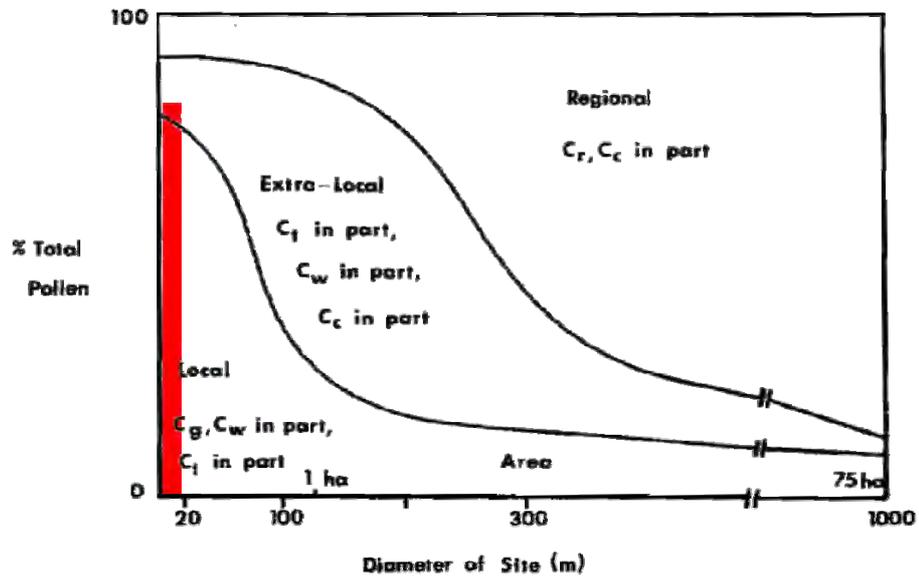
ANNEXE 2 : Tableau des relevés de végétation (d'après Versini, 2009).

Code		PAM	PAL-np	PAL-p	PSL	SEG	MAS9	ESP	OMB	CLA	AUR
<i>Achillea ageratum</i>	Asteraceae		3								
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alismataceae	+		+	1				+		
<i>Alopecurus bulbosus</i>	Poaceae		2,5								
<i>Baldellia ranunculoides</i>	Alismataceae	2	1	2	+	2					+
<i>Callitriche vernalis</i>	Callitrichaceae			1							
<i>Carex cuprina</i>	Cyperaceae								+		
<i>Carex divisa</i>	Cyperaceae		+			+					
<i>Carex flacca</i>	Cyperaceae	+	+			+	+	1	1	1	2
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bryophyte								3		
<i>Chara contraria</i>	Characeae	+									
<i>Chara globularis</i>	Characeae	+	2								
<i>Chara</i> sp.	Characeae					+	+	1	+		3
<i>Chara vulgaris</i>	Characeae	2	2								
<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae		1		+			1		+	1
<i>Dittrichia viscosa</i>	Asteraceae	+									
<i>Eleocharis palustris</i>	Cyperaceae	2	3	1	3	3		1	2	1	+
<i>Gratiola officinalis</i>	Plantaginaceae		2	1	3	1					
<i>Groenlandia densa</i>	Potamogetonaceae	+	3	4		5		1	2		3,5
<i>Juncus articulatus</i>	Juncaceae	2	2	1	1		+	+	+		1
<i>Juncus bufonius</i>	Juncaceae		3		1			1			1,5
<i>Juncus inflexus</i>	Juncaceae	+	2					+			
<i>Lythrum hyssopifolia</i>	Lythraceae							+			
<i>Lythrum tribracteatum</i>	Lythraceae		2								
<i>Mentha aquatica</i>	Lamiaceae						+				
<i>Mentha cervina</i>	Lamiaceae		2	+				1	3	1	2
<i>Mentha pulegium</i>	Lamiaceae		2	1	2			2	+	2	
<i>Potentilla reptans</i>	Rosaceae				1	+		+		1	+
<i>Ranunculus peltatus</i>	Ranunculaceae	+	1	1	1				4	1	2,5
<i>Ranunculus sardous</i>	Ranunculaceae		3						+	+	
<i>Rumex crispus</i>	Polygonaceae		+	+					+		
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Cyperaceae	+									
<i>Schoenus nigricans</i>	Cyperaceae	+					+				
<i>Scirpoides holoschoenus</i>	Cyperaceae	1				+		2	+		+
<i>Tolypella glomerata</i>	Characeae	+							+		
<i>Trifolium campestre</i>	Fabaceae		+								+
<i>Trifolium lappaceum</i>	Fabaceae		1		1						
<i>Trifolium resupinatum</i>	Fabaceae		3								
<i>Trifolium</i> sp.	Fabaceae		+		+						
<i>Typha angustifolia</i>	Typhaceae	3		1	3						
<i>Zannichellia palustris</i>	Zannichelliaceae		2	+		2	+		1		3

ANNEXE 3 : Tableau de comptage type

Site:	
Analyste:	
Nombre de lignes comptées:	
Nombre de lignes totales:	
Volume échantillon (ml):	
Volume culot (ml):	
Volume goutte: 25 µl	
Concentration:	
<i>Picea</i>	
<i>Pinus</i>	
<i>Quercus caduc</i>	
<i>Quercus coccifera/ilex</i>	
<i>Buxus</i>	
Cupressaceae	
Ericaceae	
Asteroideae	
Cichorioideae	
Fabaceae	
Lamiaceae	
<i>Plantago</i>	
Poaceae	
Ranunculaceae	
Rosaceae	
Alismataceae	
Apiaceae	
Cyperaceae	
<i>Lythrum</i>	
Potamogetonaceae	
<i>Pistacia</i>	
Rubiaceae	
<i>Typha/Sparganium</i>	
Autres:	
Somme pollinique:	

ANNEXE 4 : Relation entre la taille des sites et la proportion relative des pollens selon leurs origines (locale ou extra-locale ou régionale), d'après [Jacobson & Bradschaw \(1981\)](#). En rouge, la taille correspondant à la taille des sites étudiées. Pour rappel, dans cette étude, la courbe différenciant l'extra-local du régional n'est pas prise en compte.



ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE POST-INCENDIE D'UNE PARCELLE FORESTIÈRE MÉDITERRANÉENNE À L'AIDE DE L'ANALYSE DENDROCHRONOLOGIQUE

Léa Baronnat ¹, Caroline Damiano ², Naïla Nativel ³

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

¹ lea.baronnat@etud.univ-montp2.fr, ² caroline.damiano@etud.univ-montp2.fr,

³ naila.nativel@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Benoit Brossier

Résumé : L'objet de cette étude est d'utiliser la dendrochronologie et l'écologie comme outils afin de reconstituer l'état d'un milieu avant un incendie, et d'étudier la dynamique de ce milieu. La zone étudiée est située dans la commune de Lauret, sur le versant sud de l'Hortus (France, Hérault) dont la végétation est composée majoritairement de *Pinus halepensis* et de *Quercus ilex*. L'étude s'est portée sur trois parcelles plus ou moins affectée par l'incendie et l'anthropisation. En absence de feu, la pinède devrait évoluer vers une chênaie sclérophylle dense, alors que, consécutivement à un feu, l'ouverture du milieu favorise le maintien du pin d'Alep.

Mots clés : dendrochronologie, écologie, incendie, dynamique forestière, *Pinus halepensis*

Abstract : The aim of this study is to use dendrochronology and ecology as tools to reconstruct the status of an ecosystem before a fire, and to study the dynamics of this ecosystem. The studied zone is situated in the township of Lauret, on the south hillside of Hortus (France, Hérault). It is covered with a forest of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex*. This study concerned three different plots more or less exposed to fire and anthropisation. Without fire, the pine forest would tend to evolve towards a oak forest, while in presence of fire, the opening of the environment facilitates the maintain of Aleppo pine.

Keywords : dendrochronology, ecology, fire, forest dynamics, *Pinus halepensis*

Les arbres enregistrent au sein même de leurs structures des changements environnementaux liés par exemple aux changements climatiques, à des épidémies (insectes, champignons...) ou à des incendies. Etudier la croissance radiale des arbres par l'intermédiaire de la dendrochronologie permet de dater ces changements et d'analyser leurs effets sur les dynamiques environnementales (Rathgeber et al., 2003 ; Spiecker, 2002).

Les formations méditerranéennes du sud de la France sont affectées par des feux récurrents.

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est une espèce pionnière des formations végétales méditerranéennes, avec une croissance monocyclique et une forte sensibilité au feu. Il constitue ainsi un bon support pour des études dendrologiques. La croissance radiale des arbres répond en effet à la perturbation par les feux, et son analyse permet d'évaluer l'impact des incendies et leur occurrence dans le temps. Elle apporte également des informations sur l'évolution du peuplement et de manière générale, sur les dynamiques des paysages méditerranéens.

Nous avons réalisé une étude dendrochronologique sur la commune de Lauret (Hérault,

34), où un incendie s'y est déclaré au cours des années 2000 et a détruit une portion boisée à caractère méditerranéen. Pour cette étude, trois parcelles distinctes ont été étudiées : la première correspond à une parcelle témoin (non affectée par l'Homme et les incendies), la deuxième à une portion brûlée et la dernière à une zone anthropisée et affectée par l'incendie. L'étude a également porté sur la dynamique générale du milieu et sur l'impact des incendies sur des parcelles anthropisées et non anthropisées. Elle a enfin pour objectif d'analyser l'influence de l'activité humaine et de la déprise agricole sur l'évolution du milieu forestier.

MATERIELS ET METHODES

1- Zone d'étude

Nous avons effectué notre collecte d'échantillons sur la commune de Lauret (Hérault-34), située sur le versant sud de l'Hortus (Fig.1). Le site d'étude se situe à 36 km au nord de Montpellier, sur un massif calcaire karstique du Crétacé : les falaises de l'Hortus, orientées NNE-SSE. Le versant nord, le Patut, plonge en direction du bassin de Saint-Martin de Londres. Le versant sud, en pente plus douce, est un versant boisé. C'est sur ce second que se situe Lauret.

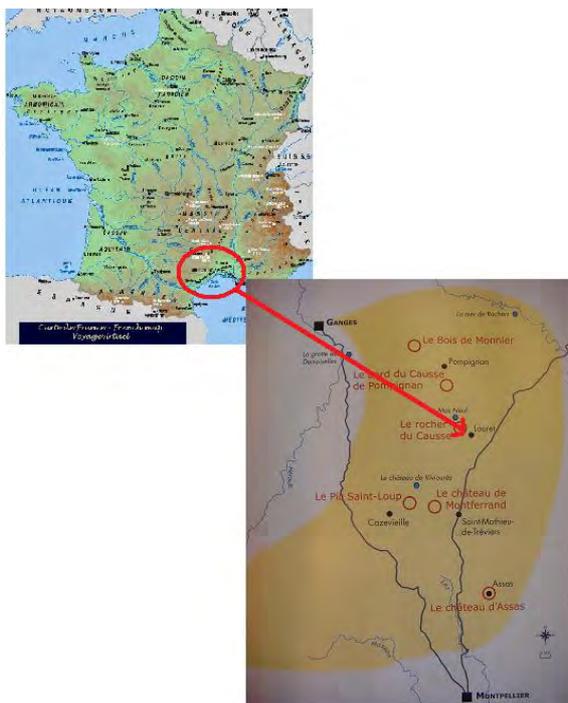


Figure 1 : Localisation du site d'étude

2- Climat

La région méditerranéenne s'étend entre le 44e et le 35e degré de latitude nord. L'environnement méditerranéen forme une entité caractéristique : les rôles joués par la sécheresse estivale et la température y sont déterminants pour distinguer cette région des autres parties du globe. Les précipitations moyennes oscillent entre 20 et 60 mm, dont 65% sont hivernales.

Les données météorologiques provenant de la station de Saint-Martin-de-Londres sont utilisées pour compléter les données (source : Météo-France). Cette station fournit trois types d'informations : les précipitations (RR : cumul des hauteurs en mm), les températures maximum (TX en °C) et les températures minimum (TN en °C). Elles sont données sous forme d'une moyenne pour chaque année.

3- Modèle biologique

Pour cette étude le Pin d'Alep (Pinaceae), caractéristique des forêts méditerranéennes a été étudié. Plusieurs formes de pins d'Alep sont distinguées en fonction du milieu dans lequel ils poussent : la forme solitaire est caractérisée par la persistance des branches basses et une expansion en tous sens, tandis que pour la forme forestière typique, seules les branches en hauteur persistent (Lieutaghi, 2006). Le pin d'Alep, est considéré dans certaines zones comme une espèce pionnière. En effet son développement rapide lui permet de coloniser les espaces abandonnés par les cultures. Ainsi, ils ne s'implantent pas dans des espaces déjà occupés par une végétation abondante, mais seulement sur des terrains ouverts, comme par exemple des espaces défrichés par les incendies.

Le pin d'Alep est une espèce qui a une durée de vie relativement courte, en région méditerranéenne française jusqu'à 80-90 ans seulement. Son bois possède des cernes d'accroissement annuel généralement bien visibles grâce à l'alternance de zones de bois final et bois initial. Les pins d'Alep enregistrent, lors de leur croissance, des témoignages d'événements relativement

récents (moins de cent ans). Les sécheresses estivales entraînent régulièrement des incendies qui façonnent le paysage méditerranéen. Des études ont montré que de toutes les espèces de pins, le Pin d'Alep est une de celles les plus sensibles aux incendies. Ce constat inclut d'une part les caractéristiques individuelles des arbres (l'épaisseur de l'écorce, la résistance du feuillage, celle des branches, l'architecture de l'arbre, etc.) et d'autre part le classement prend en compte les caractéristiques reproductives de l'espèce (Rigolot et al., 2009).

4- Travail de terrain

Afin d'évaluer la dynamique générale de la forêt de Lauret, le site d'étude a été subdivisé en trois parcelles. Ceci a permis de répondre à certains objectifs. En effet, les caractéristiques de chaque zone étant différentes, cela a permis de mesurer l'impact du feu sur deux parcelles affectées. De plus grâce aux données recueillies, la date de cet incendie pourra être déterminée. En outre, il sera possible d'observer les effets de l'anthropisation sur la dynamique de cette forêt, et reconstituer les environnements pré-feux.

Sont alors distinguées :

- La parcelle 1, épargnée par l'incendie, est caractérisée par une forêt mixte dense, constituée en majorité de Pins d'Alep et de

chênes (pubescent et vert). Il s'agit de la parcelle témoin.

- La parcelle 2 est caractérisée par une forêt mixte peu dense (milieux semi-ouverts à fermés). Il s'agit ici, d'une zone affectée par l'incendie mais non exploitée par l'Homme.

- La parcelle 3 est une zone anciennement anthropisée (oliveraies), caractérisée par une forêt peu dense (milieu ouvert). Elle est constituée d'arbres relativement jeunes et se situe à proximité de la parcelle 2.

5- Etude de l'accroissement radial du pin d'Alep grâce à la dendrochronologie

Tous les arbres présents sur les parcelles ont été carottés à l'aide de tarières de Pressler. Au total, 31 arbres ont été échantillonnés, dont 8 dans la parcelle 1, 12 dans la parcelle 2 et 11 dans la parcelle 3 (Tab. 1). Le but de cette manipulation est de prélever un rayon complet du tronc du pin échantillonné. En effet, il est indispensable d'atteindre exactement le centre du tronc pour prendre en considération le premier cerne et ainsi, déterminer l'âge exact de l'arbre au niveau du sondage. Afin de déterminer avec le plus de précision possible l'âge de l'arbre, le carottage a été effectué le plus près possible du collet.

Table 1 : Prélèvements et mesures effectués dans les 3 parcelles : dans la première colonne, les prélèvements pour l'étude dendrochronologique, et dans la seconde, les mesures pour l'étude écologique des parcelles.

Dendrochronologie	Paramètres évalués
Arbres morts brûlés (5)	Taux de régénération du Pin Taux de régénération du Chêne
Arbres vivants brûlés (23)	Nécromasse (pins morts au sol) % de recouvrement total
Arbres vivants non brûlés (3)	% de recouvrement par strate Âges moyens de tous les arbres et circonférences des troncs

RESULTATS

1- Analyses dendrochronologiques

La Figure 2 présente les dendroséries des arbres établis comme arbres de référence, sur les trois parcelles. Le profil de la parcelle 1 indique que les arbres datent en moyenne de 1940. Les arbres de la parcelle 2 datent de 1921 tandis que ceux de la parcelle 3 apparaissent comme les plus anciens et datent de 1968. Les années 1956, 1976, 1996 sont caractérisées par des chutes de croissance de cernes pour les arbres des trois parcelles. A ces diminutions de croissance sont associées de basses températures (au dessous de 15°C) et de faibles précipitations (20 mm de moins que l'année précédente). Ces années caractéristiques au niveau météorologique, induisent des cernes diagnostiques pour les arbres des trois parcelles. Par ailleurs, ces cernes diagnostiques coïncident avec ceux observés sur la dendrosérie référentielle de Marseille, et permettent de valider les dendroséries des trois parcelles. Les années 2003, 2004 et 2005 sont également caractérisées, par une diminution de la croissance des cernes. En 2003, la diminution de croissance des cernes pour les trois parcelles est combinée à une augmentation de la moyenne des températures et à une diminution des précipitations. Entre 2005 et 2006, la croissance des cernes est ralentie seulement sur les parcelles 2 et 3, alors que les températures ne présentent pas de variation importante et que les précipitations augmentent. Parallèlement, sur la parcelle 1, la largeur des cernes augmente et reprend donc après les épisodes de sécheresse des années précédentes. A partir de 2007, un élargissement des cernes est observé sur les trois parcelles, et semble lié à une augmentation de la moyenne des précipitations.

2- Données écologiques

Les trois parcelles présentent principalement trois strates (herbacées, arbustives et arborées) dans des proportions différentes

(Fig. 3). La parcelle 1 se distingue des deux autres par la forte proportion d'arbres (avec une dominance du chêne vert) et par le faible recouvrement de la végétation au sol. Dans les parcelles 2 et 3, le recouvrement au sol est important, notamment dans la parcelle 2 où la strate herbacée est largement majoritaire sur les strates arborescente et arbustive (Fig. 3). Bien que la strate arbustive soit en proportion égale dans les parcelles 2 et 3, les espèces présentes sont différentes : dans la parcelle 3, il y a une dominance de romarin (*Rosmarinus officinalis*), tandis que dans la parcelle 2, il y a une dominance de pistachier térébinthe (*Pistacia terebinthus*) (Annexe).

Dans la parcelle 1, une faible proportion de la strate herbacée a été notée, tandis que dans la parcelle 2, la strate herbacée est plus importante que dans la parcelle 3. Dans ces deux parcelles, il a été recensé une importante quantité de brachypode rameux (*Brachypodium ramosum*) (Annexe). Toutefois, la présence de thym (*Thymus vulgaris*) a été observée seulement dans la parcelle 3 (Annexe). Dans la parcelle 1, aucune nécromasse de pin n'a été observée, mais il est à noter qu'une quantité relativement importante de débris de végétaux a été relevée. Par ailleurs, les parcelles 2 et 3 se distinguent par leur proportion de nécromasse de pin. En effet, dans la parcelle 3 où les arbres sont plus jeunes, il est observé une proportion relativement importante de nécromasse, comparé à la parcelle 2 où les arbres sont les plus vieux (14 ans d'écart avec les arbres de la parcelle 1 et 30 ans avec ceux de la parcelle 3) (Fig. 4).

3- Taux de recouvrement et nécromasse

Dans la parcelle 1, la circonférence des pins est relativement plus grande que dans les deux autres parcelles. Par ailleurs le rapport des arbres morts sur vivants dans les parcelles 2 et 3 semble correspondre à la circonférence des arbres. En effet, pour des arbres de plus petite circonférence, il est observé un rapport mort sur vivant plus important dans la parcelle 3 que dans la parcelle 2 et inversement (Tab.2).

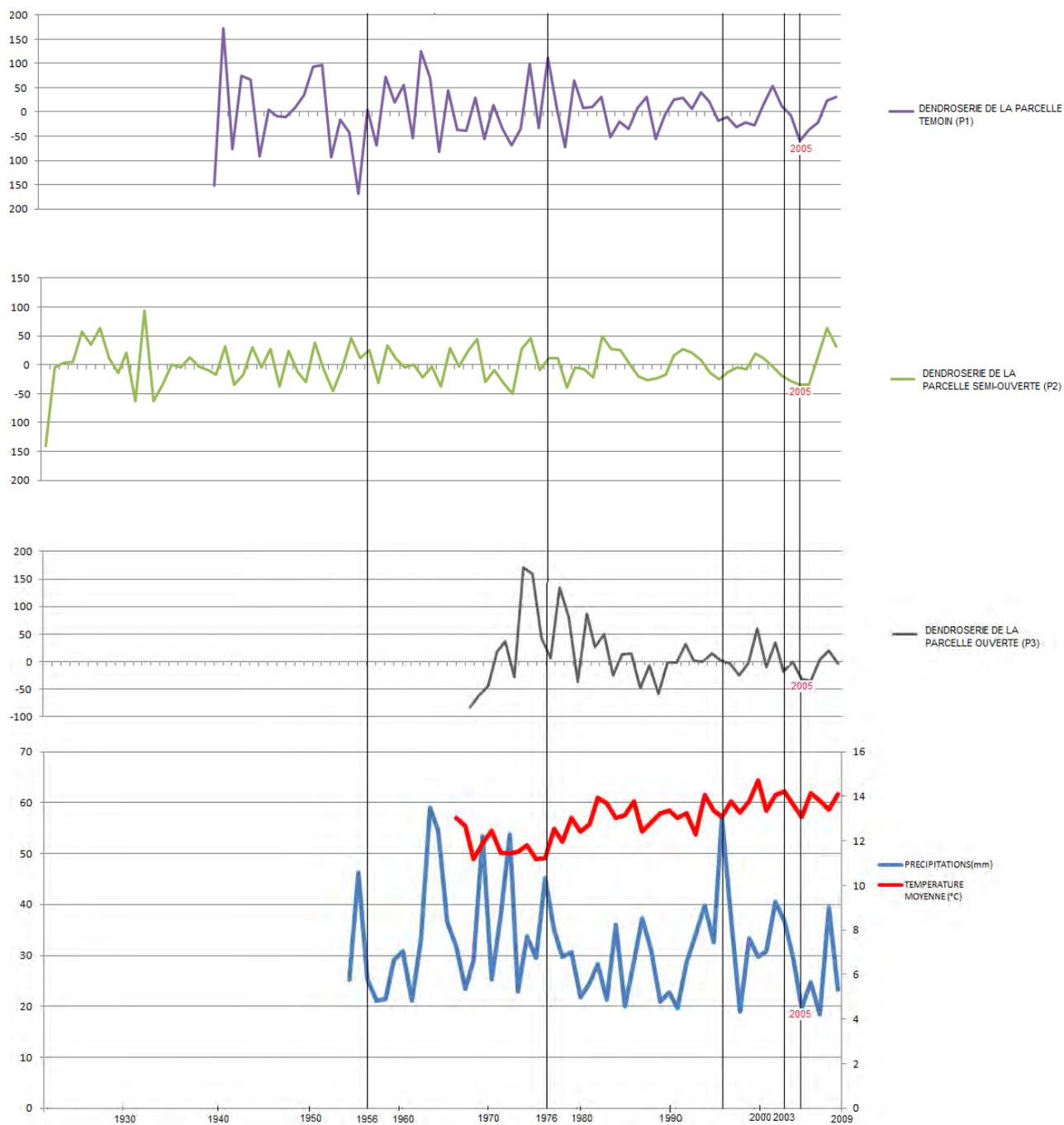


Figure 2 : Dendroséries (courbes violette, verte et grise) et météorologie (courbes rouge et bleue) des trois parcelles

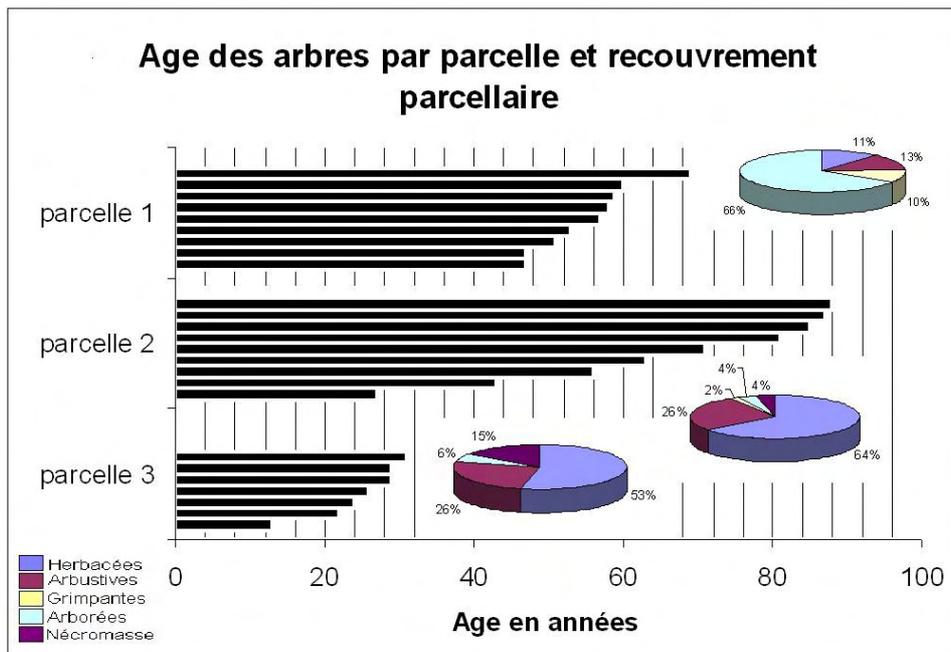


Figure 3 : Age des arbres et distribution des différentes strates pour chaque parcelle.

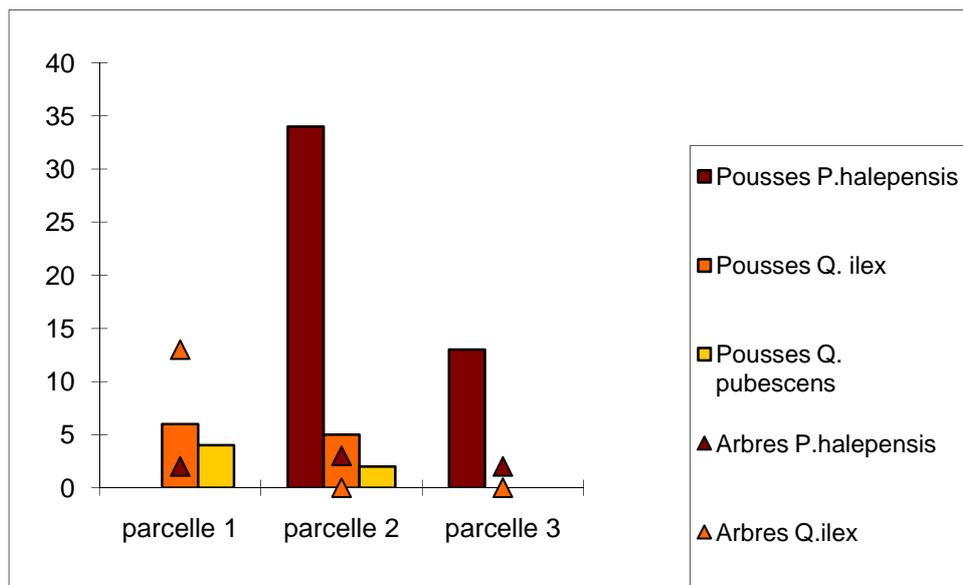


Figure 4 : Régénération des différentes espèces arborescentes sur les trois parcelles.

Table 2 : Nombre d'arbres vivants, morts et circonférence moyenne des arbres par parcelle.

Effectif / Parcelles	P 1	P 2	P 3
Arbres vivants	7	3	5
Arbres morts	0	9	20
Rapport Morts/Vivants	0,0	3,0	4,0
Circonférence moyenne des arbres	105,90	90,57	41,12

Une étude, menée en parallèle, a permis de donner une estimation qualitative de la biomasse avant le feu (Alart et al., 2010). Cette dernière est plus élevée dans la parcelle 2 (milieu semi-ouvert). La pédoanthracologie permet donc de différencier une zone sauvage et une zone cultivée.

Aucune régénération de pins n'a été observée dans la parcelle 1. Par ailleurs, il a été relevé un plus grand nombre de régénérations de pin sur la parcelle 2 que sur la parcelle 3. Alors que sur la parcelle 1, les jeunes individus de chênes blanc et vert étaient plus nombreux que sur la parcelle 2, aucune régénération de ces deux espèces n'a été recensée sur la parcelle 3 (Fig. 4).

DISCUSSION

La parcelle 1 (témoin), épargnée par des incendies récents, donne un aperçu de la situation pré-feu pour l'ensemble du site d'étude, tandis que les deux autres parcelles permettent d'observer un état (un stade) post-feu sur des zones plus ou moins fortement anthropisées. Par ailleurs, la complémentarité des données dendrochronologiques, météorologiques et écologiques permettent d'étudier ces différences.

La canicule de 2003 a eu un impact sur la mise en place des cerne, la croissance radiale ou le fonctionnement cambial au niveau des trois parcelles. Le stress engendré par la canicule se répercute sur une à deux années. Par ailleurs, les conditions météorologiques combinées aux données dendrochronologiques de l'année 2005 indiquent une perturbation relativement importante et indépendante de la température et des précipitations. Aussi, ces données corroborent la datation du feu décelée en juillet 2005. Cet événement affecterait donc considérablement la croissance des cerne et ceci pendant plusieurs années. En effet, l'année qui suit l'incendie, les parcelles 2 et 3 présentent un ralentissement de la croissance radiale qui serait en lien non pas avec un stress climatique mais avec un stress provoqué par le feu. En comparant les parcelles 2 et 3 à la parcelle 1, la datation du feu a pu être établie. En effet, les arbres référencés sur cette

parcelle ne présentent pas de cerne particuliers pour les années 2006 et 2007. Les répercussions de cet incendie sont perçues jusqu'en 2007, année pour laquelle les conditions météorologiques sont favorables et où les cerne devraient s'élargir. Après 2007, l'élargissement des cerne, plus prononcé sur les parcelles 2 et 3, laisse à supposer que l'ouverture du milieu induite par le feu est favorable à la croissance radiale des arbres.

L'absence de régénération de pin sur la parcelle 1 suggère également que l'ouverture du milieu, qu'elle soit due au feu ou à l'activité humaine, est indispensable à sa régénération. D'autre part, le feu stimule le caractère sérotineux (ouverture des cônes mûres) et favorise donc la régénération sur les parcelles brûlées (Rigolot et al., 2009). Cependant, la différence du nombre de rejets de pin, entre les parcelles 3 et 2, semble être liée à une maturité hétérogène entre les arbres de ces deux parcelles. L'estimation de l'âge moyen des arbres de la parcelle 3 (déterminée par la dendrochronologie) pourrait correspondre à l'abandon de cette zone, il y a environ 40 ans.

Par ailleurs, cette parcelle étant depuis peu abandonnée, il est possible d'y observer la mise en place du pin à travers de très jeunes individus. En effet, le milieu est colonisé par un certain nombre de jeunes pousses de pin, implantées relativement proches les unes des autres. Ces dernières semblent caractérisées par une croissance initiale relativement importante, ralentie ensuite par les effets de la compétition (lumière, ressources hydrique et trophique du sol) (Nicault et al., 2001). Les arbres de cette parcelle étant relativement jeunes et petits, la compétition intraspécifique n'a pas encore eu d'effet visible sur leur nombre, comparé à ceux de la parcelle 2.

Toutefois, l'âge relativement jeune et la faible circonférence de ces arbres les rendraient plus sensibles au feu que ceux de la parcelle 2, et pourrait expliquer la proportion plus importante de nécromasse dans la parcelle 3. Les arbres de la parcelle 2 seraient plus résistants et auraient mieux survécus à l'incendie. En outre, la limite d'âge des arbres

de la parcelle 1 n'étant pas encore atteinte, aucune nécromasse n'est observée.

Bien que les taux de recouvrement au sol des parcelles 2 et 3 soient différents, les proportions des strates entre ces deux parcelles sont relativement similaires. En effet, ces deux terrains ayant subi récemment la même perturbation, le processus de recolonisation par les différentes strates sont identiques. Les données dendrochronologiques soutiennent également cette hypothèse, avec une augmentation de croissance radiale des cernes après l'épisode feu, à la fois pour les arbres de la parcelle 2 que pour ceux de la parcelle 3. La variation du taux de recouvrement pourrait quant à elle être expliquée par la topographie. Le terrain de la parcelle 2 étant très incliné et celui de la parcelle 1 terrassé pour la culture, une différence d'exposition et d'hygrométrie est observée. Celle-ci (laquelle ?) induirait un développement de l'ensemble des végétaux plus important sur la parcelle 2. Le faible taux de recouvrement de la parcelle 1 pourrait s'expliquer par une canopée très dense, qui obstruerait l'accès à la lumière des strates herbacées. Cet accès limité à la lumière pourrait également expliquer l'absence de régénération de pin sur cette parcelle.

Par ailleurs, la proportion plus importante de régénération de pin que de chêne vert sur la parcelle 2 s'expliquerait par une meilleure adaptation du pin aux milieux xériques. L'absence de régénération de chêne sur la parcelle 3 pourrait être expliquée par un éloignement trop important des chênes matures de la parcelle 1 (peu de colonisation). Par ailleurs, la présence de jeunes pousses de chêne blanc uniquement sur la parcelle 1 pourrait marquer une étape de transition dans la dynamique forestière.

CONCLUSION

Les différentes parcelles étudiées (toposéquence) représentent différents stades d'une succession post-incendie (chronoséquence). Cette succession écologique est progressive, avec des étapes de transition. Les strates herbacées seraient les premières à se développer après feu, avant de laisser place

aux strates arbustives, puis arborées. En absence de feu, la pinède tendrait à évoluer vers une chênaie, composée d'abord de chênes verts puis de chênes pubescents. En présence de feu, cette dynamique forestière est interrompue, laissant place à un milieu ouvert qui favorise la régénération du pin d'Alep. La dendrochronologie, couplée aux données météorologiques et écologiques, a permis de retracer l'histoire du paysage de Lauret sur quelques dizaines d'années. Les arbres affectés par les incendies gardent des marques exploitables par la dendrochronologie. Les épisodes de feux, comme celui de 2005, entraînent le morcellement du paysage en une mosaïque de milieux ouverts, semi-ouverts et fermés.

REFERENCES

- Alart M., Montoux S. & Weltman F. (2010). La pédoanthracologie : un outil pour reconstruire la biomasse brûlée. *Orpal Synthesis*, 3 : 49-57.
- Lieutaghi P. (2006). *Petite ethnobotanique méditerranéenne*. Actes Sud, Arles, 335 p.
- Nicault A., Rathgeber C., Tessier L. & Thomas A. (2001). Observation de la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) : confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques. *Annals of Forest Science*, 58 : 769-784.
- Rathgeber C. & Roche P. (2003). Dynamique spatio-temporelle de la croissance d'un peuplement de pins à crochets dans les Alpes françaises. *Comptes Rendus Biologies*, 326 : 305-315.
- Rigolot E. & Roche P. (2009). Les incendies en région méditerranéenne. *Forêt Entreprise*, 185 : 13-14.
- Schnitzler-Lenoble A. (2002). *Ecologie des forêts naturelles d'Europe : Biodiversité, sylvigénèse, valeur patrimoniale des forêts primaires*. Editions Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 296 p.
- Spiecker H. (2002). Tree rings and forest management in Europe. *Dendrochronologia*, 20 : 191-202.

ANNEXE : Relevés floristiques des trois parcelles étudiées : 1 (témoin), 2 et 3. Les abondances sont données en pourcentages.

	Parcelle 1				Parcelle 2				Parcelle 3			
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O
Orientation												
% Recouvrement	40	80	45	85	95	65	90	90	50	50	30	60
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i>	0	0	0	0	0	35	0	0	+	0	0	0
<i>Asparagus acutifolius</i>	0	0	+	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachypodium ramosum</i>	20	0	0	0	55	25	50	40	25	55	0	60
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20	0	0
<i>Euphorbia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5
<i>Genista scorpius</i>	0	0	0	0	1	15	1	0	3	0	0	0
<i>Helianthemum</i> sp.	0	0	0	0	30	+	13	10	+	0	0	+
<i>Juniperus oxycedrus</i>	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
<i>Laurus nobilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
<i>Phillyrea angustifolia</i>	0	0	5	10	0	0	5	0	0	0	0	0
<i>Pinus halepensis</i> (%)	30	25	15	10	4	5	0	0	0	3	3	0
<i>Pinus halepensis</i> (arbres)	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
<i>Pinus halepensis</i> (rejets)	0	0	0	0	11	10	11	2	3	3	4	3
<i>Pistachia terebinthus</i>	0	0	0	0	2	0	0	40	0	0	15	+
<i>Quercus coccifera</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	+	0	15	0
<i>Quercus ilex</i> (%)	33	60	25	65	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quercus ilex</i> (arbres)	1	3	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quercus ilex</i> (rejets)	4	1	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0
<i>Quercus pubescens</i> (%)	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quercus pubescens</i> (rejets)	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhamnus alaternus</i>	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0	0	+	0	3	20	1	4	20	10	30	20
<i>Rubia peregrina</i>	+	0	20	+	+	0	0	0	0	0	0	10
<i>Ruscus aculeatus</i>	0	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Salvia verbenaca</i>	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0
<i>Smilax aspera</i>	+	+	35	5	+	0	0	6	0	0	0	0
<i>Thymus vulgaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	5	0
<i>Viburnum tinus</i>	15	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vivants (%)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	0
Chicots (%)	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Pins	75	90	50	85	0	0	15	0	15	10	30	5

LA PEDOANTHROLOGIE : UN OUTIL POUR RECONSTRUIRE LA BIOMASSE BRULEE

Marie Alart ¹, Sylvain Monteux ², Fanny Weltman ³

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

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

¹ marie.alart@etud.univ-montp2.fr, ² sylvain.monteux@etud.univ-montp2.fr,

³ fanny.weltman@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Adam Ali

Résumé : L'objet de cette étude est de déterminer si la pédoanthracologie est une méthode efficace pour reconstruire la biomasse brûlée en zone méditerranéenne. La zone étudiée est une colline calcaire située dans la commune de Lauret dans le Sud-Est de la France, et recouverte d'une forêt de *Pinus halepensis* et *Quercus ilex*. En contrebas de cette colline, se trouvent des oliveraies sur des terrasses aménagées. Le site a été affecté par un feu probablement en 2006. Une analyse pédoanthracologique, réalisée sur l'une des oliveraies abandonnée et dans la zone préforestière avoisinante, indique que l'antracomasse moyenne est trois fois plus élevée dans la zone préforestière (0,6 g/kg) que dans la zone cultivée (0,2 g/kg). On enregistre également une forte hétérogénéité spatiale, probablement façonnée par la structuration de la végétation.

Mots clés : pédoanthracologie, antracomasse, incendie, préforêt, oliveraie

Abstract : This paper discusses whether or not the use of pedoanthracology is a good way to reconstruct burnt biomass in the Mediterranean zone. The study area is a calcareous hill located in the township of Lauret, South-East France, and covered by a forest of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex*. Downside the hill, are olive grove terraces. The place probably burned in 2006. A pedoanthracologic analysis on an old olive grove and a half-forest zone revealed that the mean anthracomass is three times lesser in the olive grove (0,2 g/kg) than in the semi-forest zone (0,6 g/kg). We can also see a strong spatial heterogeneity, which is probably induced by the vegetation structuration.

Keywords : pedoanthracology, anthracomass, forest fire, preforest, olive grove

Le feu participe à modérer de nombreux paysages et communautés végétales, notamment celles du bassin méditerranéen comme la garrigue, structurant la biodiversité en sens large du terme et les dynamiques de végétation. La garrigue désigne une formation arbustive méditerranéenne sur calcaire. Elle représente un stade de la succession écologique passant de la pinède à la chênaie (Fig. 1).

De nos jours, la pinède s'étant sur des hectares au niveau du pourtour méditerranéen.

En 1878, le domaine du pin d'Alep concernait 36.000 ha en France, dont seulement 400 en Languedoc. En 1996, il occupait 28.000 ha en Languedoc. Aujourd'hui, sur le pourtour méditerranéen, le pin d'Alep occupe 233.500 ha contre 290.000 ha pour le chêne vert. Ces forêts secondaires de pins remplacent de manière transitoire la chênaie quand celle-ci a des chances de se reconstituer. Cette foudroyante colonisation du pin d'Alep est le résultat d'une plus grande anthropisation des milieux, rythmée durant les dernières décennies par la déprise agropastorale et le réchauffement du climat, avec des conditions

climatiques de plus en plus sèches, favorables aux feux et donc à l'ouverture des milieux. Beaucoup de feux se déclarent en période

estivale et détruisent une partie de la végétation méditerranéenne.

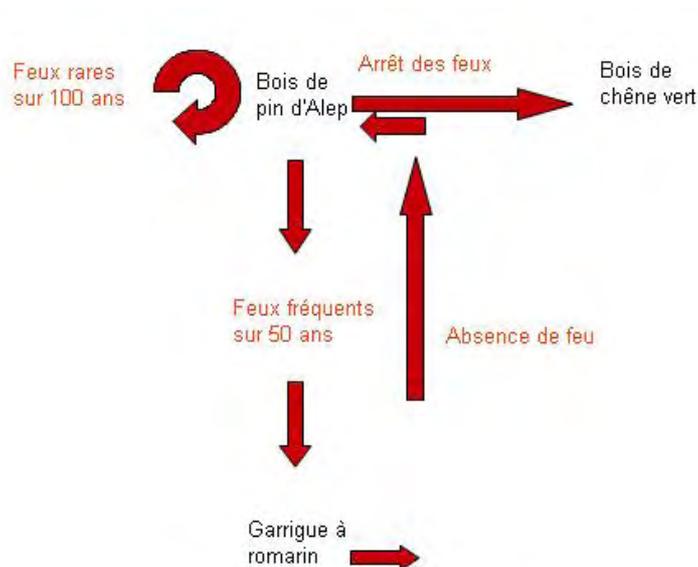


Figure 1 : Successions de végétation en fonction des feux et de leurs fréquences (Trabaud, 2004)

Des études ont montré que suite à un incendie, le milieu est recolonisé assez rapidement par les espèces existantes avant l'incendie. Ainsi, un an après le feu, 70% des parcelles étudiées possédaient déjà 75% des espèces qui seront présentes 10 ou 12 ans plus tard. Deux ans après le feu, ce pourcentage dépasse 80%. Le retour au stade initial est donc rapide : la structure des communautés végétales devient de plus en plus complexe, et sa physionomie se divise en strate basse (0-50 cm), strate intermédiaire (2-4 m) et strate haute. Elle tend à ressembler à celle des communautés non incendiées (Trabaud, 2004).

Le feu est un facteur écologique majeur dans les dynamiques de végétation caractérisant la garrigue et modulant en partie la biomasse au sol. En paléoécologie, l'outil permettant de caractériser la biomasse ligneuse brûlée au cours du temps (annuelle à pluriséculaire) est la pédoanthracologie. Cette approche est fondée sur l'analyse de charbons de bois préservés dans des sols. La question adossée à cette approche est : dans quelle mesure la pédoanthracologie permet-elle de restituer la

biomasse brûlée ? Autrement dit, quel est le niveau de résolution spatiale des reconstructions pédoanthracologiques ? Pour tenter de répondre à cette question, nous avons réalisé une étude sur une zone brûlée il y a 4 ans, présentant des parcelles cultivées et non cultivées (boisées). Notre hypothèse de travail est que dans la zone non cultivée, nous devrions enregistrer plus de charbons de bois au sol en comparaison avec la cultivée.

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Le site d'étude est localisé sur la commune de Lauret dans l'Hérault (Annexe 1), le long d'une colline recouverte par une formation de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) et de chênes verts (*Quercus ilex*) et présentant des terrasses aménagées pour la culture d'oliviers (*Olea europaea*). Le feu qui s'est déclaré en 2006 s'est étendu sur plusieurs hectares, brûlant une zone anciennement cultivée en contrebas de la colline, ainsi que le versant boisé.

Nous avons choisi d'étudier deux parcelles brûlées, l'une située dans l'ancienne zone

cultivée (ancienne oliveraie, notée O) et l'autre en zone boisée (pinède, notée P). Ces deux parcelles ont le même type de sol, c'est-à-dire une terre argileuse sur une roche-mère calcaire, mais différent par la végétation les recouvrant et par leur pente, qui induit de forts ruissellement et érosion au niveau de la parcelle P.

L'oliveraie brûlée présente la même structuration qu'une oliveraie encore en exploitation située plus au sud et ayant échappé à l'incendie. Cette oliveraie encore exploitée est une monoculture d'oliviers positionnés en rangées et séparés les uns des autres d'environ 10 mètres (oliveraie témoin, notée OT). La végétation dans l'oliveraie brûlée est composée d'herbacées, de jeunes *Pinus halepensis*, de jeunes *Olea europea* et de *Rosmarinus officinalis*.

La pinède brûlée est située à proximité de la limite de la zone incendiée. Le couvert végétal y est principalement arbustif, plus dense et plus diversifié que dans l'oliveraie. La végétation que l'on y retrouve est composée principalement de jeunes *Pinus*

halepensis et de chaméphytes. La terre dans cette parcelle est beaucoup plus foncée et argileuse, indiquant probablement un sol riche différent du sol appauvri observé dans l'oliveraie. La pente est plus importante, et l'on observe au sol les traces d'un lessivage important avec de très nombreux pierres et cailloux. Des charbons sont visibles à l'œil nu sur le sol.

2- Travail effectué sur le terrain

Des quadrats ont été déterminés au sein de l'oliveraie brûlée (quadrat O) et de la pinède brûlée (quadrat P), sur des terrains peu accidentés, de façon à faciliter les prélèvements. Leurs dimensions étaient de 8 x 8 m (64 m²) ; ils ont été divisés en 16 placettes de 4 m² chacune (Fig. 2). Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une binette à des profondeurs de 2-5 cm dans le quadrat P et 10 cm dans le quadrat O, puisque le ruissellement est susceptible d'avoir enfoui les charbons plus profondément dans ce dernier quadrat.

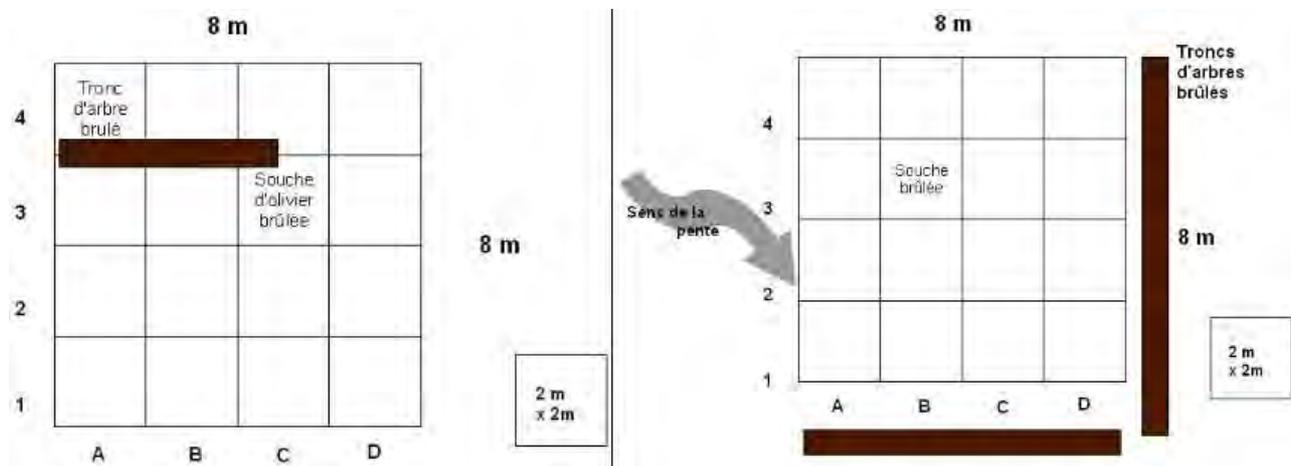


Figure 2 : Structure et subdivision en placettes des quadrats O (oliveraie, à gauche) et P (pinède, à droite).

Les relevés de végétation ont été effectués sur les deux quadrats, ainsi que dans une oliveraie entretenue située en contrebas (quadrat OT) et au niveau d'une pinède témoin située à 1 km environ de nos prélèvements (quadrat PT). Ces relevés montrent que la pinède témoin était une pinède en évolution vers une chênaie (Annexe 1). Ces relevés servent de référen-

tiels pour caractériser les végétations pré-incendies.

3- Travail de laboratoire

Le travail de laboratoire a consisté à tamiser la terre prélevée sur le terrain pour récupérer les charbons de bois et les quantifier. Une

masse de 1 kg de terre a été tamisée à l'aide de deux tamis, sous jet d'eau (2 mm et 400 µm). La terre tamisée a été récupérée et séchée à l'étuve ou à l'air ambiant sur des feuilles de papier journal. Les échantillons secs ont été à nouveau pesés, puis observés à la loupe binoculaire pour isoler les charbons de bois. Ceux-ci ont également été pesés, afin d'obtenir la masse de charbon pour 1 kg de terre. Le paramètre étudié sur les deux parcelles est l'antracomasse à 2 mm, c'est-à-dire la densité de charbon dans le sol, exprimée en g de charbon par kg de terre

(g.kg⁻¹). L'antracomasse devrait permettre d'obtenir une estimation de la biomasse présente avant le feu, et des résultats concluants montreraient une différence significative entre les deux parcelles.

RESULTATS

1- Relevés de végétation

Les résultats des relevés de végétation sont présentés Figures 3A et 3B.

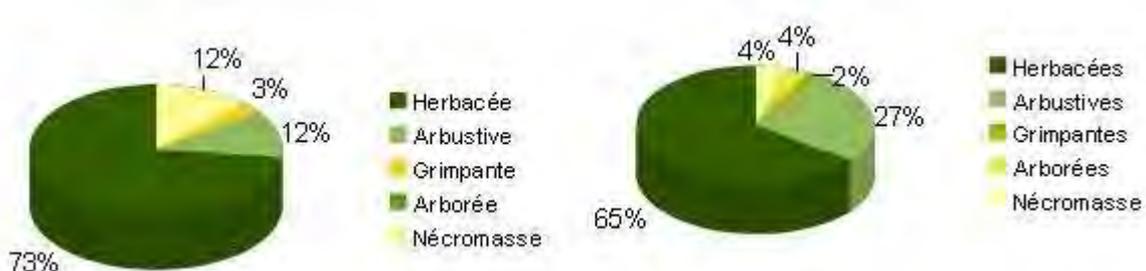


Figure 3A : Recouvrement des différentes strates de végétation dans les quadrats brûlés O (oliveraie ; à gauche) et P (pinède ; à droite)

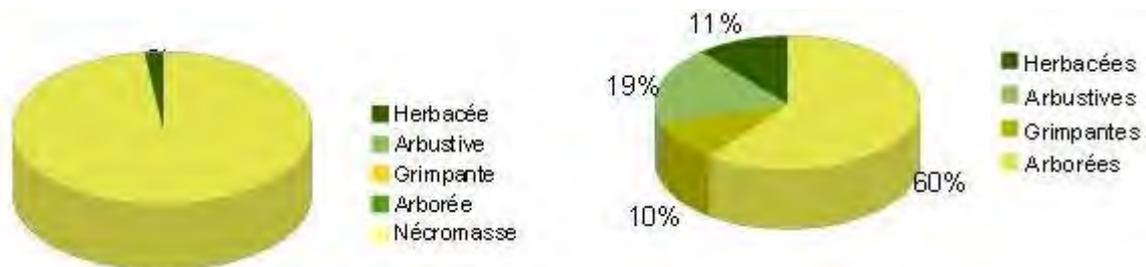


Figure 3B : Recouvrement des différentes strates de végétation dans les quadrats témoins OT (oliveraie; à gauche) et PT (pinède ; à droite)

On constate un changement de recouvrement de végétation entre l'oliveraie brûlée (quadrat O) et l'oliveraie témoin (quadrat OT). La quadrat OT est caractérisée par 98 % d'arbres (les oliviers cultivés) et le sol n'y comporte pratiquement aucune herbacée. A contrario, le quadrat O est caractérisé par une forte proportion d'herbacées pionnières (73 %) et par une régénération de pins et d'oliviers (12 %) âgés d'environ 4 ans.

Pour la quadrat P, on observe une importante

proportion d'herbacées (65 %), très peu d'arbres (4 %), en proportion équivalente à celle du quadrat boisé témoin PT (19-27 %). La parcelle PT est cependant beaucoup plus fermée (60 %) et présente moins d'herbacées (11 %).

2- Anthracomasse

Les résultats de l'évaluation des anthracomasses sont présentés Figure 4.

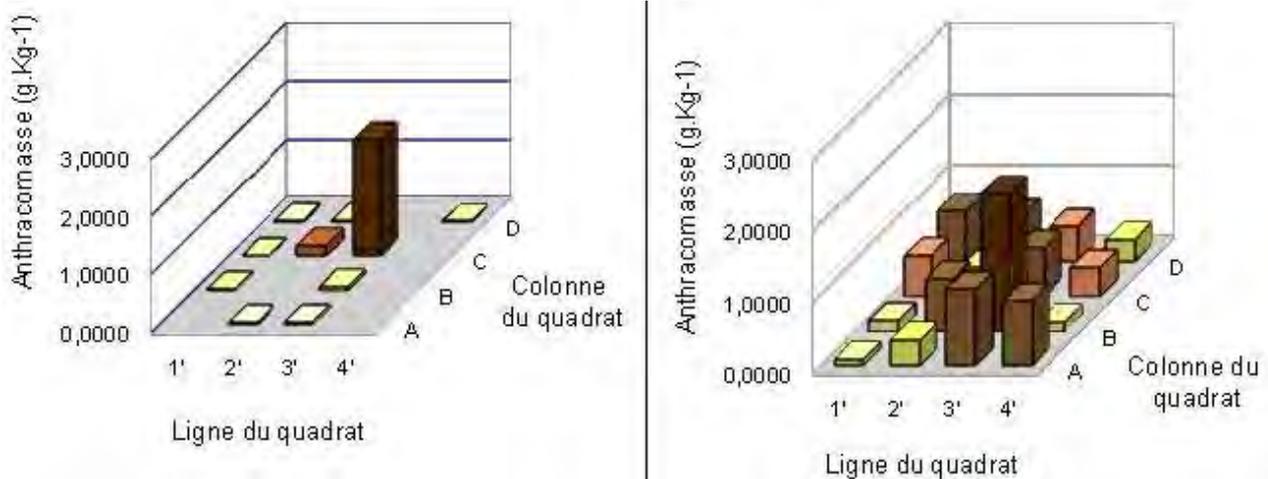


Figure 2: Anthracomasse par placettes à l'intérieur des quadrats des parcelles brûlées O (oliveraie ; à gauche) et P (pinède ; à droite)

Nous pouvons observer que sur le quadrat O, l'anthracomasse totale est de $2,42 \text{ g.kg}^{-1}$, et que celle-ci est répartie de manière très hétérogène (Tab. 1). La zone C3, qui compte une souche carbonisée d'olivier, cumule en effet 95 % de la masse de charbon.

Dans le quadrat P, nous obtenons une anthracomasse totale de $9,63 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tab. 1), répartie de manière plus homogène, en dépit

d'un pic de 52 % pour la placette B3. Il faut noter qu'il y a une souche de petite taille au niveau de cette placette. La variabilité de l'anthracomasse sur ce quadrat est relativement importante ($0,206\text{-}3,731 \text{ g.kg}^{-1}$). On observe des écart-types importants pour les deux quadrats, cependant l'écart-type du quadrat O est plus élevé au vu de sa moyenne ($0,20 \text{ g.kg}^{-1}$).

Table 1 : Anthracomasses totale et moyenne des quadrats O (oliveraie) et P (pinède)

Quadrats	Quadrat O	Quadrat P
Anthracomasse totale (g.kg^{-1})	2,423	9,631
Anthracomasse moyenne (g.kg^{-1})	0,202	0,602
Ecart-types (g.kg^{-1})	0,550	0,440

DISCUSSION

L'anthracomasse moyenne de l'oliveraie est plus faible que celle de la pinède (Tab. 1), avec une très grande variabilité spatiale, révélée par des écart-types élevés dans les deux quadrats, en particulier pour l'oliveraie. L'anthracomasse de l'oliveraie est surtout marquée par la souche d'olivier qui a brûlé et a fourni une grande quantité de charbons sur la zone C3 du quadrat. Sur les autres parties du quadrat, les anthracomasses sont très faibles. Nous enregistrons une forte

hétérogénéité spatiale matérialisant une végétation qui était très ouverte, pauvre en biomasse au sol. Par opposition, la pinède présente une anthracomasse moyenne plus importante, avec une répartition spatiale des charbons de bois au sol plus homogène, indiquant que la végétation ayant subi le feu était plus dense et la biomasse au sol plus importante.

Le sol de l'oliveraie est beaucoup moins argileux, moins dense et plus friable que celui de la pinède. Il semble qu'il est moins riche

en matière organique, qui permet aux plantes de se développer. Cette différence provient très certainement de l'activité agricole. Pour cultiver les oliviers, la colline a été aménagée en terrasses, entraînant l'appauvrissement des sols. De plus, la monoculture d'oliviers va de pair avec l'arrachage des autres végétaux, ce qui est cohérent avec l'anthracomasse mesurée.

Nos résultats montrent donc que la pédoanthracologie est un outil performant pour reconstruire la biomasse brûlée, avec la masse des charbons de bois enregistrée qui serait proportionnelle à la quantité de végétaux ligneux brûlés (Carcaillet & Thinon, 1996 ; Talon et al., 1997). Cependant dans les enregistrements paléoécologiques, il faut prendre en compte les conditions taphonomiques (de la production des charbons de bois à la fossilisation dans les sols) susceptibles de moduler les enregistrements pédoanthracologiques (Talon et al., 1997).

Le sol de la pinède est très caillouteux, ce qui peut être expliqué par la topographie qui entraîne une érosion et un lessivage importants des sols. Les charbons issus de l'incendie ont été en partie drainés vers l'aval, même si une partie est restée sur place, à une faible profondeur (2 cm en-dessous de la première couche de cailloux). Si le quadrat avait été réalisé sur une zone plus plane, on aurait peut être relevé une anthracomasse beaucoup plus importante.

La végétation dominée par le pin d'Alep que l'on retrouve dans la pinède témoin indique qu'il y a eu un incendie plus ancien, il y a près de 80 ans. En effet, en absence d'incendie, les pins d'Alep sont remplacés au bout d'un siècle par la série du chêne vert. Les individus de pins d'Alep que l'on y trouve ayant à peu près 80 ans (Baronnat et al., 2010), on peut penser que le scénario de l'incendie datant de 4 ans est une répétition du feu antérieur daté de 80 ans. De plus, les cônes du pin d'Alep peuvent être propulsés une fois enflammés lors des incendies, ce qui disperse davantage les graines ; le pin se développe donc plus rapidement que le chêne vert suite à un incendie.

Sachant que l'incendie datant de 80 ans a abouti à la formation d'une pinède, les pins y sont donc âgés de 70 à 80 ans. Leur longévité étant d'une centaine d'années, on peut penser que la transition vers la chênaie est en cours. Nos relevés de végétation sont en accord avec cette hypothèse, ce qui suggère que la végétation pré-incendie de la pinède correspondait à une pinède en transition vers une chênaie (cf. pinède témoin).

Une mesure de l'anthracomasse à une profondeur plus importante, de façon à atteindre les charbons issus de l'incendie datant de 80 ans, pourrait permettre d'obtenir des informations plus anciennes sur ces différences de biomasses, et d'évaluer si des zones anciennement anthropisées ont été colonisées par le pin d'Alep depuis cet incendie.

CONCLUSION

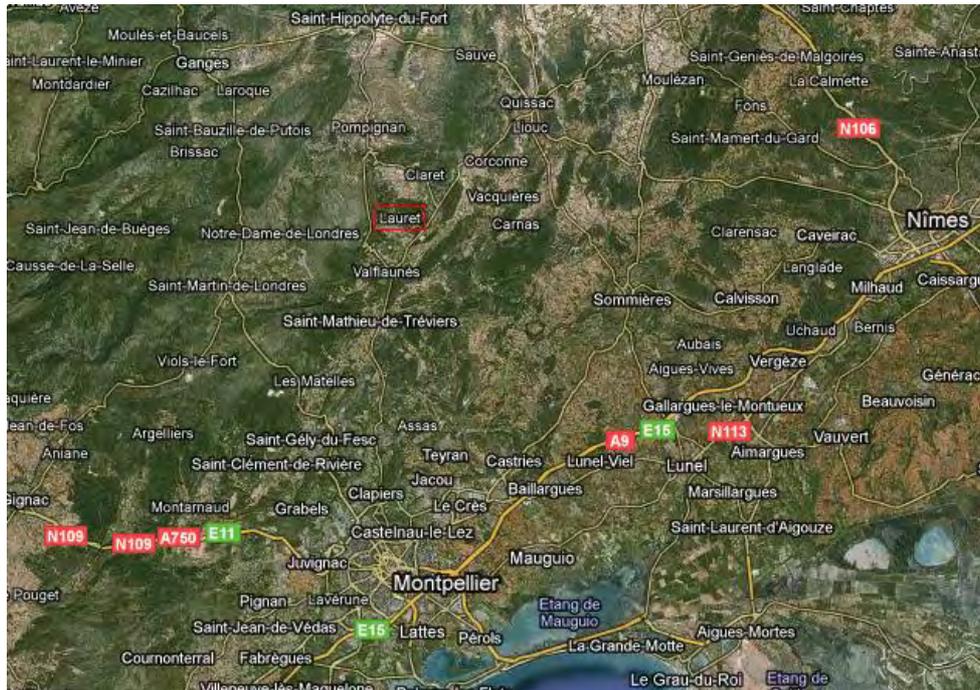
Les deux parcelles étudiées présentent une végétation très différente suite à l'incendie datant de 4 ans, et les parcelles utilisées comme témoins suggèrent que c'était également le cas auparavant. Les mesures d'anthracomasses montrent une différence du simple au triple, entre l'olivieraie et la pinède. On en déduit que la biomasse brûlée de la pinède était réellement plus importante, et que la pédoanthracologie est un bon moyen pour estimer la biomasse pré-incendie au sol.

Afin d'optimiser la reconstruction pédoanthracologique de la zone d'étude, nous aurions pu identifier les espèces brûlées à partir des échantillons de charbons de bois obtenus. Cette identification est possible au microscope optique, à partir de charbons de bois de grande dimension. Cependant, compte tenu du temps qui nous était imparti, il était difficile de procéder à de telles analyses. Les charbons de bois ont été stockés au laboratoire dans l'attente d'une poursuite éventuelle de l'étude. L'estimation de la quantité de biomasse serait plus efficace en utilisant également la fraction fine issue du tamis de 400 µm.

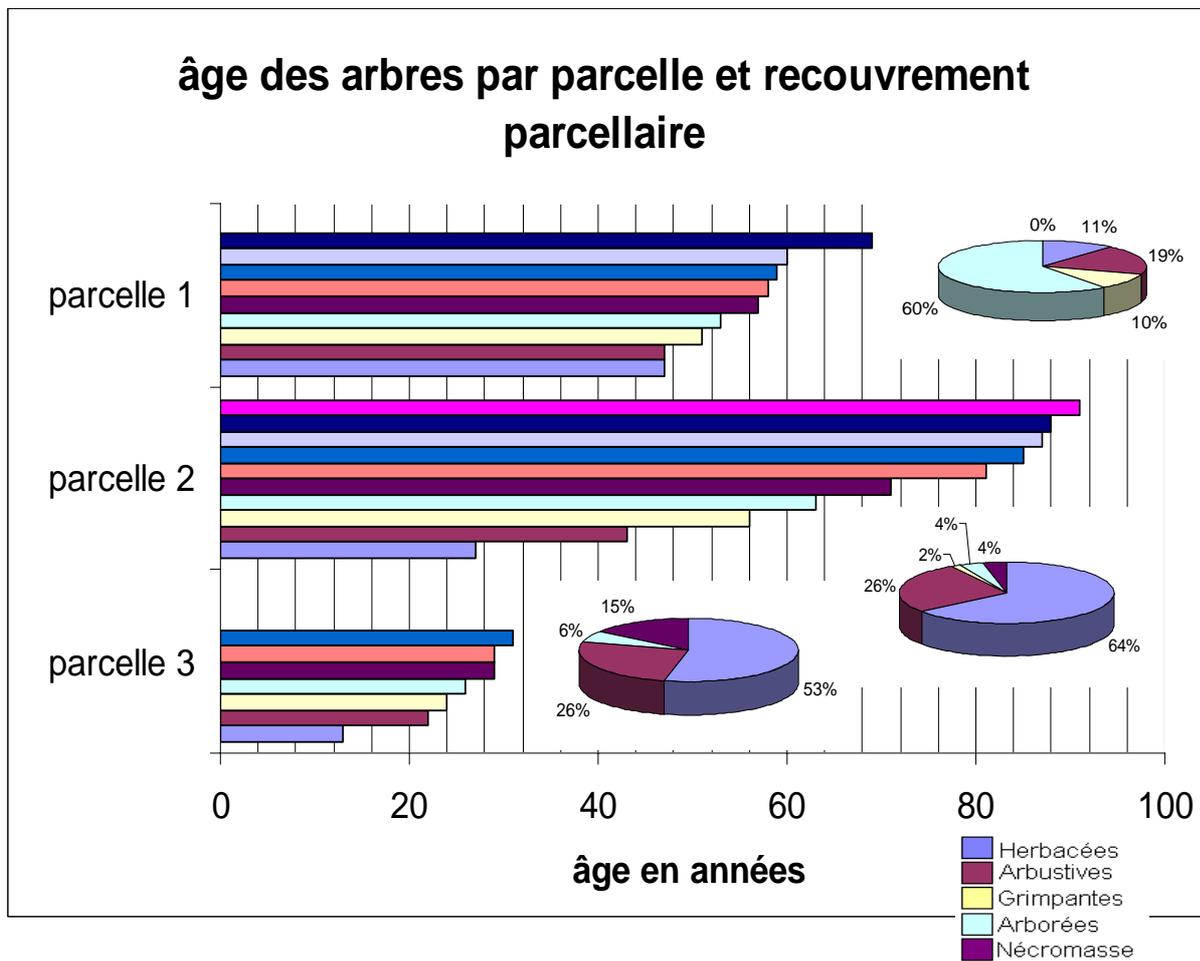
REFERENCES

- Asselin H., Payette S. (2005). Late Holocene deforestation of a tree line site : estimate of pre-fire vegetation composition and black spruce cover using soil charcoal. *Ecography*, 28 : 801-805.
- Baronnat L., Damiano C. & Nativel N. (2010). Etude de la dynamique post-incendie d'une parcelle forestière méditerranéenne à l'aide de l'analyse dendrochronologique. *Orpal Synthesis*, 3 : 39-45.
- 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 : 334-396.
- Carcaillet C., Almquist H., Asnong H., Bradshaw R.H.W., Carrion J.S., Gaillard M.-J., Gajewski K., Haas J.N., Haberle S.G., Hadorn P., Muller S.D., Richard P.J.H., Richoz I., Rösh M., Sanchez Goni M.F., von Stedingk H., Stevenson A.C., Talon B., Tardy C., Tinner W., Tryterud E., Wick L. & Willis K.J. (2002). Holocene biomass burning and global dynamics of the carbon cycle. *Chemosphere*, 49 : 845-863
- Henry F., Talon B. & Dutoit T. (2010). The age and history of the French Mediterranean steppe revisited by soil wood charcoal analysis. *The Holocene*, 20 : 25-34.
- Lieutaghi P. (2006). *Petite ethnobotanique méditerranéenne*. Actes Sud, Arles, 335 p.
- Talon B. (2010). Reconstruction of Holocene high-altitude vegetation cover in the French southern Alps : evidence from soil charcoal. *The Holocene*, 20 : 35-44.
- Touflan P., Talon B. & Walsh K. (2010). Soil charcoal analysis : a reliable tool for spatially precise studies of past forest dynamics : a case study in the French southern Alps. *The Holocene*, 20 : 45-52.
- Talon B., Carcaillet C., Thinon M. (1997). Etudes pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'holocène dans les alpes françaises. *Géographie physique et Quaternaire*, 52 : 1-14.
- Trabaud L. (1980). *Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du Bas-Languedoc*. Thèse d'état, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 288 p.
- Trabaud L. (2004). La réponse de la végétation aux incendies. In : Benoît Garrone (dir.), *Le feu dans la nature, mythes et réalité*. Les écologistes de l'Euzière, Prades-le-Lez, pp. 51-69.

ANNEXE 1 : Localisation géographique du site et des quadrats (source : Google Maps).
Quadrat 1 : oliveraie brûlée (O) ; Quadrat 2 : pinède brûlée (P) ; Oliveraie : oliveraie témoin (OT) ;
Forêt modèle : pinède témoin (PT).



ANNEXE 2 : Données dendrologiques (d'après Baronnat et al., 2010). La parcelle 1 correspond à la pinède témoin, la parcelle 2 à la pinède brûlée et la parcelle 3 à l'oliveraie brûlée.



VARIABILITE DES ISOTOPES STABLES DU CARBONE ($\delta^{13}\text{C}$) ET DE L'AZOTE ($\delta^{15}\text{N}$) DE LA FEUILLE A L'HUMUS CHEZ *QUERCUS ILEX* ET *QUERCUS PUBESCENS* DANS LE BASSIN DE SAINT-MARTIN-DE-LONDRES

Ludovic Dolez ¹, Elsa Noel ²

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

¹ ludovic-christophe.dolez@etud.univ-montp2.fr, ² elsa.noel@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Ilhem Bentaleb

Résumé : Une analyse comparative des variations isotopiques du carbone et de l'azote a été menée sur différents compartiments (feuilles, litière et humus) de trois types de chênaies (blanche, mixte et verte) de la région de Saint-Martin-de-Londres, Hérault (France). Nos résultats, portant principalement sur les chênes verts et blancs (*Quercus ilex* et *Quercus pubescens*), montrent que le $\delta^{13}\text{C}$ augmente du compartiment vivant (feuilles vivantes ou récemment tombées) vers celui de la matière dégradée de la litière puis de l'humus.

Mots clés : géochimie, fractionnement isotopique, carbone, azote, chênes méditerranéens

Abstract : A comparative analysis of isotopic variations of carbon and nitrogen was done on different compartments (leaves, litter and humus) of three types of oak forests (white, green and mixed) near Saint-Martin-de-Londres, Hérault (France). Our results, focusing on green and white oaks (*Quercus ilex* and *Quercus pubescens*), show that $\delta^{13}\text{C}$ increases from the living compartment (living or recently fallen leaves) to the dead material of litter and to humus.

Keywords : geochemistry, carbon and nitrogen isotope ratios, Mediterranean oaks

L'étude des isotopes stables s'est fortement développée ces dernières années. De nombreux chercheurs ont prouvé que les plantes fractionnent contre les isotopes lourds au profit des isotopes légers. Les rapports isotopiques pour un élément donné varient dans les différentes parties des plantes en fonction de divers paramètres. Ainsi cela a permis de montrer une relation entre valeur du $\delta^{13}\text{C}$ et type photosynthétique des plantes (Epstein & Smith, 1971 ; Ehleringer et al. (2001) et l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes (Ogaya et al., 2008). Gea-Izquierdo (2009) parle aussi d'un signal $\delta^{13}\text{C}$ différent chez *Quercus ilex*

en fonction de la densité des peuplements. Les variations du $\delta^{15}\text{N}$ varient en fonction du gradient altitudinal (Damesin et al., 1997 ; Sah & Brume, 2008). Un des intérêts de l'outil isotopique est la reconstruction des paléoenvironnements à travers l'analyse approfondie des climats et des écosystèmes actuels comparés à des restes fossiles. Il est donc important de s'assurer de la conservation du signal géochimique post-mortem. En d'autres termes, la diagenèse affecte-t-elle la signature isotopique de la matière organique après la mort du végétal, sa transformation et son enfouissement ? Ainsi, lorsque l'on étudie les restes fossiles, les rapports isotopiques mesurés ne correspon-

dent pas forcément à ceux obtenus sur des tissus vivants, ce qui peut biaiser les interprétations paléoenvironnementales et climatiques. Notre étude vise à déterminer l'évolution du fractionnement des isotopes du carbone et de l'azote entre les matières organiques fraîches de *Quercus ilex* et *Quercus pubescens* (feuille, cône, ...) et celle de 1) la litière, 2) l'humus 3) les sédiments.

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Nous avons réalisé cette étude dans le bassin de Saint-Martin-de-Londres, à environ 25 km au nord de Montpellier, dans l'Hérault. Ce bassin est une cuvette qui reçoit des vents frais par le Nord. Etant bloqués au Sud par des reliefs, ces vents restent dans cette cuvette, ce qui explique de nombreux écarts

de température avec Montpellier et le microclimat spécifique à cette région. En effet, les gradients altitudinaux de température sont inversés, l'air chaud se trouve en haut des collines et l'air froid plus bas. Cela produit un inversement des étages de végétations, avec un étage de chênaie caducifoliée en bas de montagne et un étage de chênaie sclérophylle en hauteur.

Nous avons effectué nos relevés dans une zone boisée étagée de la commune de Rouet (7 km à l'est de Saint-Martin-de-Londres ; Fig. 1). Nous avons arbitrairement choisi et délimité 5 parcelles de 400 m² chacune : une dans la chênaie caducifoliée (alt : 215 m), trois dans la chênaie mixte (alt : 232, 251 et 275 m), et une dans la chênaie sclérophylle (alt : 314 m). Le transect étudié couvre un dénivelé de 100 m.

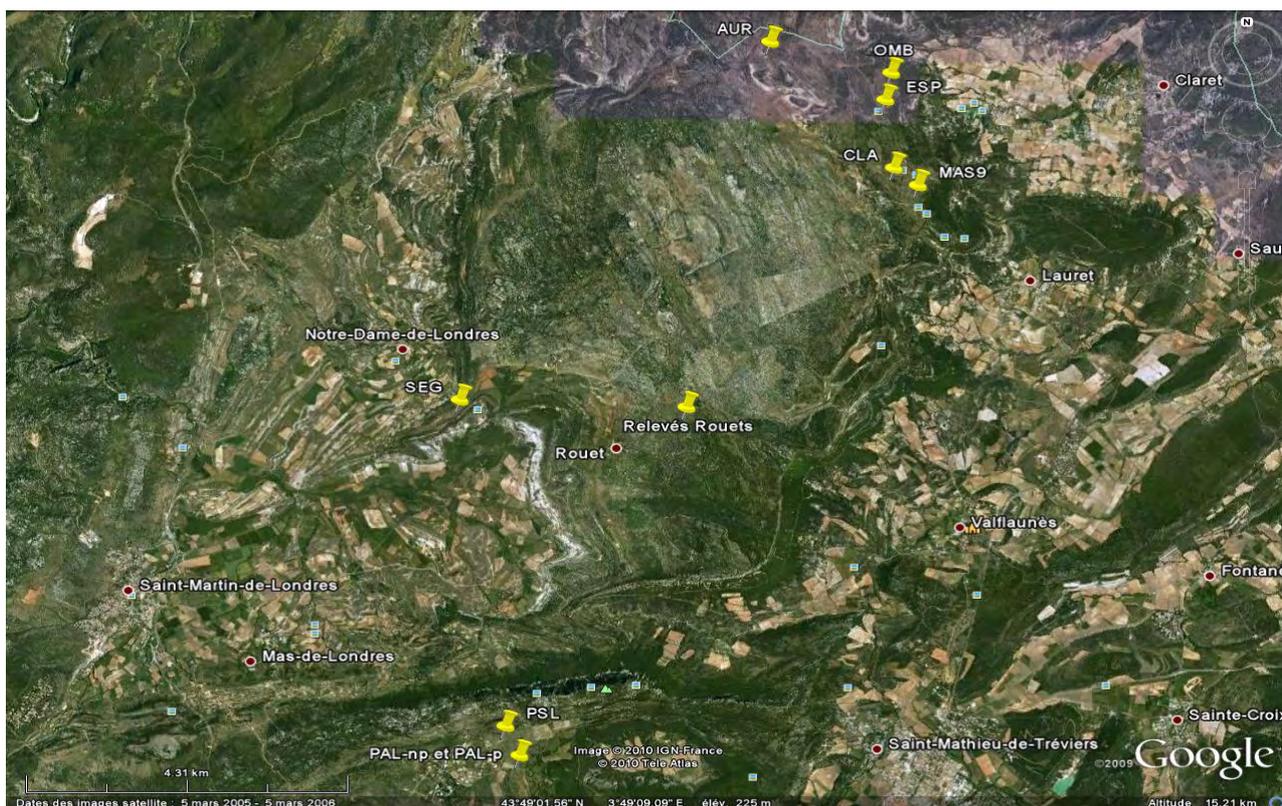


Figure 1 : Localisation des zones de prélèvement

- Le quadrat 1, dans la chênaie blanche, comportait peu d'arbres. Le recouvrement dans la strate haute était

d'environ 1/4 du quadrat, avec une hauteur des chênes d'environ 7 m. Le sol était de la roche nue, à part une zone de 30 m², où la roche mère était à

environ 23 cm sous un sol argileux. La pente de ce quadrat était de 1 %.

- Le quadrat 2, dans la chênaie mixte à 232 m d'altitude, était composé de plus d'arbres, avec un recouvrement d'environ $\frac{3}{4}$ en strate haute, avec des chênes de 7 m de haut. La pente était la même et le sol, caillouteux.
- Le quadrat 3, dans la chênaie mixte dominée par le chêne vert (alt. 251 m), avait une pente de 5 %, avec un sol composé de cailloux et argile, de profondeur supérieure à 30 cm.
- Le quadrat 4, en chênaie mixte (alt. 275 m), comportait peu de chênes et était dominé par *Phillyrea angustifolia*. Les chênes étaient soit juvéniles, soit sénescents. Le sol était le même que dans le quadrat précédent mais avec une pente de 6-7 %.
- Le quadrat 5, dans la chênaie sclérophylle était composé pour moitié d'un pierrier. Les arbres étaient moins haut (4-5 m) et la pente plus raide (10-15 %).

2- Travail de terrain

Pour chacun des quadrat, nous avons noté la pente, l'exposition, le type de sol et nous avons quantifié les espèces végétales présentes (excepté les herbacées). Nous avons aussi effectué des prélèvements de feuilles sur les arbres et au sol, ainsi que d'humus. Pour les chênes, nous avons aussi échantillonné des glands, sur arbre et au sol. Notre étude porte essentiellement sur les chênes, mais nous avons aussi fait quelques relevés sur d'autres espèces afin d'avoir un aperçu de la variabilité des rapports isotopiques entre espèces.

Des sédiments ont également été prélevés dans des mares temporaires du même bassin (Saint-Martin-de-Londres), dans des sites à différentes altitudes.

Tous ces relevés ont été effectués sur trois jours, du Mercredi 27 au Vendredi 29 Janvier 2010.

3- Travail de laboratoire

Les échantillons récoltés ont été conservés au réfrigérateur, dans des sachets en plastique étanches. Ils ont tous été photographiés avant d'être traités. Nous les avons lavés dans des bains à ultrasons puis séchés à l'étuve (40°C) avant de les réduire en poudre fine à l'aide d'un broyeur mécanique. Ensuite, nous avons pesé de petites quantités (<100 µg), avec une précision de 1 %, que nous avons placé dans des capsules d'étain afin de les analyser par spectrométrie de masse des rapports isotopiques (SMRI). L'analyse consiste en une combustion en utilisant un analyseur élémentaire (AE) permettant de séparer les gaz N_2 et CO_2 . Les gaz sont introduits tour à tour dans le SMRI via des capillaires fin grâce à un couplage des deux machines (AE-SMRI), puis sont ionisés (molécules chargées), accélérés et déviés (présence d'un champ magnétique) en fonction de leur rapport masse/charge et collectés dans des cages de Faraday. Les rapports $^{13}C/^{12}C$ et $^{15}N/^{14}N$ de nos échantillons sont mesurés par rapport à des rapports témoins : l'air pour l'azote et le carbonate V-PDB (Vienna-Pee-Dee Bélemnite) pour le carbone. Les rapports obtenus permettent d'étudier la réponse biologique (variabilité intra et interspécifique), environnementale et climatique (effet de l'inversion thermique par exemple). La précision des mesures est de 0,1% pour le $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$. Les formules générales obtenues, en ‰, sont :

$$\delta^{13}C = 1000 \times \left(\left(\frac{(^{13}C/^{12}C)_{\text{échantillon}}}{(^{13}C/^{12}C)_{\text{témoin}}} \right) - 1 \right)$$

$$\delta^{15}N = 1000 \times \left(\left(\frac{(^{15}N/^{14}N)_{\text{échantillon}}}{(^{15}N/^{14}N)_{\text{témoin}}} \right) - 1 \right)$$

Plus un rapport sera positif, plus le pourcentage d'isotope lourd sera élevé ; au contraire un rapport plus négatif contiendra plus d'isotope léger.

4- Fractionnement isotopique des végétaux:

Le rapport moyen de $^{13}C/^{12}C$ dans l'atmosphère est de -8 ‰ et les stomates des feuilles choisissent préférentiellement du ^{12}C

lorsqu'ils absorbent du CO₂ atmosphérique. Il y a donc déjà un premier fractionnement, au niveau des stomates, et ensuite, un deuxième fractionnement s'effectue par la RUBISCO au moment du cycle de Calvin chez les C3, alors que chez les CAM et les C4, la PEP carboxylase n'a pas d'affinité préférentielle au ¹²C. Le second fractionnement dû à la carboxylation n'a donc pas lieu, ce qui fait que les rapports moyens des C4 et CAM sont plus élevés que ceux des C3. Il y a cependant une différence entre C4 et CAM, car la compartimentation entre l'action de la RUBISCO et celle de la PEP carboxylase est spatiale chez les C4, tandis qu'elle est temporelle chez les CAM (alternance jour/nuit).

RESULTATS

Les résultats des mesures réalisées sont présentés Tables 1 et 2, et représentés graphiquement sur les Figures 2 et 3.

1- Fractionnement du carbone

On remarque tout d'abord une différence de valeur du $\delta^{13}\text{C}$ entre les différentes parties de la plante vivante, quelle que soit l'espèce. Les tiges ont des valeurs plus faibles que les feuilles, alors que les fruits sont plus riches en ¹³C (Tab.1).

On obtient une moyenne du $\delta^{13}\text{C}$ de $-27,9 \pm 0,7$ ‰ pour les feuilles de chêne blanc sur l'arbre et une moyenne de $-27,9 \pm 0,9$ ‰ pour

les feuilles au sol de la même espèce, sur l'ensemble des quadrats. Les feuilles de chêne vert montrent aussi une absence de différence significative entre ainsi que pour l'origine des feuilles (arbre ou sol). On remarque cependant que ces rapports semblent un peu inférieurs à ceux du chêne blanc.

Pour les feuilles de chêne dans la litière, les résultats ne diffèrent pas en fonction du quadrat, avec une moyenne de $-27,4 \pm 0,3$ ‰.

On remarque que, si on met de côté l'échantillon « humus global de la parcelle » du Rouet 1, les ratios sont homogènes sur tous les quadrats, avec une moyenne de $-26,4 \pm 0,3$ ‰. Cette valeur est significativement supérieure à celle des feuilles sur arbre et au sol ($+1,5$ ‰ pour le chêne blanc, $+2,3$ ‰ pour le chêne vert) ainsi que de la litière ($+1,0$ ‰) (Fig. 2).

En ce qui concerne les analyses isotopiques du carbone organique des glands et cupules (tous ramassés au sol), nos données indiquent que pour le chêne blanc, il n'y a pas de différences : $-25,7$ et $-25,9$ ‰ respectivement pour la cupule et le gland. Pour le chêne vert, il y a peu de différences entre les glands analysés ($-24,2$ à $-25,2$ ‰), avec une moyenne de $-24,6 \pm 0,5$ ‰, supérieure au gland du chêne blanc. Les valeurs des cupules de chêne vert présentent des similarités dans la chênaie mixte, mais on remarque une valeur bien plus faible ($-25,8$ ‰) pour la cupule en chênaie sclérophylle.

Table 1. Résultats des analyses isotopiques sur les plantes et l'humus

Chênaie	Espèce	Quadrat	Matériel prélevé	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Caducifoliée	<i>Quercus pubescens</i>	Rouet 1	Feuille sur arbre	-29,19	-1,06
		Rouet 1	-	-27,45	-1,31
		Rouet 1	-	-28,00	-1,35
		Rouet 1	-	-27,21	-0,42
		Rouet 1	Feuille au sol	-27,64	-1,44
		Rouet 1	-	-28,90	0,22
		Rouet 1	-	-27,83	-0,12
		Rouet 1	-	-28,93	-0,85
		Rouet 1	Cupule au sol	-25,74	-2,35
		Rouet 1	Gland au sol	-25,91	-0,73
		Rouet 1	Humus sous arbre	-26,84	0,35
		Rouet 1	-	-26,36	2,02

Table 1. Suite.

Chênaie	Espèce	Quadrat	Matériel prélevé	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Caducifoliée	<i>Quercus pubescens</i>	Rouet 1	Humus sous arbre	-26,10	1,79
		Rouet 1	-	-25,93	1,99
		Rouet 1	Humus global	-23,00	2,35
	<i>Buxus sempervirens</i>	Rouet 1	Feuille sur arbre	-28,20	0,79
		Rouet 1	Tige sur arbre	-25,88	-0,29
Mixte	<i>Quercus pubescens</i>	Rouet 2	Feuille sur arbre	-28,34	-0,32
		Rouet 3	-	-27,83	-0,90
		Rouet 4	-	-27,41	0,42
		Rouet 2	Feuille au sol	-27,80	-2,43
	<i>Quercus ilex</i>	Rouet 4	-	-26,38	-0,62
		Rouet 2	Feuille sur arbre	-29,59	-3,38
		Rouet 3	-	-29,64	-1,34
		Rouet 4	-	-28,80	-1,64
		Rouet 4	Feuille au sol	-28,78	-1,56
		Rouet 2	Cupule au sol	-23,68	-2,82
		Rouet 3	-	-23,97	-2,35
		Rouet 4	-	-23,65	-3,67
		Rouet 2	Gland au sol	-25,18	-3,75
		Rouet 4	-	-24,42	-2,41
		Rouet 2	Feuille de la litière	-27,35	
		Rouet 3	-	-27,34	
		Rouet 4	-	-27,34	
	Rouet 2	Feuille décomposée de la litière	-27,65		
	Rouet 4	-	-27,02		
	Rouet 2	Humus	-26,34	0,93	
	Rouet 3	-	-26,22	-0,99	
	Rouet 4	-	-26,46	0,61	
	<i>Acer monspessulanum</i>	Rouet 3	Feuille sur arbre	-29,02	-2,47
		Rouet 3	-	-28,36	-3,53
		Rouet 3	Feuille au sol	-27,86	-3,51
	<i>Pistacia terebinthus</i>	Rouet 3	Feuille sur arbre	-28,70	-3,51
	Sclérophylle	<i>Quercus ilex</i>	Rouet 5	Feuille jeune sur arbre	-28,38
Rouet 5			Feuille vieille sur arbre	-28,26	-0,71
Rouet 5			Feuille au sol	-28,13	-2,26
Rouet 5			Cupule au sol	-25,76	-2,34
Rouet 5			Gland au sol	-24,24	-1,52
Rouet 5			Feuille décomposée dans litière	-27,90	
Rouet 5			Humus	-26,64	1,36
Rouet 5			Tige jeune sur arbre	-27,53	-1,78
Rouet 5			Tige vieille sur arbre	-30,48	-1,46
<i>Acer monspessulanum</i>		Rouet 5	Tige dans la litière	-24,59	-2,96
		Rouet 5	Feuille au sol	-26,04	-1,45
<i>Smilax aspera</i>		Rouet 5	Feuille dans litière	-27,15	-1,84
		Rouet 5	Feuille sur plante	-28,59	0,64
<i>Sedum</i> sp.		Rouet 5	Tige sur plante	-29,99	-0,53
		Rouet 5	Fruit sur plante	-23,33	-0,78
		Rouet 5	Fruit décomposé	-24,04	-0,50
		Rouet 5	Inflorescence	-17,97	-4,86
		Rouet 5	Tige	-19,66	

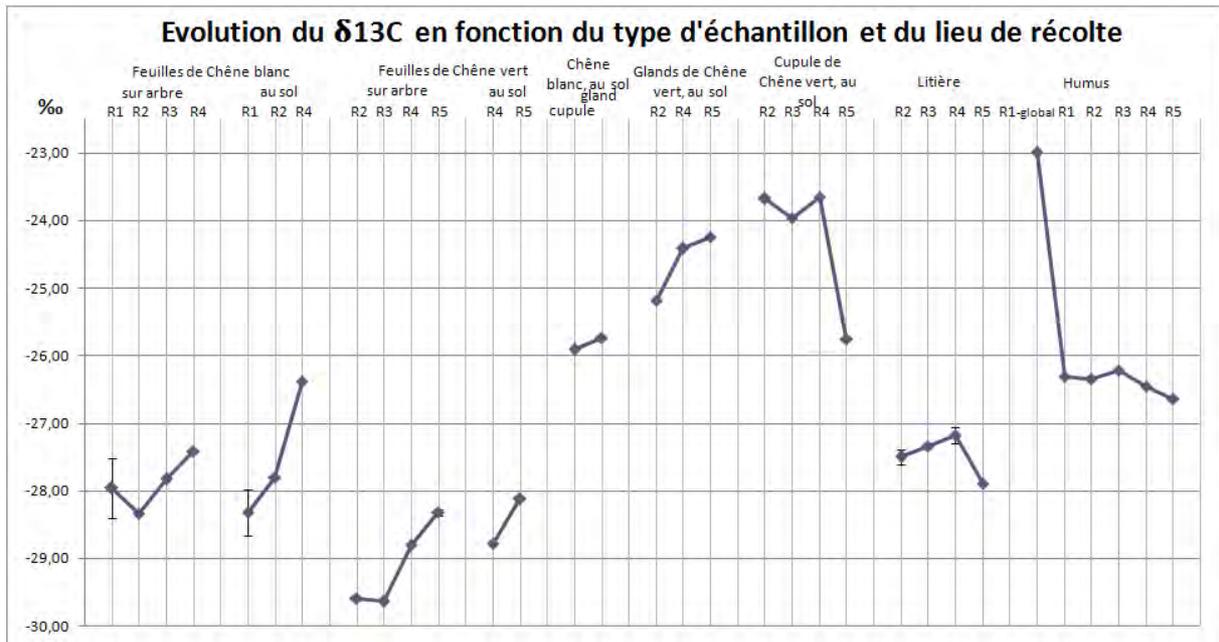


Figure 2. Evolution du $\delta^{13}C$, R# : numéro du quadrat

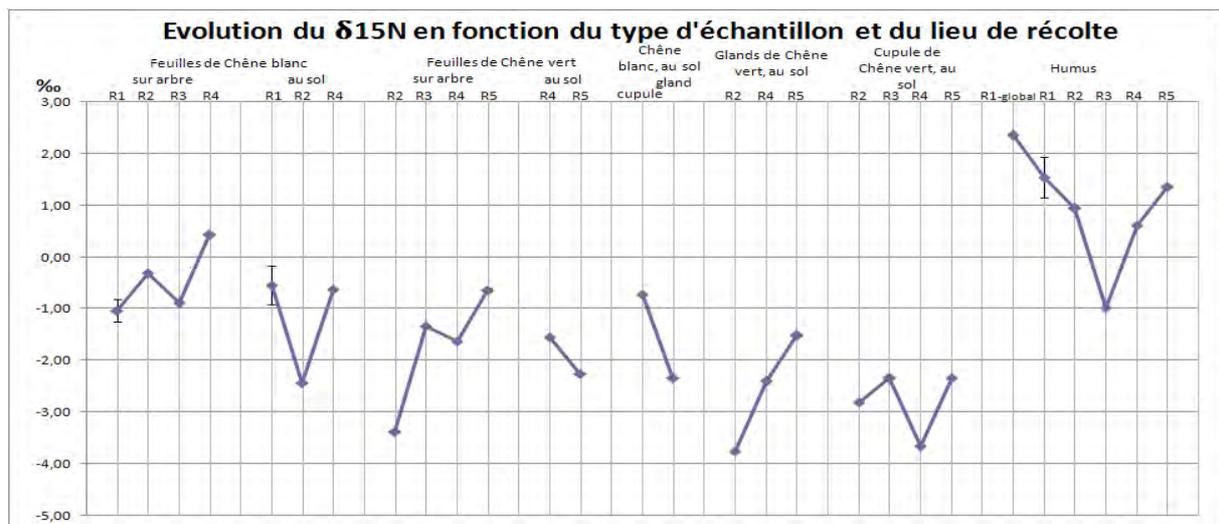


Figure 3. Evolution du $\delta^{15}N$, R# : numéro du quadrat

Même si notre étude se concentre sur les chênes, nous avons prélevé d'autres espèces en vue de comparaison. Ainsi, dans la chênaie sclérophylle, nous avons trouvé un spécimen de plante CAM (*Sedum* sp., Crassulacées). On remarque des valeurs de $\delta^{13}C$ très supérieures à celles discutées jusqu'à présent. En effet, la tige à une valeur de -19,66 ‰ et l'inflorescence de -17,97 ‰. Par contre, les rapports isotopiques de feuilles prélevées sur *Buxus sempervirens* (-28,2 ‰, Rouet 1), *Acer monspessulanum* (-28,7 ± 0,5 ‰, Rouet 3) et

Smilax aspera (-28,6 ‰, Rouet 5) sont dans les mêmes gammes que les valeurs des feuilles de chênes.

Concernant les sédiments des mares, on remarque une forte hétérogénéité dans les valeurs de $\delta^{13}C$, allant de -24,0 à -0,5 ‰ (Tab. 2). Le graphique montrant l'évolution de ces valeurs en fonction de l'altitude des mares (Fig. 4a) nous montre de fortes différences et une absence de corrélation entre ces paramètres.

Table 2. Résultats de l'analyse des sédiments prélevés dans des mares

Code	Commune	Nom	Alt. (m)	Prof. (m)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
AUR	Ferrières	Mare du Mas d'Auroux	323	1,15	-19,08	4,30
CLA	Claret	Mare des Clapasses	323	0,20	-14,65	4,94
ESP	Claret	Mare de l'Espinas	325	0,50	-2,89	2,00
MAS	Claret	Mare du Mas neuf	332	0,60	-9,08	2,94
OMB	Claret	Mare de l'Ombre	320	1,00	-2,75	3,37
PAL-np	Cazevieille	Mare de Les Palles (côté non pâturé)	281	1,00	-23,98	2,01
PAL-p	Cazevieille	Mare de Les Palles (côté pâturé)	281	0,40	-15,94	3,70
PAM	Argelliers	Mare de Pampelune	131	0,40	-20,72	0,49
PSL	Cazevieille	Mare du parking du Pic St Loup	294	0,20	-6,59	2,79
SEG	Le Rouet	Mare de St Etienne de Gabriac	220	1,00	-0,49	2,97

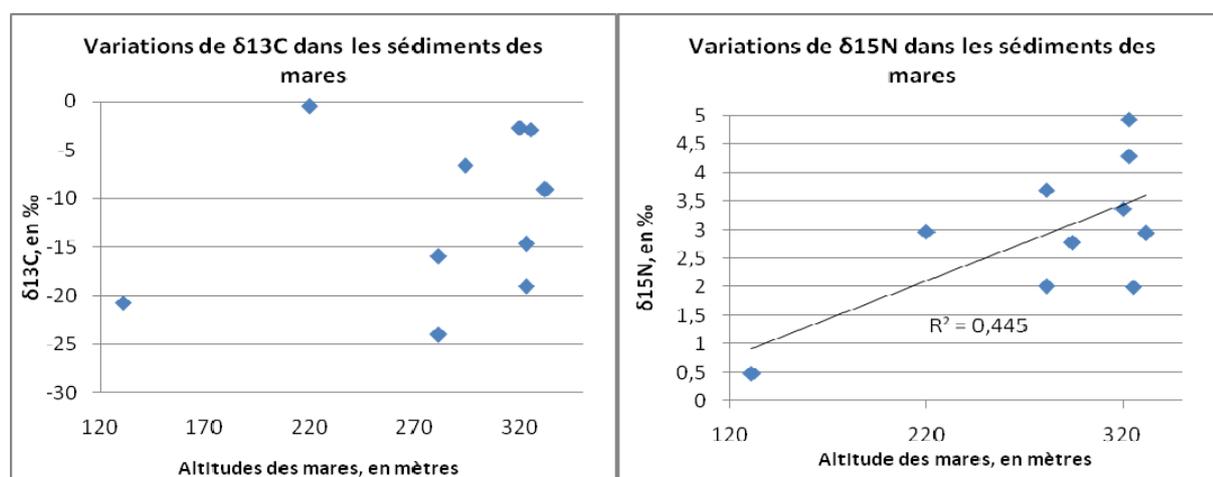


Figure 4. Variations des rapports isotopiques des sédiments en fonction de l'altitude des mares, a) $\delta^{13}\text{C}$ b) $\delta^{15}\text{N}$

En faisant la moyenne des rapports isotopiques de tous les échantillons d'un quadrat, nous obtenons des écart-types trop importants pour visualiser une potentielle évolution en fonction de l'altitude. De même, une moyenne sur tous les échantillons de chêne blanc ($-27,6 \pm 1,0$ ‰) ne montre pas de différence avec la moyenne de tous les échantillons de chêne vert ($-26,6 \pm 2,4$ ‰).

2- Fractionnement de l'Azote

Dans la chênaie caducifoliée, nous obtenons des gammes de valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ comprises entre -1,4 et +0,4 ‰ pour les feuilles de chêne blanc sur l'arbre, avec une moyenne de $-1,0 \pm 0,4$ ‰, et comprises entre -1,4 et +0,2 ‰, avec une moyenne de $-0,6 \pm 0,7$ ‰ pour les feuilles au sol. Le test de Student indique

qu'il n'y a pas de différences significatives entre ces moyennes ($p = 0,05$). Pour les feuilles sur les arbres de cette même espèce, on obtient -0,32 ‰ pour Rouet 2, -0,90 ‰ pour le Rouet 3 et 0,42 ‰ pour le Rouet 4 (Fig. 3). Les feuilles au sol montrent aussi de gros écarts, avec $-0,6 \pm 0,7$ ‰ pour Rouet 1, -2,4 ‰ pour Rouet 2 et -0,6 ‰ pour Rouet 3. Concernant l'humus, on remarque, encore une fois, un rapport isotopique plus élevé pour l'échantillon d'humus prélevé sur toute la parcelle (2,4 ‰) que la moyenne des échantillons prélevés sous un chêne blanc ($1,8 \pm 0,8$ ‰). Dans les autres zones, les valeurs varient de -1,0 ‰ (Rouet 3, seule valeur négative) à 1,4 ‰ à Rouet 5. Ces valeurs sont supérieures (moyenne de $1,0 \pm 1,1$ ‰) aux valeurs des compartiments vivants précédemment étudiés (moyenne de $-1,5 \pm 1,1$ ‰).

Pour le chêne vert, on remarque aussi une absence de différence de moyenne sur l'ensemble des quadrats entre les feuilles sur l'arbre ($-1,8 \pm 1,2\%$) et au sol ($-1,9 \pm 0,5\%$). La valeur moyenne des rapports isotopiques des échantillons de chêne blanc ($-0,9 \pm 0,8\%$) semble un peu plus élevée que celle des échantillons de chêne vert ($-2,2 \pm 1\%$).

On rencontre une plus forte hétérogénéité des valeurs, au sein d'un même type d'échantillon, pour l'azote que pour le carbone.

Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ dans les mares sont aussi très variées (allant de $0,5\%$ à 5%) et potentiellement corrélées à l'altitude (Fig. 4b) mais le R^2 de $0,445$ n'est pas concluant

DISCUSSION

Les différences de valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ entre les diverses parties d'un même végétal sont probablement dues à des fonctionnements physiologiques différents. Les tissus ne réagissent pas de la même manière à l'absorption et à l'évaporation. On n'observe pas ces différences pour le $\delta^{15}\text{N}$, vraisemblablement à cause de l'hétérotrophie des plantes vis-à-vis de l'azote.

Les valeurs de feuilles prises dans les arbres, au sol et la litière ne présentent pas de différence significative pour les chênes blancs, ce qui ne permet pas de mettre clairement en évidence l'augmentation du ratio isotopique, mais cela est probablement dû à la saison (les feuilles de chêne blanc et d'érable prises sur les arbres sont mortes et la litière est composée essentiellement de feuilles récemment tombées). On voit néanmoins un rapport plus important entre feuilles et humus. Ceci pourrait être en partie dû à la diagenèse précoce mais il faudrait estimer l'âge de l'humus (en nombre d'années), les feuilles étant de l'année ou de la saison d'avant, et la part de variabilité interannuelle. Lors de la décomposition de la matière vivante, un fractionnement isotopique du carbone et de l'azote s'opère, libérant des gaz appauvris en isotopes lourds. Par conséquent, la matière organique labile qui reste au sol est enrichie en isotope léger. On a donc un rapport qui au fur et à mesure de la

décomposition augmente en isotopes lourds. On dit qu'il y a un enrichissement isotopique lors de la diagenèse précoce, si on fait l'hypothèse que la litière et l'humus sont principalement composées de feuilles tombées (et on peut la faire ici étant donné le recouvrement des arbres). On doit donc tenir compte de ce rapport moyen spécifique à chaque espèce pour reconstituer des paléoenvironnements, puisque en un ou deux ans déjà, le rapport entre la plante vivante et la matière qu'elle a laissée après décomposition a changé. Ensuite, lorsqu'il n'y a plus d'évaporation, le rapport devient fixe au cours de la diagenèse et on peut donc mesurer dans des végétaux fossiles le rapport et tenter de différencier l'espèce. Par exemple, le *Sedum* (Crassulacées), qui est une plante CAM (Crassulacean Acid Metabolism), a un rapport de carbone significativement différent de celui des plantes en C3, ce qui est cohérent avec les travaux sur la différence de fractionnement isotopique moyenne entre plantes en C3 et C4 (Epstein & Smidt, 1971 ; Ehleringher et al., 2001). En effet, la présence de deux enzymes pratiquant la photosynthèse chez les C4 (les mêmes enzymes se retrouvent chez les CAM) induit une sélection du ^{12}C chez les C3 plus importante que chez les C4 et CAM.

Nous avons prélevé en hiver les feuilles d'arbres marcescents comme *Quercus pubescens*, qui ne montrent pas de différence significative entre la feuille de l'arbre et celle de la litière, car elles sont déjà mortes. Elles sont peut-être même de la même génération que celles du sol.

Ensuite, lorsqu'on a affaire à du sédiment, il y a un brouillage des signaux qui se mélangent, puisque les minéraux ont aussi un signal propre à leur diagenèse. Pour les sédiments dans les mares, il y a une hétérogénéité des signaux, mais de nombreux paramètres entrent en jeu : il y a la présence de charophytes (algues), qui ont un signal différent du $\delta^{13}\text{C}$ (Ehleringher et al., 2001), ainsi que la présence de certaines Fabacées qui sont fixatrices d'azote (*Rhizobium*), ce qui entraîne des valeurs différentes pour le $\delta^{15}\text{N}$. L'altitude (131 à 323 m) peut aussi jouer un

rôle; ici, pour l'azote notre $R^2 = 0,45$ est peu concluant, mais Damesin (1998) a montré un enrichissement en azote lourd avec l'altitude. Nous ne trouvons en revanche aucune corrélation pour le $\delta^{13}\text{C}$. Il est possible que la profondeur joue un rôle aussi dans les différences de signaux, ainsi que la température de l'eau (solubilité du CO_2), mais ici elles ne sont ni l'une ni l'autre significatives (profondeur des mares: 0,20 à 1,15 m). En ce qui concerne le $\delta^{13}\text{C}$, on remarque des valeurs beaucoup plus importantes dans certaines mares, ce qui dénote probablement la forte présence de carbonates dans les sédiments. Afin de n'étudier que le carbone organique, il faudrait décarbonater les sédiments, mais ceci n'a pas été fait, car nous souhaitons étudier aussi le $\delta^{15}\text{N}$, qui lui est uniquement organique, et la décarbonatation entraîne un fractionnement de l'azote et fausse le signal.

CONCLUSION

D'après nos résultats, il semble que l'évolution du $\delta^{13}\text{C}$ aille bien dans le sens feuilles < litière < humus. Pour l'azote, les données ne sont pas assez homogènes pour mettre en évidence cet enrichissement de l'humus en isotope lourd à cause de la valeur du Rouet 3, qui est proche de celle des feuilles, mais néanmoins la tendance générale est la même. En tous les cas, on manque de données, et de répliques pour obtenir des résultats vraiment significatifs. En effet, pour réaliser une étude isotopique vraiment représentative, la géochimie nécessite de s'associer avec d'autres disciplines, telles que géologie, physiologie, paléontologie ou climatologie. L'interprétation des signatures isotopiques doit prendre en compte de nombreux paramètres. On doit connaître les espèces, choisir de prélever toujours les mêmes tissus pour avoir des éléments de comparaison de même nature, étudier les symbiotes ou parasites éventuels, les conditions climatiques, la nature du sol, la saison, la pluviométrie, la densité de peuplement, la présence animale (animaux qui peuvent, en mourant, affecter le signal de l'humus)

A partir de là, nous avons plusieurs approches possibles : soit prélever un grand nombre d'espèces en un moment précis pour pouvoir faire une distribution exhaustive des espèces présentes, en ayant noté toutes les caractéristiques de l'écosystème, et faire une comparaison interspécifique. Ou bien on peut choisir de se focaliser sur une seule espèce et étudier ses variations interannuelles liées au climat, à la pluviométrie, au type biologique de l'espèce, en répétant les prélèvements au même endroit, pendant plusieurs mois. On peut encore travailler sur deux sites ayant des caractéristiques communes, afin de n'en étudier que les différences. On peut enfin choisir de n'étudier qu'un seul isotope, ce qui permet des manipulations supplémentaires comme la décarbonatation des sédiments, par exemple.

REFERENCES

- Damesin C., Rambal S. & Joffre R. (1998). Co-occurrence of trees with different leaf habit: a functional approach on Mediterranean oaks. *Acta Oecologia*, 19 : 195-204.
- Ehleringer J.R., Bowling D.R., Flanagan L.B., Fessenden J., Helliker B., Martinelli L.A. & Ometto J.P. (2002). Stable Isotopes and carbon cycle processes in forests and grasslands. *Plant Biology*, 4 : 181-189.
- Epstein S. & Schmidt B. (1971). Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*, 47 : 380-384.
- Gea-Izquierdo G., Martin-Benito D., Cherubini P. & Canellas I. (2009). Climate growth variability in *Quercus ilex* L. west Iberian open woodlands of different stand density. *Annals of Forest Science*, 66 : 802.
- Ogaya R. & Penuelas J. (2008). Canges leaf $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ for three Mediterranean tree species in relation to soil water availability. *Acta Oecologia*, 34 : 331-338.
- Sah S.P. & Brume R. (2003). Altitudinal gradients of natural abundance of stable isotopes of nitrogen and carbon in the needles and soil of a pine forest in Nepal. *Journal of Forest Science*, 49 : 19-26.

COMPETITION ET REPARTITION DU CHENE PUBESCENT (*QUERCUS PUBESCENS*) ET DU CHENE VERT (*QUERCUS ILEX*) SUR LE CAUSSE DE L'HORTUS (HERAULT)

Antoine Boullis ¹, Clément Bousquet ², Pauline Gaborit ³, Mailis Huguin ⁴

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

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

¹ antoine.boullis@etud.univ-montp2.fr, ² clement.bousquet@etud.univ-montp2.fr,

³ pauline.gaborit@etud.univ-montp2.fr, ⁴ mailis.huguin@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Paul Roiron et Laurent Brémond

Résumé : Le bassin de St-Martin-de-Londres est caractérisé par une inversion d'étage de végétation, avec la chênaie sclérophylle sur les reliefs et la chênaie caducifoliée dans le bassin. Dans le but de caractériser le gradient de végétation et d'en identifier les principaux déterminismes, nous avons étudié un transect de 5 quadrats étagés le long d'un versant. La cartographie et l'évaluation de la biomasse des arbres a permis de vérifier cette inversion d'étage et de l'attribuer au microclimat et à l'action anthropique.

Mots clés : Autécologie, étages de végétation, chênes méditerranéens, microclimat, compétition

Abstract : The St-Martin-de-Londres Basin is characterized by an inversion of vegetation belts, with the sclerophyllous oak forest on the hills and the deciduous oak forest in the basin. With the aim to characterize the vegetation gradient and to identify its main controls, we have studied a transect of 5 quadrats distributed along a slope. The mapping and biomass evaluation of trees allowed to verify the belt inversion and to attribute it to both microclimate and human activities.

Keywords : Autecology, vegetation belts, Mediterranean oaks, microclimate, competition

Dans la région méditerranéenne française, les peuplements de chênes verts (*Quercus ilex*) et de chênes blancs (*Quercus pubescens*) occupent de vastes surfaces (Leonardi & Rapp, 2001). Le chêne vert est une espèce très répandue sur le pourtour occidental de la méditerranée, où il colonise la plupart des substrats, avec une préférence pourtant pour les zones calcaires. En revanche, le chêne blanc a des exigences hydriques supérieures à celles du chêne vert, et a vu son aire de répartition restreinte du fait de l'agriculture. En effet, la très forte influence de l'homme au cours des siècles passés a favorisé le chêne vert au détriment du chêne pubescent, car ce

dernier rejette moins bien de souche lorsqu'on le coupe (Khelfa & Romane, 1985).

Dans le cadre d'une étude sur la distribution de ces deux espèces, nous avons pu étudier leur répartition dans le bassin de Saint Martin de Londres (Hérault), à différentes altitudes et différentes expositions. Nous avons choisi ce lieu parce que nous avons observé que la répartition des chênes verts et blancs semble être « inversée » par rapport à l'étagement théorique (Khelfa & Romane, 1985). Cela peut être dû à des facteurs environnementaux qui ont été relevés dans certains articles, comme la température et la pluviométrie.

Notre expérimentation a été établie dans le but de vérifier quels sont les différents

paramètres qui influencent la répartition locale particulière de ces deux espèces.

MATERIEL ET METHODES

1- Site

Notre étude a été menée dans les collines entourant Saint-Martin-de-Londres, commune française dans le département de l'Hérault. Le lieu est anthropisé, comme en témoigne la présence d'une ferme et de quelques parcelles exploitées.

Le site d'étude est à une altitude moyenne de 290 mètres. La commune, proche du Pic Saint-Loup, est traversée par un fleuve, l'Hérault, et une rivière, le Lamalou. Étant dans une cuvette limitée au sud par des reliefs collinaires et ouverte au nord vers les Cévennes et le Mont Aigoual, ce site possède un microclimat particulier (Kessler & Chambraud, 1990) : l'air froid arrivant du nord reste bloqué dans la cuvette, ce qui entraîne des températures qui sont parfois de 15°C inférieures à celles qui règnent aux alentours. Ce climat singulier se traduit d'une part par l'apparition d'un nombre important d'espèces végétales caractéristiques des milieux frais et humides, dont certaines sont peu courantes en région méditerranéenne (Perrey, 2005) et d'autre part par l'inversion des étages méso- et supraméditerranéen. Les espèces dominantes sont celles de la garrigue de l'arrière-pays montpellierain.

2- Parcelles étudiées

Afin d'étudier la répartition de *Quercus ilex* et *Q. pubescens*, cinq parcelles, proches du lieu-dit du Rouet, ont été choisies à des altitudes croissantes allant de 200 à 400 m :

- Rouet 1 (alt : 200 m) : chênaie caducifoliée peu dense. Le sol est argileux et profond d'environ 30 cm, comprend des zones de roche nue.
- Rouet 2 (alt. : 300 m) : chênaie mixte avec dominance du chêne vert. Le sol est composé de cailloux et d'argile, et sa profondeur est supérieure à 30 cm.

- Rouet 3 (alt. : 300 m) : chênaie mixte, avec un sol caillouteux ne permettant pas de mesurer la profondeur du sol.
- Rouet 4 (alt. : 400 m) : chênaie sclérophylle avec un sol caillouteux recouvrant un sol argileux sur plus de 30 cm. On trouve beaucoup de filaire (*Phillyrea latifolia*). La plupart des chênes sont soit juvéniles (plusieurs troncs), soit sénescents (feu, il y a longtemps ou action de l'homme) et peu nombreux.
- Rouet 5 (alt. : 400 m) : chênaie sclérophylle sur pierrier, avec une roche mère affleurante, à 5 cm environ. Le mélange de terre et de pierres ne permet pas de mesurer la profondeur du sol. Les arbres ont poussé dans les fissures faites par l'eau. Il y a aussi des arbres morts avec des polypores.

Dans chacune des zones, des quadrats de 20 x 20 m (400 m²), orientés Nord-Sud et Est-Ouest, ont été réalisés. Le premier quadrat (Rouet 1) se trouve dans la zone la plus basse, à environ 200 m d'altitude. Les deuxième et troisième quadrats (Rouet 2 et 3) se trouvent dans la zone intermédiaire à environ 300 m d'altitude. Les quatrième et cinquième quadrats (Rouet 4 et 5) se trouvent dans la zone la plus haute, à environ 400 m d'altitude. Grâce à un décimètre, les quadrats ont été délimités, en commençant toujours par un axe nord-sud.

3- Relevés botaniques

Les espèces de chaque parcelle ont été listées et leur recouvrement a été évalué dans les strates basse (taille < 50 cm), moyenne (taille comprise entre 50 cm et 1 m) et haute (taille > 1,5 m). Les espèces dominantes des zones d'étude sont *Buxus sempervirens*, *Juniperus oxycedrus*, *J. phoenicea*, *Phillyrea angustifolia*, *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Ruscus aculeatus* et *Smilax aspera*.

4- Structure de la végétation et pédologie

Le recouvrement total de la strate haute, la hauteur des arbres et la pente ont été estimés visuellement. La profondeur du sol a été estimée en creusant le sol, lorsque c'est possible, dans chaque parcelle.

5- Échantillonnage des glands

Dans chaque quadrat, des petites parcelles de 1 x 1 m ont été échantillonnées. Tous les glands y ont été prélevés. Cette opération a été répétée 2 à 3 fois selon l'abondance des glands dans le quadrat. Les glands ont été comptés puis pesés.

6- Cartographie des arbres

L'utilisation d'une boussole et d'un décimètre a été nécessaire pour cartographier les arbres de chaque quadrat. Pour cela, la boussole a été placée au milieu de l'axe nord-sud, et le décimètre a été posé à la perpendiculaire de cet axe. Grâce à cela, il a été possible de donner une distance et un angle pour chaque arbre (Fig. 1).

La distance x a été déterminée en utilisant la tangente de l'angle α ainsi que la distance d . Toutes les valeurs α en degrés ont été converties en radians grâce à la formule suivante :

$$\tan(\alpha) = x/d$$

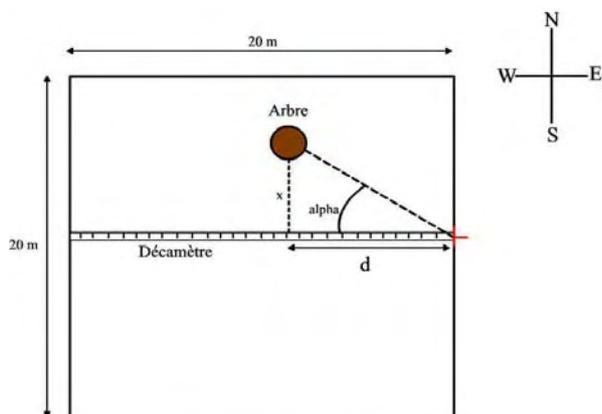


Fig. 1 : Schématisation du procédé de cartographie des chênes

Figure 1 : Procédé de cartographie des arbres

Néanmoins, les valeurs d'angles et de

longueurs mesurées ne sont pas assez précises pour obtenir une cartographie parfaitement juste. En effet, après avoir effectué les calculs servant à retrouver la position de l'arbre dans le quadrat, certains troncs se retrouvaient hors de la zone de mesure. Il a donc fallu rectifier certaines valeurs pour obtenir des données plus correctes.

La circonférence de chaque tronc a été représentée graphiquement, ce qui donne visuellement une indication sur la taille des arbres. Tous les troncs situés en dehors de la parcelle ont été automatiquement replacés sur la limite la plus proche. Afin de représenter la répartition des deux espèces de chênes (*Quercus ilex* et *Q. pubescens*) selon l'altitude, plusieurs graphiques représentant le nombre d'individus d'une espèce en fonction de la parcelle et donc de l'altitude ont été établis. Lors de la prise de mesure, chaque tronc a été répertorié en prenant une mesure de la circonférence, mais le nombre d'individus à proprement parlé (un individu peut être composé d'un seul ou de plusieurs troncs) a été aussi calculé. Sur chaque graphique, sont représentés le nombre de troncs de l'espèce et le nombre d'individus (Annexes).

7- Calcul de la biomasse

Pour chaque arbre cartographié, le diamètre a été mesuré à hauteur de poitrine afin de calculer sa biomasse. La biomasse des chênes verts a été calculée grâce à la formule allométrique suivante, établie au cours d'une étude se situant dans la région (Floret et al., 1989) :

$$PST = a + b * D^2 * H$$

avec : D = diamètre (cm)

H = hauteur (cm)

$a = -1,66845 * 10^{-2}$

$b = 6,57539 * 10^{-4}$

PST = poids sec total (kg)

La biomasse des chênes blancs a été calculée grâce à la formule allométrique suivante, mise au point pour des chênes caducifoliés en Autriche (Zianis et al., 2005) :

$$\ln(AB) = a + b * \ln(D)$$

avec : D = diamètre (cm)
 a = -0,883
 b = 2,140
 AB = biomasse aérienne totale (kg)

RESULTATS

1- Caractéristiques des parcelles

Plusieurs paramètres ont été évalués sur les 5 parcelles étudiées (Tab. 1).

Table 1 : Mesure réalisées sur les différentes parcelles étudiées

Parcelle	Exposition	Surf. (m ²)	Hauteur des chênes	Pente (%)
Rouet 1	N-O	80-100	6-8 m	1
Rouet 2	N-O	150-200	6-8 m	5
Rouet 3	N	300	6-8 m	1
Rouet 4	N	250	4-5 m	6-7
Rouet 5	N	230	4-5 m	10-15

2- Cartographie des arbres

Les données cartographiques obtenues (Fig. 2) montrent que la présence de chênes blancs est beaucoup plus marquée dans les premiers quadrats, et surtout dans la première parcelle (Rouet 1), où il n'y a que cette espèce au niveau de la strate haute. La présence de nombreux chênes blancs au niveau de Rouet 3 montre qu'ils ne se situent pas uniquement à basse altitude. Le pendage des parcelles, où l'on trouve le plus de chênes blancs n'est pas supérieur à 5 %. La Figure 3 montre que le nombre de chênes blancs varie bien avec l'altitude : les courbes de tendances décroissent lorsque l'altitude augmente. Là aussi, les coefficients de détermination sont bas (0,08 et 0,22).

Le chêne vert domine largement la strate haute de Rouet 4 et 5 (Fig. 2). Le pendage des parcelles où le chêne vert domine est en moyenne supérieur à 5 %, contrairement au chêne blanc. La Figure 4 représente le nombre de chênes verts en fonction de la parcelle. Le nombre de chênes verts et de troncs augmente

en même temps que l'altitude. Les deux courbes de tendances croient linéairement, mais les coefficients de détermination (R^2) des deux courbes sont faibles (entre 0,22 et 0,25).

La Figure 5 représente le rapport du nombre d'individus et de troncs des deux espèces de chêne (vert / pubescent) en fonction de l'altitude. Celui-ci confirme que le chêne vert est de plus en plus présent par rapport au chêne blanc lorsque l'altitude augmente. Ici, les coefficients de détermination sont les plus élevés de tous les graphiques (0,47 et 0,36).

La Figure 6, enfin, montre la répartition du nombre d'individus en pourcentages selon la parcelle. Le chêne blanc est surtout présent à basse altitude (Rouet 1 et 3). Le chêne vert est présent avec une densité à peu près semblable pour ce qui est des chênaies mixtes et sclérophylles. On remarque des pourcentages constants pour l'érable, le genévrier cade et le pistachier de Rouet 2 à Rouet 5.

3- Biomasses

Les mesures des biomasses sont présentées Table 2.

Table 2 : Biomasse en kg des deux espèces de chêne en fonction de la parcelle (Rouet 1 à 5)

Rouet	1	2	3	4	5
<i>Q. ilex</i>	0	3538	1640	1593	2579
<i>Q. pub.</i>	3334	455	3527	308	135

La Figure 7 montre que la biomasse du chêne vert a tendance à augmenter avec l'altitude, alors que celle du chêne blanc semble évoluer dans le sens inverse.

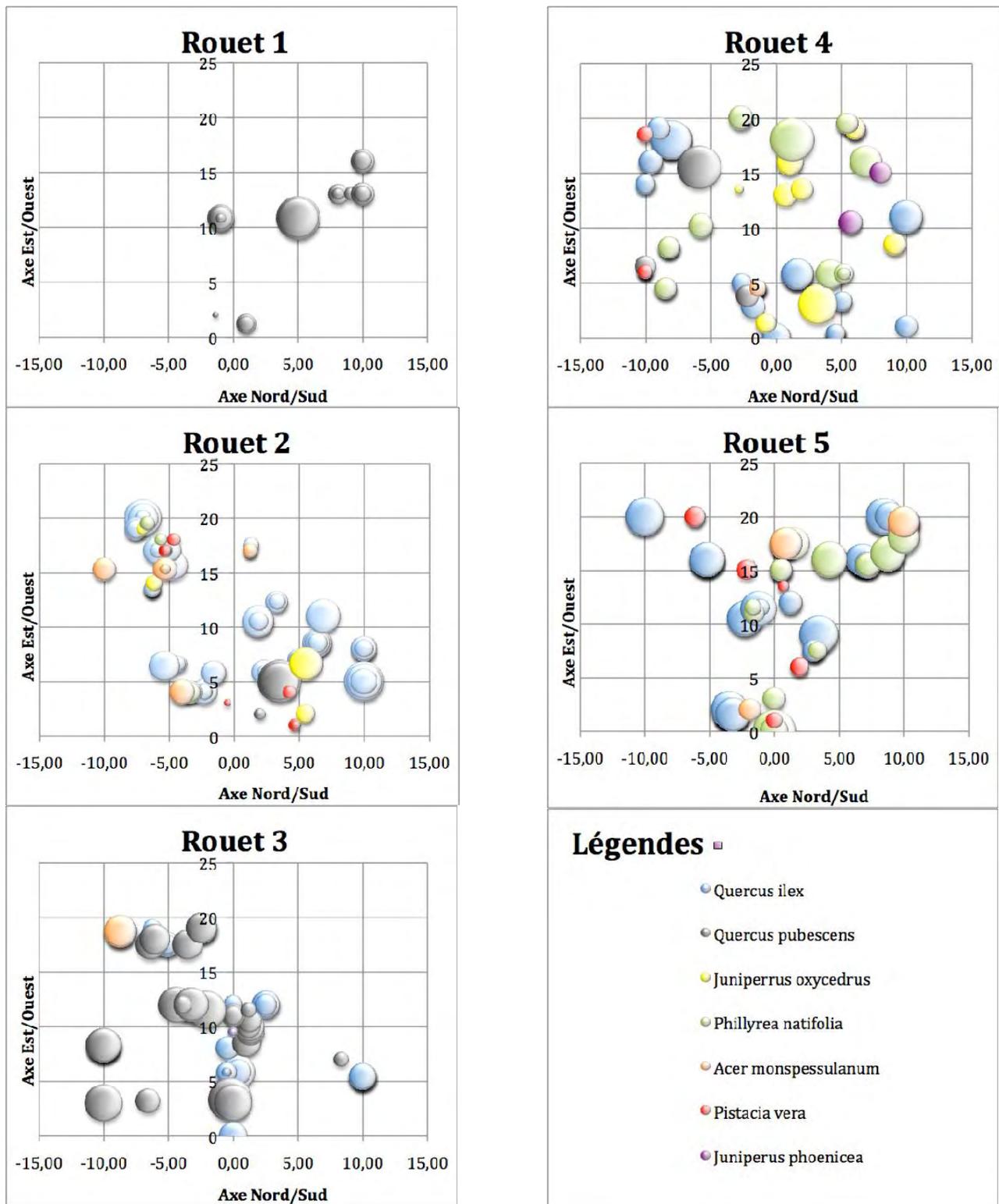


Figure 2 : Cartographie des quadrats 1 à 5. Les unités des axes sont en m

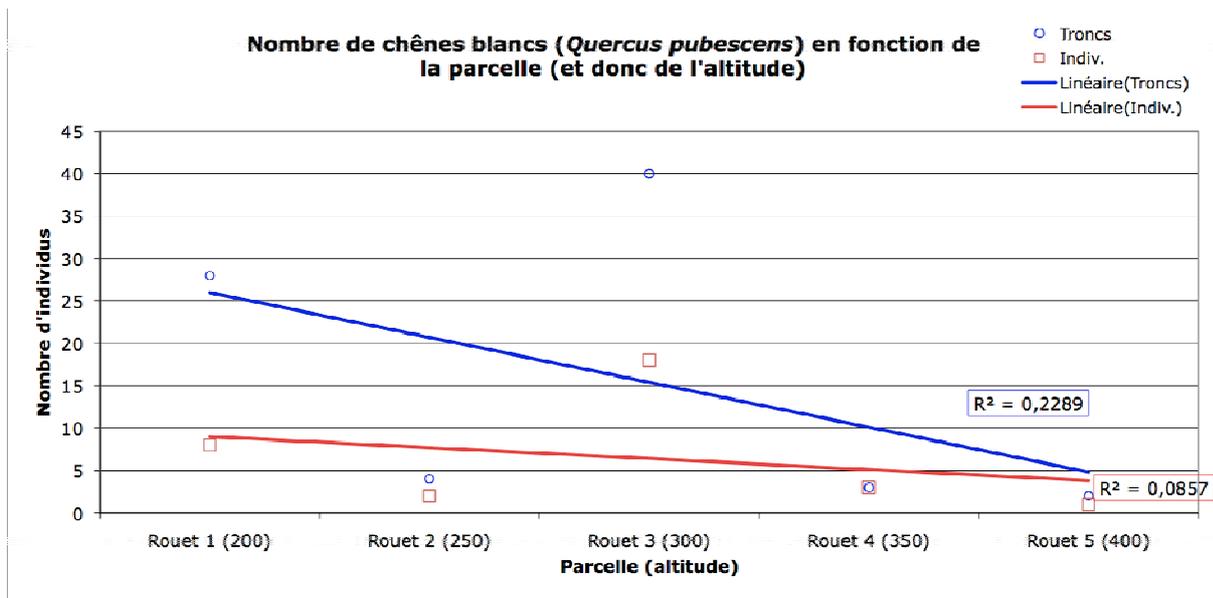


Figure 3 : Nombre de chênes pubescents (*Q. pubescens*) en fonction de la parcelle (et donc de l'altitude)

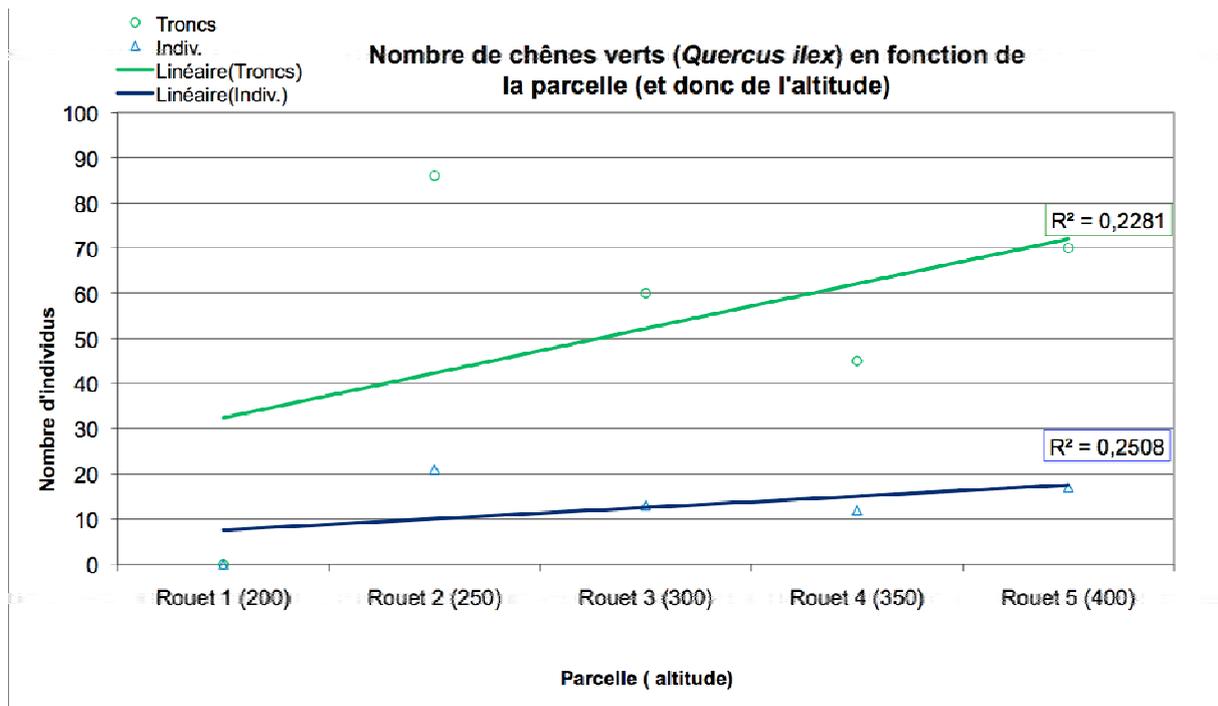


Figure 4 : Nombre de chênes verts (*Q. ilex*) en fonction de la parcelle (et donc de l'altitude)

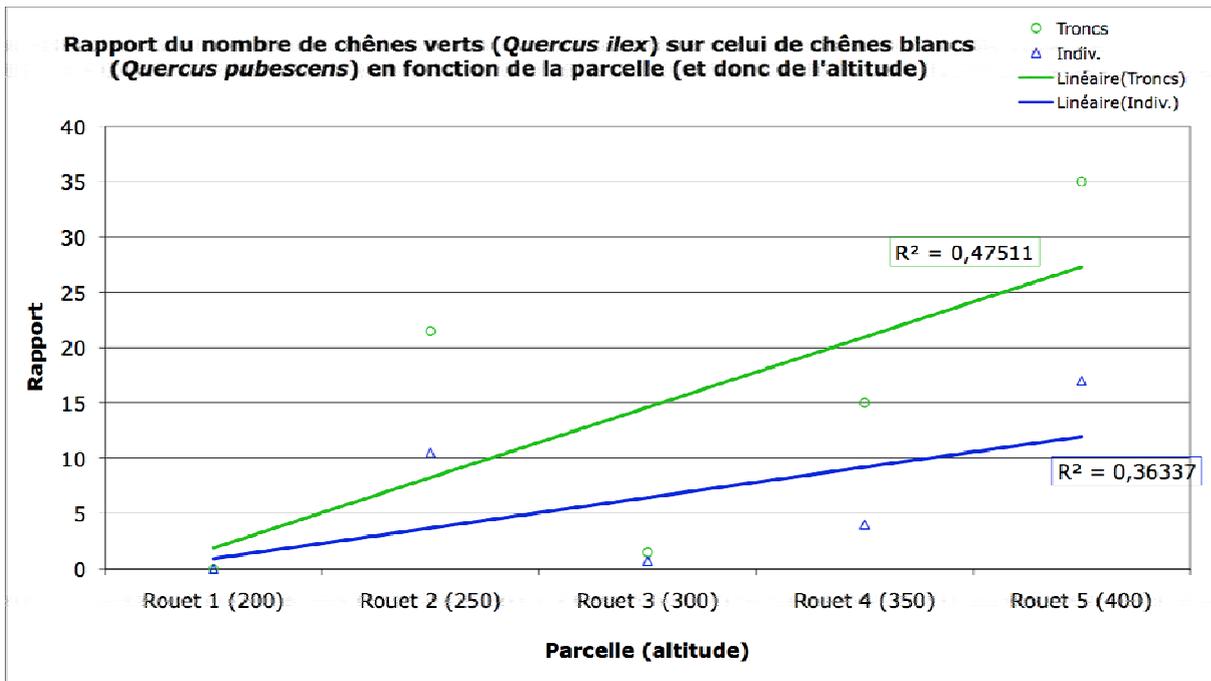


Figure 5 : Rapport du nombre de chênes verts (*Q. ilex*) et de chênes pubescents (*Q. pubescens*) en fonction de la parcelle (et donc de l'altitude)

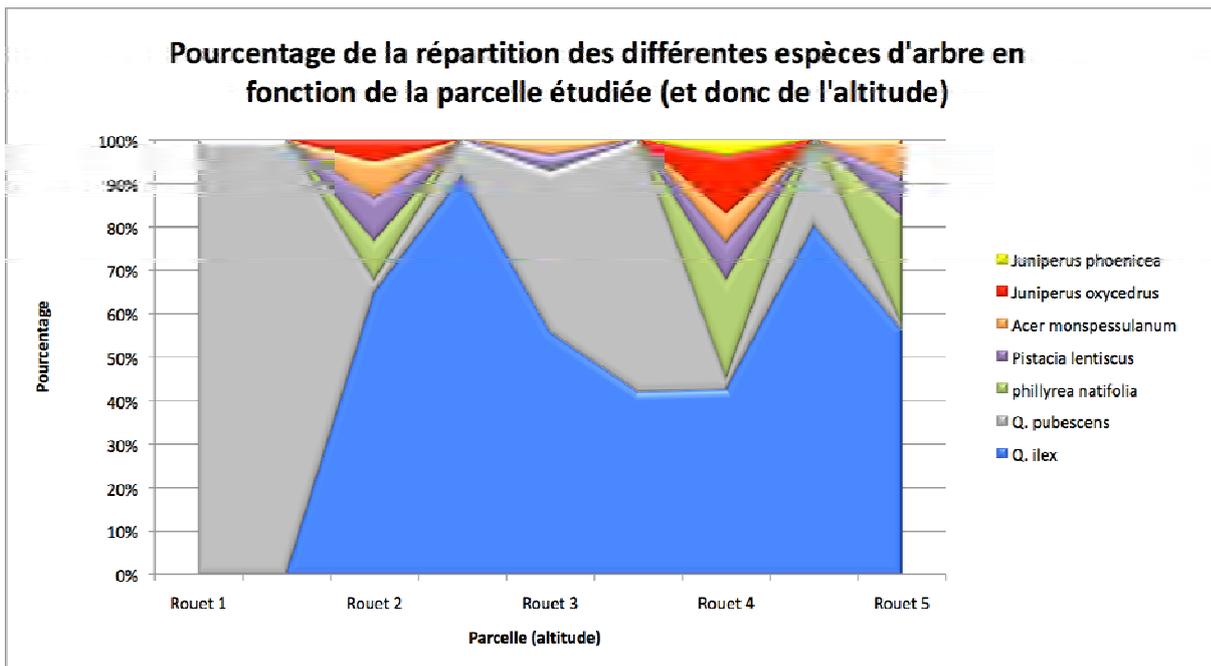


Figure 6 : Abondance relative des différentes espèces ligneuses rencontrées en fonction de la parcelle (et donc de l'altitude)

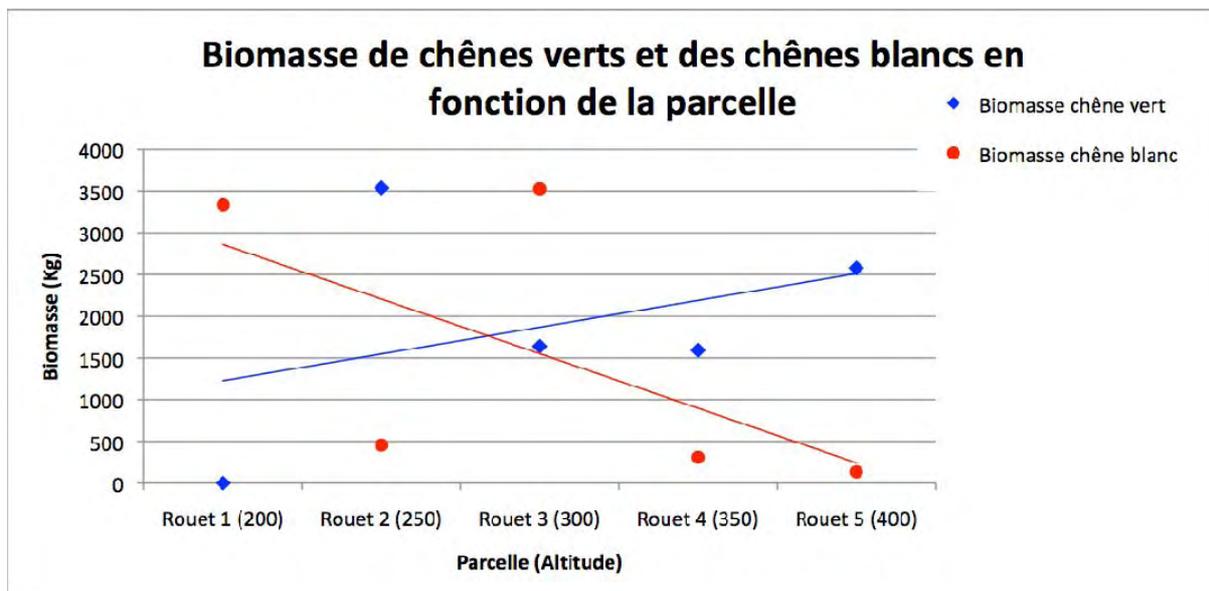


Figure 7 : Biomasse des chênes verts (*Q. ilex*) et des chênes pubescents (*Q. pubescens*) en fonction de la parcelle (et donc de l'altitude)

DISCUSSION

1- Limites de l'étude

Dans un premier temps, il est important de préciser que l'étude menée ici présente des limites. Tout d'abord, le temps imparti n'a permis de faire que 5 quadrats, et les relevés et mesures sur chacun d'eux n'ont été effectués qu'une seule fois. Si cette étude avait pu être menée sur plusieurs années, cela nous aurait permis de mieux comprendre le développement de la chênaie, et de pouvoir peut-être observer une dynamique.

Nous n'avons de plus trouvé aucun article présentant des calculs de biomasse pour le chêne pubescent. Il a donc fallu utiliser des données concernant une espèce de chêne ayant des caractéristiques proches, ce qui diminue la fiabilité des résultats concernant la biomasse du chêne pubescent.

Pour finir, les graphiques établis peuvent être remis en cause du fait que le coefficient de détermination (R^2) de chaque courbe n'est pas supérieur à 0,5, et ce, principalement à cause d'une augmentation du nombre d'individus de *Quercus ilex* au Rouet 2 et de *Quercus pubescens* au Rouet 3.

2- Ecologie comparative des chênes

Les graphiques obtenus montrent clairement que plus l'altitude augmente, plus il y a de chêne vert et réciproquement, plus l'altitude diminue plus on retrouve du chêne pubescent. Il est donc clair que l'altitude a un impact sur la répartition et la croissance des chênes. L'altitude englobe plusieurs paramètres, parmi lesquels l'inversion de température du bassin de la région de St-Martin-de-Londres. Elle joue également sur la nature du sol. L'érosion par le vent assèche et met à nu le sol en altitude, tandis que l'eau de pluie ruisselle le long des pentes rocheuses jusqu'à basse altitude, et fait ainsi descendre la terre et l'humus. Les hauteurs se retrouvent alors avec un sol calcaire, sec, et une roche mère apparente, tandis qu'à faible altitude, le sol est plus argileux avec une litière, et donc plus humide et plus riche.

Le chêne vert se développe mieux en altitude, ce qui montre, d'une part, qu'il préfère les températures plus douces, et d'autre part, qu'il est capable de vivre sur des sols calcaires pauvres et qu'il n'a, par conséquent, pas de gros besoins hydriques (Ivanez et al., 2006). A l'inverse, le chêne pubescent se développe mieux à basse altitude, ce qui montre que contrairement au chêne vert, il

préfère des températures plus fraîches. Le sol, à basse altitude étant riche et plus humide, révèle que le chêne blanc a des besoins hydriques supérieurs à ceux du chêne vert (Khelfa & Romane, 1985). Ces observations sont liées à la spécificité de la zone d'étude. En effet, en dehors du bassin, les chênes pubescents ont tendance à pousser à plus haute altitude que les chênes verts (Curt et al., 2009). Le chêne vert est cependant parfaitement capable de vivre dans un milieu humide et riche. Grâce à de grandes capacités d'adaptation, il est capable de résister à des températures très basses comme élevées (Salmon, 2004). C'est pour cette raison que c'est une espèce très répandue en région méditerranéenne.

3- Influence et écologie des autres espèces

Il est important de souligner qu'il y avait dans la zone d'étude, de nombreuses autres espèces qui ont pu influencer par leur présence le développement des chênes. Elles donnent en outre des indices sur les facteurs qui ont pu avoir un impact sur la répartition et la croissance des chênes. Les données obtenues montrent que les différents paramètres comme la température ou l'humidité qui varient avec l'altitude n'influencent pas la pousse et la croissance d'espèces telles que l'érable, le filaire ou le genévrier cade. Ces paramètres agissent donc surtout sur les chênes.

4- Influence des activités anthropiques

Beaucoup d'indices prouvent que l'action de l'homme a influencé la végétation durant ces dernières années (Naveh & Dan, 1973). La présence de buis (*Buxus sempervirens*) dans toutes les parcelles, mais surtout dans les plus basses (Rouet 1, 2 et 3), peut être expliquée par l'action anthropique : le buis étant toxique, il n'est pas mangé par le bétail. Lorsque l'Homme laisse ses bêtes (moutons, vaches) errer près de leurs champs, les animaux mangent toutes les jeunes pousses comestibles en ne laissant que les buissons de buis. Ceci est remarquable dans tout le bassin de St-Martin, où les massifs de buis longent de nombreuses routes. De plus, au niveau des parcelles qui se situent à proximité des

champs, il y a de nombreux jeunes arbres broutés au niveau du méristème apical. Ce sont souvent les chênes blancs qui sont consommés par le bétail.

La présence de quelques cistes (*Cistus* sp.) hors des quadrats, nous indique qu'il y a sans doute eu des incendies. En effet, le ciste est une plante qui se régénère facilement après un incendie. Des morceaux de bois calcinés ont été trouvés à plusieurs endroits, y compris dans les quadrats.

Enfin, l'occurrence d'arbres à plusieurs troncs (cépées) est dû au fait que l'homme les ait coupés. Il est clair que l'homme, de part ses activités, et surtout depuis sa sédentarisation, a profondément modifié le paysage.

CONCLUSION

La dominance de *Quercus ilex* s'explique par deux raisons :

Premièrement, il est mieux adapté au climat méditerranéen et donc à la sécheresse : il a besoin de peu d'eau, il résiste très bien aux changements de température, et peut pousser dans les sols les plus pauvres.

Deuxièmement, quand l'homme a commencé à exploiter la terre et à cultiver, il a d'abord coupé les chênes pubescents poussant sur les terres cultivables et fertiles. Le chêne vert a lui aussi été utilisé, car il est un meilleur combustible et est plus résistant. Son défrichage a modifié les cycles de vie et les densités des populations par une modification directe des niveaux de ressources (Floret et al., 1992). Cependant, contrairement au chêne pubescent, il est capable de rejeter facilement de souche après avoir été coupé, d'où l'apparition d'individus avec plusieurs troncs. Ceci explique que petit à petit, les populations de chênes pubescents aient diminué pour laisser la place aux chênes verts.

RÉFÉRENCES

Curt T., Adra W. & Borgniet L. (2009). Fire-driven oak regeneration in French Mediterranean ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 258 : 2127-2135.

- Floret C., Galan M.J., Le Floc'h E., Rapp M. & Romane F. (1989). Organisation de la structure, de la biomasse et de la minéralomasse d'un taillis ouvert de chêne vert (*Quercus ilex* L.). *Acta Oecologica*, 10 : 245-262.
- Floret C., Galan M.J., Le Floc'h E. & Romane F. (1992). Dynamics of holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices after clearcutting in southern France. *Vegetatio*, 99-100 : 97-105.
- Houssard C., Escarré J. et Romane F. (1982). Méthodes d'étude du couvert de la végétation dans les taillis de chêne vert. *Acta Oecologica*, 3 : 53-70.
- Kessler J. & Chambraud A. (1990). *Météo de la France : tous les climats localité par localité*. Eds. Lattès, Paris, 391 p.
- Khelfa A. & Romane F. (1985). *Géomorphologie et répartition du chêne vert (Quercus ilex L.) et du chêne pubescent (Quercus pubescens Willd) en Languedoc*. CEPE/CNRS, Montpellier.
- Leonardi S. & Rapp M. (2001). *Biomasse et composition minérale de Quercus ilex L. du mont Minardo (Etna)*. Institut de Botanique, Catania.
- Naveh Z. & Dan J. (1973). The human degradation of Mediterranean landscape in Israël. In: F. Di Castri & H.A. Mooney (eds.), *Mediterranean type ecosystems: Origin and structure*, pp. 373-390. Springer, New-York.
- Zhang SH. & Romane F. (1990). *Variation de la croissance radiale de Quercus ilex L. en fonction du climat*. Centre Emberger, CNRS, Montpellier.
- Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R. & Mencuccini M. (2005). *Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe*. Silva Fennica, Monographs 4.

ANNEXE : Liste des espèces observées dans les différents quadrats étudiés.

Strate (nb d'ind.)	Rouet 1			Rouet 2			Rouet 3		
	Basse	Moy	Haute	Basse	Moy	Haute	Basse	Moy	Haute
<i>Coronilla glauca</i>							2	1	
<i>Euphorbia characias</i>	0						3		
<i>Buxus sempervirens</i>	50%	50%			120m ²			40%	
<i>Phillyrea angustifolia</i>						2%	7	4	
<i>Juniperus oxycedrus</i>	2			25 m ²			1		
<i>Quercus ilex</i>				14	9	21	6	3	13
<i>Quercus pubescens</i>	9	4	8	5		3		2	18
<i>Ruscus aculeatus</i>	4m ²						10m ²		
<i>Rubia perigrina</i>	20						26	4	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>							1		
<i>Pistacia lentiscus</i>						4	6		1
<i>Helioberus foetidus</i>	5						1		
<i>Smilax aspera</i>								3	
<i>Acer monspessulanum</i>						3	2		1
<i>Asparagus officinalis</i>		40%					36	3	
<i>Aristolochia clematitis</i>	1	1						3	
<i>Prunus mahaleb</i>	1	5	3					2	
<i>Genista hispanica</i>								81	
<i>Thymus vulgaris</i>	17			50 à 70 m ²					
<i>Arum italicum</i>									
<i>Juniperus phoenicea</i>					15				
<i>Sedum acre</i>									
<i>Amelanchier ovalis</i>									
<i>Asplenium ceterach</i>									
<i>Rubus fruticosus</i>	20								
<i>Hedera helix</i>	4								
<i>Rosa canina</i>	6								
<i>Lonicera etrusca</i>		1							

Strate (nb d'ind.)	Rouet 4			Rouet 5		
	Basse	Moy	Haute	Basse	Moy	Haute
<i>Coronilla glauca</i>						
<i>Euphorbia characias</i>				5	3	
<i>Buxus sempervirens</i>		160m ²		21	22	
<i>Phillyrea angustifolia</i>	61		9	50	12	13
<i>Juniperus oxycedrus</i>	1	23	7	1	6	
<i>Quercus ilex</i>			11	4	1	17
<i>Quercus pubescens</i>			3			
<i>Ruscus aculeatus</i>	72			30	11	
<i>Rubia perigrina</i>	16			140	21	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>				2		
<i>Pistacia lentiscus</i>			2	3	14	5
<i>Helioberus foetidus</i>				1		
<i>Smilax aspera</i>	20			36	30	16
<i>Acer monspessulanum</i>				1		3
<i>Asparagus officinalis</i>	22			42	22	
<i>Aristolochia clematitis</i>						
<i>Prunus mahaleb</i>				1	1	
<i>Genista hispanica</i>	11				1	
<i>Thymus vulgaris</i>	25			9		
<i>Arum italicum</i>	1					
<i>Juniperus phoenicea</i>	3		2			
<i>Sedum acre</i>				11		
<i>Amelanchier ovalis</i>				2	3	
<i>Asplenium ceterach</i>				6		