

Orpail

synthesis 2011

No 4

Vallon des Hermitans
Grand Luberon
Vaucluse



ORPAL : Les quatre saisons de Peypin d'Aigues

« Regarde! Tu te rends compte le cul qu'on a, nous, ici dans le trou du cul du monde de la Provence ; on a tout ça, regarde : le côté rosé des nuages avec le côté violet et pis, de temps en temps du bleu ; et en bas, toute la verte.... Un changement total de la vision de l'humanité. »
Christian Philibert, Les quatre saisons d'Espigoule

Changement de cadre géographique pour le millésime 2011 : ORPAL quitte le Languedoc pour se rendre sur la rive gauche du Rhône, direction le versant sud du Grand Luberon (Provence), et plus précisément la commune de Peypin d'Aigues (Vaucluse). Le grand Luberon est un massif constituant une unité paysagère de transition entre les hauts terrains de la Provence alpine et ceux de la basse Provence. Le flanc du massif draine un important réseau hydrographique qui converge vers la vallée de la Durance. Il est constitué de roches oligocènes et miocènes (sables marins, faciès gréseux, calcaires détritiques), les dernières formées lors d'une importante transgression marine. De nombreuses formations travertineuses localisées au débouché d'exurgences karstiques sont observables dans la région. L'une d'elle forme, à quelques encablures du village de Peypin d'Aigues, le système travertineux des Hermitans. C'est autour de ce système que se sont organisées les prospections ORPALiennes.

Les travertins sont des formations carbonatées dont la construction est d'origine physico-chimique et biochimique. Ils sont, à juste titre, considérés comme d'excellents indicateurs paléoenvironnementaux du fait de leur extrême sensibilité aux fluctuations climatiques et aux perturbations pouvant affecter le milieu physique et la végétation (variations de l'hydrologie, modes d'occupation des populations humaines par exemple). Selon Vincent Ollivier (géomorphologue et géoarchéologue au Collège de France) qui nous a fait l'honneur de participer activement et de coordonner les opérations de cette école de terrain (l'équipe pédagogique le remercie très chaleureusement !), « l'originalité des faciès travertineux rencontrés dans le Luberon révèle une succession d'environnements dont la rythmicité et la dynamique sont différentes (passage entre des phases à caractère palustre prédominant et des épisodes typiquement alluviaux). Les variations de faciès, largement exprimées dans les stratigraphies, semblent être le témoignage des fluctuations morpho-sédimentaires holocènes locales ». Enfin, les travertins sont des milieux de conservation de premier ordre dans lesquels de nombreux marqueurs environnementaux sont piégés et sont analysables s'ils sont correctement échantillonnés : charbons, pollen, malacofaune, empreintes foliaires, mobilier archéologique... C'est donc sur le potentiel paléoécologique et paléoenvironnemental du Vallon des Hermitans que se sont appuyés les groupes de travail. Les investigations se sont toutefois élargies à des problématiques sur l'étude de Charophytes actuelles et fossiles, et sur l'influence des feux (une perturbation majeure en Provence !) sur la croissance radiale du pin d'Alep. On insistera également sur le fait que le piedmont du grand Luberon a constitué un des terrains d'étude de Thomas Fournier pour sa thèse de Doctorat (Université Montpellier 2, 2012).

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

Chara vulgaris f. squamosa : une forme subaérienne rare en France

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 2011

Vallon des Hermitans

Luberon, Vaucluse

Etude taphonomique dans la ripisylve de Peypin d'Aigues, Luberon	7
Dynamiques paléoenvironnementales récentes du vallon des Hermitans (Luberon) : l'apport de la sédimentologie et des macrofossiles (Charophytes)	17
Impact des feux sur la dynamique de la végétation dans le Grand Luberon	29
Etude dendrochronologique de l'accroissement radial post-incendie du pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i> Mill.) en région méditerranéenne (Luberon)	35
Etude palynologique d'un ruisseau travertineux (Peypin d'Aigues, Luberon)	45



Troupeau d'orpaliens récemment introduits en train de pâturer dans le sous-bois du vallon des Hermitans

ÉTUDE TAPHONOMIQUE DANS LA RIPISYLVE DE PEYPIN D'AIGUES, LUBERON

Kevin Chantung-Sobandi¹, Julie Chenot², Eef De Clercq³

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

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

¹ sthuder_77@hotmail.com, ² chenot.julie@gmail.com, ³ viktor_en_nijntje@hotmail.com

Encadrement : Laurent Brémond et Paul Roiron

Résumé : La taphonomie correspond à l'étude des processus qui interviennent au cours du transport et de la fossilisation d'organismes vivants. Cette étude a pour but d'analyser les processus conduisant les feuilles de l'arbre jusqu'au milieu de dépôt dans un ruisseau du Luberon (Vaucluse). La représentation de la végétation actuelle a été étudiée à travers l'échantillonnage de restes foliaires sur 6 sites de la ripisylve. Des corrélations ont été établies entre la végétation actuelle et les quantités de feuilles récoltées, en lien avec leur morphologie, la biomasse des individus, les barrières naturelles, l'intensité du courant et la date de prélèvement. Plus la biomasse des arbres est importante et plus les feuilles ont une morphologie permettant une grande dispersion, plus les espèces seront représentées dans les relevés.

Mots clés : Luberon, macrorestes, ripisylve, taphonomie, travertinisation

Abstract : Taphonomy is the study of conditions and processes by which organisms may become fossilised. In this study, we investigate the processes a leaf will undergo when falling from its tree into a river system in Luberon (Vaucluse). We sampled leaf organs and fragments, found in the river, in 6 different sites in order to analyse the representativity of the surrounding vegetation. We found that the quantity of each species present in the samples is influenced by leaf morphology, individual biomass, natural barriers, river flow and the period of sampling. The larger the biomass of trees and the leaf area are, the more the species are represented in the samples.

Keywords: Luberon, macroremains, riparian forest, taphonomy, travertinisation

Les ripisylves constituent des écosystèmes forestiers diversifiés qui peuplent les bords des cours d'eau. La végétation riveraine possède des fonctions écologiques majeures en tant qu'écotone et dans le maintien des berges, avec sa structure stratifiée comprenant généralement une strate arborescente dominée par des saules (*Salix* spp.) et des peupliers (*Populus* spp.), une strate arbustive comprenant des saules (*Salix* spp.) et des sureaux (*Sambucus* spp.) et une strate herbacée constituée d'espèces hygrophiles comme les laïches (*Carex* spp.), les joncs

(*Juncus* spp.) et les Poaceae (Depraetere, 2008).

L'analyse taphonomique permet la reconstitution environnementale des communautés végétales passées grâce à l'étude des débris organiques sous forme de fossiles tels que pollen, charbons de bois, empreintes de feuilles, fruits ou graines (Martin-Closas & Gomez, 2003). Efremov (1940) définit la taphonomie comme l'étude des processus qui interviennent au cours du passage de l'état de restes organiques d'organismes vivants à celui d'assemblage fossile. La taphonomie des végétaux inclut autant le processus d'abscis-

sion de portions de plantes que le transport vers un lieu de dépôt final, le piégeage et l'ensevelissement (Greenwood, 1991). Les restes végétaux vont tout d'abord pénétrer le système aquatique par transport aérien suite à des pertes physiologiques ou traumatiques des végétaux situés à proximité du cours d'eau. Une fois sur l'eau, les débris vont flotter un certain temps et être emportés par le courant avant de s'enfoncer et d'être piégés (Martin-Closas & Gomez, 2003). Les méandres et les gours vont intercepter une partie de ces restes végétaux transportés par le courant. Lors de leur passage de la biosphère à la lithosphère, les restes organiques peuvent suivre deux voies métaboliques différentes. Ils peuvent soit être préservés dans l'environnement et pouvoir ensuite se fossiliser dans des milieux adéquats, soit être dégradés par l'action des organismes décomposeurs (Sparkes et al., 2008) et des phénomènes chimiques. Lors de ce passage, une partie de l'information biologique est perdue, rendant ainsi difficile l'interprétation des assemblages fossiles en termes de végétation passée (Martin-Closas & Gomez, 2003).

Dans les milieux calcaires, les sources et rivières riches en carbonates peuvent former des édifices travertineux. Par des phénomènes physico-chimiques et biologiques (libération de CO₂, augmentation de la température ou agitation de l'eau), les carbonates se déposent en emprisonnant parfois des macrorestes végétaux (Ollivier, 2006). L'étude taphonomique de la ripisylve du vallon des Hermitants, sur la commune de Peypin d'Aigues (Vaucluse, 84), dans le massif calcaire du Luberon, a pour but de mieux comprendre l'acheminement des feuilles de l'arbre au milieu de dépôt où elles sont susceptibles de se travertiniser. Pour cela, la provenance des débris végétaux échantillonnés dans le cours d'eau et la représentativité des espèces récoltées en fonction de la végétation actuelle sont comparées.

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Le site d'étude (43°47'19"N ; 5°34'14"E ; 395 m alt.), caractérisé par la présence d'une ripisylve, est localisé sur la commune de Peypin d'Aigues, dans le Vaucluse (84). Cette commune est divisée en deux : d'un côté, la plaine alluviale de la Durance, et de l'autre, le massif calcaire du Grand Luberon. La région est soumise à un climat méditerranéen subhumide tempéré. La période sèche dure les trois mois d'été, les hivers sont doux et humides et les pluies, qui peuvent être très abondantes au printemps et à l'automne, n'excèdent cependant pas une hauteur totale annuelle de 600 à 800 mm (Ollivier, 2006). La flore qui borde le cours d'eau est de type méditerranéen, à la fois hydrophytique et forestière. La zone d'étude s'étend le long de la ripisylve, sur 400 mètres. Six stations ont été choisies avec des conditions hydrométriques diverses pour représenter au mieux les différents milieux de la ripisylve.

2- Echantillonnage

Six sites ont été échantillonnés le long d'un transect dans la ripisylve (Fig. 1). Pour chacun de ces sites, trois répliqués ont été réalisés. Les feuilles, arrêtées par des gours ou déposées au fond du cours d'eau, ont été ramassées aléatoirement à la main et placées dans des sacs en plastique. Parallèlement, un relevé de la végétation actuelle autour du site d'étude a été établi. Au laboratoire, les feuilles ont été étalées sur du papier journal et placées à l'étuve à 37°C durant une semaine afin d'accélérer le séchage et d'éviter toute détérioration des échantillons. Après cette semaine d'incubation, les feuilles ont été identifiées à l'aide de flores et dénombrées suivant trois modalités de morphologie : feuille entière ; demi-feuille ; fragment de feuille.

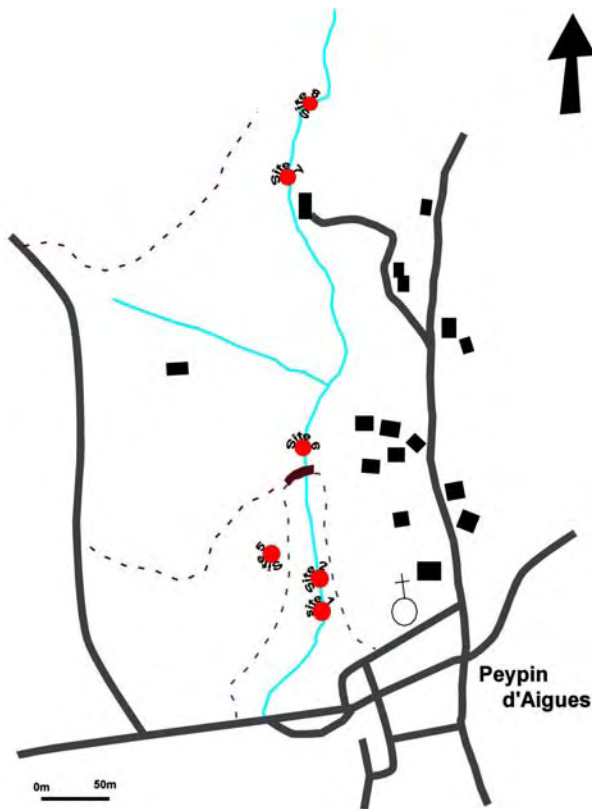


Figure 1. Localisation des sites de prélèvement sur le lieu dit des Hermitans

3- Analyse statistique

L'analyse des données a été réalisée grâce au logiciel R (R Statistical Computing version 2.9.2). Le test utilisé est une analyse de variance ANOVA (données suivant une loi normale).

RESULTATS

1- Relevés de végétation actuelle

La végétation entourant le site étudié, composée de 57 espèces, est majoritairement constituée de plantes pérennes. Parmi ces 57 espèces, 22 sont des espèces arborescentes ligneuses. Cette végétation est caractéristique de plusieurs types de milieux : (1) *Quercus pubescens* est une espèce forestière ; (2) *Juniperus communis* est un marqueur de pâturage ; (3) *Pinus halepensis* est une espèce caractéristique de milieux perturbés par le feu ; (4) *Pyrus communis* et *Yucca gloriosa* sont des espèces introduites échappées de culture ; et (5) la plupart des espèces (*Salix* spp., *Carex* spp., *Juncus* spp., *Equisetum* spp.,

Populus spp., etc.) sont des hydrophytes caractéristiques des ripisylves.

2- Relevés de feuilles échantillonnées

3605 feuilles, appartenant à 15 espèces, ont été récoltées et identifiées. Les relevés sont marqués par l'abondance de 3 espèces qui représentent plus de 79.0 % des échantillonnages : *Quercus pubescens* (41.4 %), *Pinus halepensis* (23.6 %) et *Populus alba* (14.2 %). Par ailleurs, deux espèces (*Crataegus monogyna* et *Rubus ulmifolius*) n'ont été observées qu'une fois.

3- Relation spatiale entre les feuilles prélevées et la végétation de la ripisylve

A l'exception de *Scirpoides holoschoenus* et de *Phragmites australis*, les relevés contiennent uniquement des espèces ligneuses de la végétation actuelle. Aucune espèce extérieure à la ripisylve n'a été trouvée : la totalité des espèces relevées provient de la végétation riveraine. En revanche, l'ensemble des espèces de la végétation actuelle n'a pas été retrouvé dans les différents prélèvements de feuilles (73.2 % de perte). La majorité des feuilles prélevées est issue de la végétation arborescente, avec de grandes variations d'abondance. Des espèces proches de sites d'étude, telles que l'aubépine (*Crataegus monogyna*) ou la ronce (*Rubus ulmifolius*) n'ont été dénombrées qu'une seule fois dans l'ensemble des prélèvements. *A contrario*, des espèces telles que *Quercus pubescens* et *Populus* spp. sont dominantes dans l'ensemble des échantillons, alors que ces arbres sont à plus de 10 mètres des zones échantillonnées.

Les Figures 2 à 4 présentent le pourcentage de feuilles d'une espèce donnée par rapport à la distance des arbres de la même espèce, pour l'ensemble des sites. Aucune influence de la distance des arbres par rapport au site de prélèvement n'est observée pour *Quercus pubescens* (Fig. 2). Par exemple, le pourcentage des feuilles de *Q. pubescens* dans les sites 1 et 2 est presque le même (30.7 et 33.2 %, respectivement), mais la distance de l'arbre le plus proche au site de prélèvement

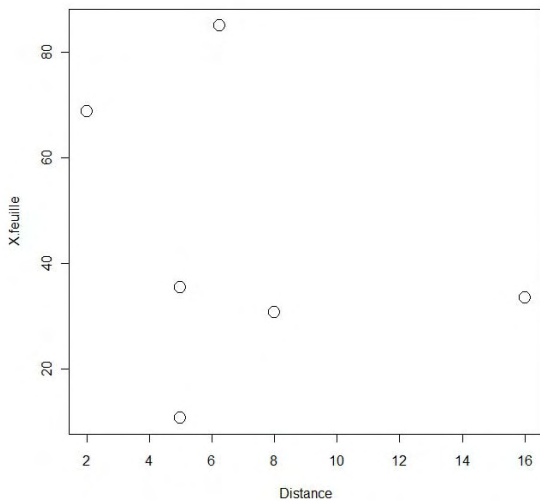


Figure 2: *Quercus pubescens*. Effet de la distance moyenne des individus (en m) sur le pourcentage de feuilles récoltées

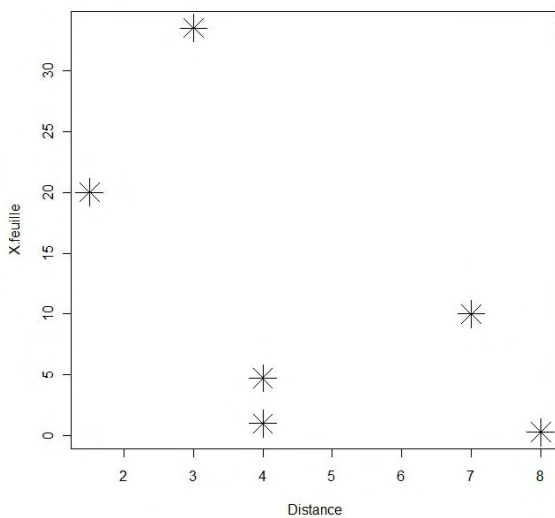


Figure 3: *Populus alba*. Idem

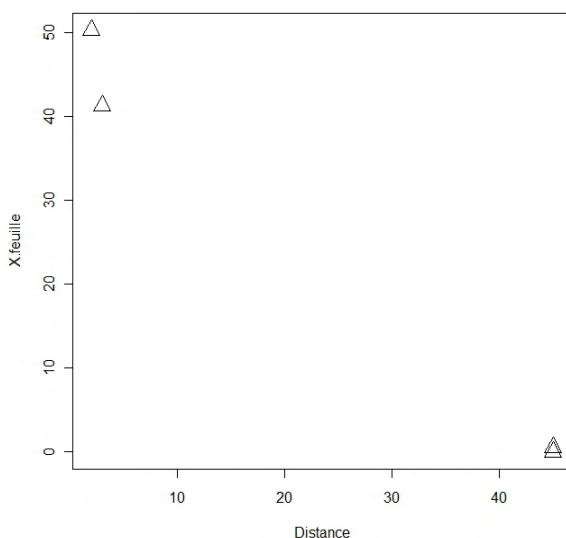


Figure 4: *Pinus halepensis*. Idem

est plus grande dans le site 2 que dans le site 1 (16 et 8 m respectivement) (Tab. 1). Tandis que *Quercus pubescens* et *Populus alba* ne montrent pas d'influence de la distance sur les quantités de feuilles échantillonnées (Figs. 2 et 3), les quantités d'aiguilles de *Pinus halepensis* récoltées dans la rivière augmentent avec la distance des pins (Fig. 4).

4- Relation entre le type de feuillage et les feuilles récoltées

La majorité des feuilles d'arbres récoltées en cette période hivernale est issue de ligneux (80 %) à feuillage caduc ou marcescent (*Quercus pubescens*). De nombreuses aiguilles de *Pinus* spp. ont également été relevées : elles proviennent d'arbres perdant leurs aiguilles tout au long de l'année. Une seule feuille de *Quercus ilex*, arbre à feuillage sempervirent, a été récoltée au site 5.

5- Impact du courant sur la fragmentation des feuilles récoltées et la richesse spécifique

Les feuilles ont été récoltées sur différents sites à caractères hydrologiques dissemblables. Les sites à fort courant (sites 1, 6 et 8) présentent les plus faibles taux de richesse spécifique, respectivement de 6, 7 et 4 espèces par sites. Le courant était très faible dans les sites 2 et 7, et même nul dans le site 5 où l'eau était stagnante. Les richesses spécifiques de ces sites sont plus importantes, avec 9 espèces pour le site 2, 10 pour le site 5 et 9 pour le site 7. Ces résultats suggèrent que la variation d'hydrologie (intensité du courant) se répercute autant sur la qualité de conservation des feuilles récoltées que sur leur richesse spécifique.

Pour ce qui est des différences morphologiques des feuilles, les tests statistiques ANOVA suivi du test post-hoc de Tukey-HSD montrent une différence significative ($p < 0.001$) entre les divers sites et les quantités de feuilles entières, demi-feuilles et fragments de feuilles (Fig. 5). Les sites à fort courant 1 et 6 présentent le plus grand pourcentage de fragment de feuilles (respectivement 82.9 et 44.1 %). Les feuilles

entières sont majoritaires dans les sites 5 (67.3 %) et 7 (58.1 %). Le site 5 a accumulé cinq fois plus de feuilles entières que de fragments ou demi-feuilles contrairement au

site 1 qui présente un taux de fragments de feuilles six fois plus important que les deux autres modalités.

Tableau 1: Abondance relative des feuilles récoltées et distance moyenne entre les individus dans la végétation actuelle et les sites d'échantillonnage des feuilles

Taxon	Présence des plantes						Pourcentage de feuilles par site						Distance plante-site (m)						AM
	1	2	5	6	7	8	1	2	5	6	7	8	1	2	5	6	7	8	
<i>Crataegus</i>	.	.	x	.	.	.	0	0	0.1	0	0	0			5				1-2
<i>Equisetum</i>	.	.	.	.	x	.	0	0	0	0	0.2	0	1	2			0.5		4
Monocots	x	x	x	x	x	.	58.1	30.0	2.6	1.9	0.3	0	0	0	1	1	0		3-4
<i>Phragmites</i>	x	x	.	.	.	.	8.8	9.8	0	0	0	0	0	0	1				4
<i>Pinus</i>	.	x	x	x	.	.	0	0.5	41.3	50.3	0	0	45	45	3	2			+
<i>Pop. alba</i>	x	x	x	x	x	x	0.3	1	4.7	33.5	10.0	20.0	8	4	4	3	7	1.5	3
<i>Pop. nigra</i>	x	x	x	x	x	x	1.5	3	11.5	3.2	2.6	8.0	8	5	4	4	8	2	2-3
<i>Qu. ilex</i>	.	.	x	.	.	.	0	0	0.4	0	0	0			4				2
<i>Qu. pub.</i>	x	x	x	x	x	x	30.7	33.6	35.4	10.7	85.2	68.8	8	16	5	5	6	2	3
Rosaceae	.	.	.	.	x	.	0	0	0	0	0.1	0							
<i>Rubus</i>	.	.	x	.	.	.	0	0	0.1	0	0	0			5				4
<i>Sa. alba</i>	.	x	x	.	x	x	0	7.5	0.3	0	0.1	3.2	2	4			10	2	3
<i>Sa. cin.</i>	.	x	.	x	x	.	0	0.5	0	0.2	0.1	0	2			5	10		3
<i>Sa. purp.</i>	x	x	x	x	.	.	0.6	14.0	3.5	0.1	0	0	8	3	5	5			4
<i>Ulmus</i>	.	.	.	.	x	.	0	0	0	0	1.4	0					4.5		+

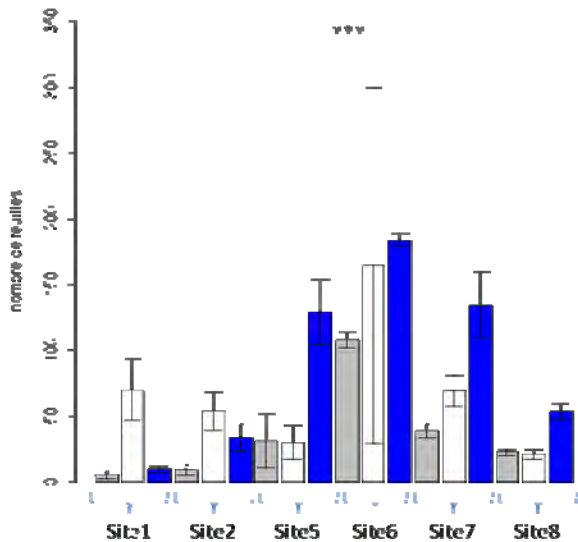


Figure 5: Distribution des feuilles échantillonnées selon leur état de conservation (bleu : feuilles entières ; gris : demi-feuilles ; blanc : fragments de feuille) en fonction des sites étudiés

DISCUSSION

1- Végétation actuelle

Plusieurs espèces présentes dans la végétation actuelle caractérisent des milieux anthropisés. Le poirier (*Pyrus communis* ; site 7) provient probablement de plantations proches, et le yucca (*Yucca gloriosa* ; site 6), qui est une plante ornementale, s'est échappé de culture. La végétation naturelle qui domine la zone d'étude comprend des pins d'Alep (*Pinus halepensis*), des peupliers (*Populus alba* et *P. nigra*) et des saules (*Salix alba*, *S. cinerea* et *S. purpurea*). Ces espèces sont caractéristiques de deux habitats, en l'occurrence les coteaux cultivés plus secs et les fonds de vallons humides. L'existence de différentes strates végétales (herbacée, arbustive et arborescente) indique que tous les stades de la succession écologique sont représentés. Les relevés des six stations contiennent au maximum 10 espèces, alors que la végétation environnante est très variée (Annexe). L'analyse des résultats indique une forte

présence de feuilles d'Eudicots ligneuses (80 %) par rapport aux Monocots (20 %). La comparaison des prélèvements de feuilles par rapport à la végétation actuelle montre une similitude de 100 %. Les espèces représentées dans les relevés sont strictement celles de la végétation avoisinante.

2- Relations entre végétation et assemblages taphonomiques

De nombreuses espèces présentes dans la végétation actuelle n'ont pas été retrouvées dans les échantillonnages (73.2 % de perte), ce qui pourrait être lié au moins en partie à leur morphologie. En effet, les feuilles de cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), par exemple, n'ont pas une cuticule épaisse : elles se recourbent et se dégradent rapidement sur l'arbre ou dans la litière (Harmon et al., 1990). La prospection autour des arbres dans le but de rechercher des feuilles de cornouiller n'a pas été fructueuse. Les feuilles sont très vite dégradées et n'ont pas le temps d'atteindre la rivière et de s'y fossiliser. C'est également le cas des herbacées et du noisetier (*Corylus avellana*), dont les feuilles, qui possèdent une cuticule fine se dégradent plus rapidement que celles d'espèces telles que les chênes (Lecerf et al., 2007). L'absence de certaines espèces dans les relevés est donc attribuable à l'action des bactéries, des champignons et des animaux détritivores qui les dégradent.

De même, la morphologie des feuilles (poids, surface) peut influencer leur dispersion. Les aiguilles de pin, lourdes et sans aérodynamisme, sont peu transportées par le vent et se retrouvent à proximité de l'arbre. C'est le contraire pour les feuilles de chêne blanc (*Quercus pubescens*), coriaces, larges et plates, qui peuvent être emportées plus loin.

La faible représentativité de la végétation actuelle dans les zones d'échantillonnage peut également être expliquée par la présence de barrières naturelles susceptibles d'empêcher les feuilles d'arriver jusqu'à la rivière et d'être emportées vers l'aval. C'est le cas pour le site 1, où aucune aiguille n'a été retrouvée, malgré la présence de *Pinus halepensis* dans la végétation avoisinante. Or, de nombreuses

aiguilles de pin ont été récoltées dans le site 2, qui se trouve à 10 mètres en amont du site 1 : en raison de la présence de courant, des aiguilles devraient logiquement se retrouver dans le site 1. Le relevé de végétation du site montre la présence de Monocots (*Scirpoides holoschoenus* et *Phragmites australis*) tout autour et dans le ruisseau. Les aiguilles de pin ont donc probablement été arrêtées par la barrière naturelle formée par ces Monocots entre les deux sites.

Alors que certaines espèces présentes dans la végétation actuelle sont absentes des relevés de feuilles, d'autres, comme le chêne blanc (*Quercus pubescens*), sont surreprésentées, avec 41,4 % de l'ensemble des feuilles prélevées. La morpho-anatomie des feuilles de cette espèce permet, d'une part, une grande résistance contre les décomposeurs (cuticule épaisse) et, d'autre part, une grande dispersion par le vent (limbe plat et large). Les feuilles de cette espèce retrouvées dans nos relevés proviennent de chutes automnales ou printanières (espèce marcescente). Leur surreprésentation est aussi liée à la biomasse totale de l'arbre et à la production de ses feuilles. En effet, les espèces n'ont pas la même biomasse et ont un stock de feuilles plus ou moins important qui pourrait potentiellement se retrouver dans la rivière. Le chêne blanc possède une grande canopée et produit un nombre considérable de feuilles par rapport à d'autres espèces, ce qui entraîne une plus grande proportion de ses feuilles dans les échantillonnages. Il faut noter que les feuilles les plus abondantes (*Quercus pubescens*, *Pinus halepensis* et *Populus alba*) proviennent de la végétation arborescente qui produit une plus grande biomasse que la strate arbustive.

3- Influence des processus taphonomiques

La surreprésentation et le nombre total d'espèces récoltées dépendent de la période d'échantillonnage. En effet, les chutes de feuilles se produisent à des dates différentes suivant les espèces, à l'automne pour les essences à feuillage caduc et tout au long de l'année pour les essences à feuillage persistant. Dans cette étude, les relevés ont été

effectués en fin d'hiver, période à laquelle les arbres caducs n'ont plus de feuilles, celles-ci ayant pu être acheminées plus loin dans la rivière ou dégradées par les microorganismes. La distance des arbres par rapport au site de prélèvement ne semble avoir que peu d'effet sur la quantité de feuilles déposées. D'après les résultats observés, celle-ci dépend uniquement de la morphologie et biomasse de l'arbre, ainsi que la période d'échantillonnage.

Au niveau de la morphologie des feuilles récoltées, le principal acteur de la fragmentation est le courant, qui produit une action mécanique de dégradation en entraînant avec lui les éléments grossiers et les roches pouvant agir sur les feuilles et les disloquer. En effet, les sites à fort courant ont montré une fragmentation beaucoup plus importante que les sites à courant faible ou à eau stagnante, comme dans le site 5 où les feuilles entières prédominent. Un trop fort courant pourrait entraîner une dégradation des feuilles suffisamment importante pour empêcher leur identification, voire entraîner leur complète disparition.

La nature calcaire du substratum est favorable à la travertinisation (Ollivier, 2006). Toutefois, bien que nous ayons pu observer que certaines feuilles commençaient à s'encroûter, aucun édifice travertineux important n'a pu être observé.

CONCLUSION

L'étude taphonomique réalisée montre l'existence d'une relation entre feuilles récoltées et végétation environnante à l'aide de paramètres biotiques et spatio-temporels. Il a été montré que les feuilles échantillonnées proviennent toutes de la végétation avoisinante et que la représentation de la végétation n'est pas influencée par la distance des arbres, mais plutôt par leurs caractéristiques. En effet, la morpho-anatomie foliaire des espèces, leur biomasse, ainsi que la période d'échantillonnage influencent directement la représentation et l'abondance des espèces dans les assemblages taphonomiques. Ceci est particulièrement vrai pour la date de l'étude, qui conditionne de manière importante la repré-

sentation des diverses espèces. Le processus taphonomique se déroulant sur un an, il aurait été préférable de réaliser plusieurs prélèvements au cours de l'année pour avoir une meilleure représentativité des dépôts par rapport à la végétation présente. Il serait également intéressant de déterminer la biomasse des arbres environnants et d'homogénéiser les relevés en quantifiant les prélèvements avec des outils adéquats (pièges de captage de même volume).

Les restes de la végétation actuelle peuvent se retrouver fossilisés ou travertinisés, selon le milieu d'étude, soit dans les assemblages microfossiles, soit dans les débris végétaux qui sont transportés par le vent et se déposent dans des milieux sédimentaires. C'est pourquoi une étude complémentaire de palynologie superficielle aurait été nécessaire à l'approfondissement de cette étude taphonomique. L'approche pollinique permet d'obtenir des informations plus régionales, en intégrant également les espèces herbacées non conservées sous forme de macrorestes.

REFERENCES

- Depraetere M. (2008). Conception d'un protocole adapté à l'étude des ripisylves en région méditerranéenne : cas de l'Huveaune dans le Sud-Est de la France. Mémoire de Master 1 Ecologie EBE, Université Paris Sud XI, 44 p.
- Efremov I.A. (1940). Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan American Geologist*, 74 : 81-93.
- Greenwood D.R. (1991). The taphonomy of plants macrofossils. In : S.K. Donovan (ed.). *Fossilization: The processes of taphonomy*. Columbia University Press, New York, 141-169.
- Harmon M.E., Baker G.A, Spycher G. & Greene S.E. (1990). Leaf-litter decomposition in the *Picea/Tsuga* forests of Olympics National Park, Washington, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, 31 : 55-66.
- Lecerf A., Risnoveanu G., Popescu C., Gessner M.O. & Chauvet E. (2007). Decomposition of diverse litter mixtures in

streams. *Ecological Society of America*, 88 : 219-227.

Martin-Closas C. & Gomez B. (2003). Taphonomie des plantes et interprétations paléocéologiques. Une synthèse. *Geobios*, 37 : 65-88.

Ollivier V. (2006). *Continuité, instabilités et ruptures morphogéniques en Provence*

depuis la dernière glaciation. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille I.

Sparkes T.C., Mills C.M., Volesky L.A., Talkington J.A. & Brooke J.S. (2008). Leaf degradation, macroinvertebrate shredders & energy flow in streams: a laboratory-based exercise examining ecosystem processes. *American Biology Teacher*, 70 : 90-94.

ANNEXE

Annexe 1 : Relevé de la végétation de la ripisylve

Espèces	Abondance	Espèces	Abondance
<i>Agrostis stolonifera</i>	4	<i>Mentha longifolia</i>	+
<i>Arundo donax</i>	+	<i>Osyris alba</i>	2
<i>Asparagus acutifolius</i>	1	<i>Phragmites australis</i>	4
<i>Bromus</i> sp.	1	<i>Picea abies</i>	+
<i>Buxus sempervirens</i>	+	<i>Pinus halepensis</i>	+
<i>Carex flacca</i>	1	<i>Pinus sylvestris</i>	+
<i>Chara vulgaris</i>	1	<i>Pyrus communis</i>	+
<i>Cornus sanguinea</i>	2-3	<i>Platanus hispanica</i>	+
<i>Corylus avellana</i>	1	<i>Populus alba</i>	3
<i>Crataegus monogyna</i>	1-2	<i>Populus nigra</i>	2-3
<i>Dorycnium hirsutum</i>	+	<i>Pyracantha coccinea</i>	+
<i>Epilobium hirsutum</i>	1-2	<i>Quercus coccifera</i>	+
<i>Equisetum ramosissimum</i>	+	<i>Quercus ilex</i>	2
<i>Equisetum telmateia</i>	4	<i>Quercus pubescens</i>	3
<i>Spartium junceum</i>	1	<i>Rosmarinus officinalis</i>	+
<i>Hedera helix</i>	2	<i>Rubia peregrina</i>	1
<i>Hypericum tetrapterum</i>	+	<i>Rubus ulmifolius</i>	4
<i>Iris pseudacorus</i>	1	<i>Salix alba</i>	3
<i>Jasminum fruticans</i>	+	<i>Salix cinerea</i>	3
<i>Juncus acutiflorus</i>	1	<i>Salix purpurea</i>	4
<i>Juncus inflexus</i>	1	<i>Samolus valerandi</i>	+
<i>Juniperus communis</i>	1	<i>Scirpoides holoschoenus</i>	3-4
<i>Laurus nobilis</i>	+	<i>Sorbus aria</i>	+
<i>Ligustrum vulgare</i>	1-2	<i>Teucrium chamaedrys</i>	+
<i>Lonicera implexa</i>	+	<i>Ulmus minor</i>	2
<i>Lythrum salicaria</i>	2	<i>Viburnum tinus</i>	1
<i>Mentha aquatica</i>	+	<i>Viscum album</i>	1

DYNAMIQUES PALEOENVIRONNEMENTALES RECENTES DU VALLON DES HERMITANS (LUBERON) : L'APPORT DE LA SEDIMENTOLOGIE ET DES MACROFOSSILES (CHAROPHYTES)

Rémi Fay¹, Elie Gaget², Alexia Paniandy³

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

¹ fay.remi@gmail.com, ² elie.gaget@gmail.com, ³ alexia.paniandy@gmail.com

Encadrement : Ingeborg Soulié-Märsche

Résumé : Le système travertineux du vallon des Hermitans présente des conditions optimales de fossilisation des organismes vivants. Les paramètres hydrographiques et floristiques actuels ont permis de caractériser des environnements de référence pour réaliser une reconstitution paléoenvironnementale à partir d'un carottage sédimentaire. Des colonies encroûtées d'algues relativement rares (*Chara vulgaris* subsp. *squamosa*) ont en particulier fait l'objet d'une étude morphométrique dans le but d'identifier leurs restes fossiles. Depuis 1300 ans, deux phases de changement ont affecté la végétation hydrophile riveraine de la zone étudiée : le milieu initialement ouvert, s'est fermé vers -1200 ans, avant de se rouvrir vers -800 ans.

Mots clés : Paléoenvironnements, Characeae, Holocène récent, Travertin, Sédimentologie

Abstract : The travertine system of the Vallon des Hermitans presents optimal conditions for fossilization of living organisms. The modern hydrographic and floristic parameters allowed us to characterise environmental analogs for a palaeoenvironmental reconstruction from a sediment core. Encrusted colonies of relatively rare algae (*Chara vulgaris* subsp. *squamosa*) have been notably studied for morphometry with the aim to identify their fossil remains. For 1300 years, two change events have affected the hydrophilous riparian vegetation of the study zone: the habitat initially open became close around -1200 years before to reopen around -800 years.

Keywords: Palaeoenvironment, Characeae, Late Holocene, Travertine, Sedimentology

L'étude des phénomènes géologiques et biologiques passés est d'une importance majeure pour comprendre les écosystèmes actuels et appréhender leur évolution future. La connaissance des paléoenvironnements peut se révéler un pré-requis indispensable à la compréhension de problématiques environnementales relatives aux modifications climatiques globales. Les paléosciences sont également utilisées lors de la réhabilitation de milieux naturels qui nécessite la connaissance d'écosystèmes de référence spécifiques (Van

Leeuwen, 2008). La reconstitution des environnements passés requiert la combinaison de plusieurs disciplines scientifiques complémentaires. La paléoécologie s'appuie sur de nombreux autres domaines comme la paléontologie/paléobotanique, la palynologie, la sédimentologie, la taphonomie ou encore la géochimie.

La reconstitution des environnements passés se base sur la théorie de l'actualisme qui stipule que les processus passés sont identiques à ceux que l'on observe actuellement (Lyell, 1830-1833). En sédimen-

tologie, selon le principe de l'actualisme, les mêmes causes produisent les mêmes effets indépendamment du temps : dans un environnement donné, la taille des particules charriées par un cours d'eau sera la même quelle que soit l'époque, si le débit ne varie pas. Ainsi, la reconstitution des paléoenvironnements, dans le cas présent, s'effectue par comparaison entre les sédiments anciens et les niveaux actuels. Toutefois, cette reconstitution ne pourrait être applicable en toutes circonstances et sans restriction que dans un écosystème parfaitement stable dans le temps et dont tous les habitats soient actuellement représentés. Or la géologie historique révèle que l'atmosphère, la biosphère et la lithosphère sont fondamentalement changeantes (Rey, 1983). Pour l'étude présente, ce problème est limité par l'âge récent (moins 1500 ans) des sédiments les plus anciens (Ollivier, 2006).

L'analyse taphonomique permet de comprendre dans un premier temps les mécanismes de fossilisation des organismes pour ensuite interpréter les prélèvements anciens (Roiron et al., 2006). En effet, la conservation des organismes diffère selon les taxons : si les fructifications femelles calcifiées de Charophytes, les gyrogonites, sont préservées du temps sans grande difficulté, il en va tout autrement pour une feuille ou un insecte (Warner, 1988 ; Soulié-Märsche, 2002). Ainsi, une bonne compréhension des limites de l'interprétation des macrorestes dans la reconstitution des paléoenvironnements est indispensable afin de pondérer la représentativité du spectre faunistique et floristique sédimenté.

La fossilisation des organismes peut être favorisée par un contexte géochimique particulier, la travertinisation (Ollivier, 2006). La formation du travertin s'effectue selon trois étapes successives. Dans un premier temps, le carbonate de calcium (CaCO_3) de la roche mère est solubilisé en bicarbonate de calcium ($\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$) grâce à l'action de l'acide carbonique dissous dans les eaux de ruissellement. Cette étape est influencée par la densification du couvert végétal qui produit des acides humiques. Le $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ est

transporté en solution sur des distances plus ou moins grandes jusqu'à sa précipitation, induite par des modifications des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau (Campy, 1989). Ce phénomène géochimique favorise la conservation des organismes en les enveloppant d'une fine couche minérale (Martinez-Delclòs et al., 2004)

Cet article vise à reconstituer les conditions environnementales et hydrographiques passées d'un ruisseau localisé dans le Luberon (Vaucluse, France), grâce à la comparaison d'écosystèmes référents actuels préalablement établies, avec un carottage sédimentaire effectué sur le même site.

MATERIELS ET METHODES

1- Contexte géographique et écologique du site d'étude

Le vallon des Hermitans (05°34'07.1"E, 43°47'17.0"N, R.G.F. 1993) est situé au nord de la commune de Peypin d'Aigues dans le Luberon (Vaucluse, France). Le site a déjà fait l'objet de recherches paléoenvironnementales qui ont montré qu'il était soumis à une forte pression anthropique depuis la moitié de l'Holocène (Ollivier, 2006; Ollivier et al., 2006). En son centre coule le ruisseau des Hermitans, 15 mètres en dessous du niveau du village. Approvisionné par les eaux collectées par le bassin hydrologique et la source karstique des Hermitans, le ruisseau est alimenté toute l'année, avec une réduction probable de son débit en période estivale. Le site est caractérisé par un travertin construit daté de l'Holocène, participant à un processus de travertinisation actif (Ollivier, 2006).

Un climat méditerranéen règne sur le Luberon. Il se traduit par des précipitations annuelles moyennes de 600 mm, réparties en moyenne sur 70 jours par an. Les températures moyennes sont de 4°C pour le mois le plus froid, janvier, et de 22°C pour le plus chaud, juillet (Ollivier, 2006). Le Luberon est exposé au Mistral plus de 150 jours par an, créant une forte contrainte environnementale.

La végétation actuelle du vallon est variable selon la localisation. Le bas du vallon, correspondant au lit du ruisseau, est dominé par des espèces hydrophiles telles que *Scirpoides holochoenus*. La ripisylve est composée de saules et de peupliers (*Salix alba*, *S. purpurea*, *S. cinerea*, *Populus nigra*, *P. alba*). Sur les pentes environnantes, la végétation méditerranéenne est représentée par les chênes (*Quercus pubescens*, *Q. ilex*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Des populations encroûtées de *Chara vulgaris* subsp. *squamosa* recouvrent par endroit le lit du ruisseau par plages de 5 à 10 m². Parfois décrit appelé *Chara gymnophylla*, ce taxon circumméditerranéen est relativement rare (I. Soulié-Märche, comm. pers.).

Les Charophytes présentent une caractéristique unique parmi les algues : elles protègent leur embryon dans une structure appelée

oospore, qui en se couvrant de calcaire, devient une gyrogonite et permet à l'embryon de survivre à l'assèchement du milieu. Ces gyrogonites permettent l'identification des différents taxons dans le registre fossile (Soulié-Märche, 2002).

2- Caractéristiques des sites de référence actuels

Huit zones de prélèvements ont été définies à différents niveaux du ruisseau des Hermitans (Annexe 1). La numérotation des sites de prélèvement n'a aucune valeur indicative spatiale ou biotique. L'inventaire de la végétation du vallon a été réalisé (cf. Annexe, p. 15). Trois paramètres hydrographiques ont été notés pour chaque site, ainsi que la végétation locale dominante (Tab. 1).

Table 1. Caractéristiques des sites de référence actuels

Site	Courant	Largeur du lit mineur	Profondeur	Genres / Taxons dominants
1	Faible	> 6 m	0 à 20 cm	<i>Scirpoides</i>
2	Faible	> 3 m	0 à 20 cm	<i>Scirpoides</i> , Bryophytes
3	Modéré	> 6 m	40 à 60 cm	<i>Scirpoides</i> , <i>Quercus</i> , <i>Salix</i>
4	Très faible	> 10 m	0 à 5 cm	<i>Scirpoides</i> , <i>Rubus</i>
5	Absent	> 15 m	0 à 40 cm	<i>Quercus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Salix</i>
6	Très rapide	< 1 m	0 à 20 cm	<i>Quercus</i> , <i>Pinus</i>
7	Modéré	< 2 m	20 à 60 cm	<i>Scirpoides</i> , <i>Pinus</i> , <i>Rubus</i>
8	Rapide	< 1 m	10 à 30 cm	<i>Salix</i> , <i>Quercus</i>

Pour chaque site, plus de 500 g de sédiments humides ont été prélevés et conservés jusqu'à leur analyse. En laboratoire, chaque prélèvement a été filtré sur deux tamis (mailles de 1 mm et 250 µm), puis séché en étuve à 60°C. L'étude des macrorestes à la loupe binoculaire a permis d'inventorier les différents taxons présents et de les dénombrer de manière qualitative selon un code de présence/absence. L'identification des fruits et des graines a été réalisée par comparaison à la collection de macrorestes fossiles de l'ISEM, avec l'aide de S. Muller.

Les Charophytes sont des biomarqueurs pour les reconstitutions paléoenvironnementales (Soulié-Märche, 2002), ce qui justifie l'attention particulière portée ici à ce groupe. Les

Characeae prélevées sur le site ont été identifiées avec I. Soulié-Märche grâce à l'étude des cortications présentes sur les appareils végétatifs. Les échantillons sont tous fortement encroûtés à la base dans une masse de tuf calcaire, ou travertin. Seules les parties apicales sont vertes, témoignant d'une calcification active. La formation de la gaine de calcaire est due à une réaction de défense contre la dureté de l'eau. Lors de la photosynthèse, le dioxyde de carbone pénètre au travers de la paroi cellulaire, faisant précipiter le carbonate de calcium à l'extérieur de la cellule. Aucun individu récolté ne présente d'appareil reproducteur, mais tous ont des bourgeons latéraux qui permettent une reproduction végétative.

Outre l'identification spécifique à partir des cortications, l'identification des espèces de Characeae est possible grâce à l'étude de leurs fructifications, les gyrogonites. En effet, celles-ci sont par leur forme et leur taille caractéristiques de chaque espèce, dans des conditions environnementales définies. La mesure biométrique des gyrogonites à la loupe binoculaire permet de déterminer l'espèce qui les a produites par comparaison avec des populations de référence.

3- Caractéristiques paléoécologiques et sédimentaires du carottage

La carotte de sédiments provient d'une zone émergée du lit majeur actuel. Prélevée à l'aide d'un carottier russe (chambre de prélèvement de 5 x 56 cm), sa longueur totale est de 130 cm, pour une profondeur maximale de 150 cm. Les tronçons sédimentaires ont été conservés en chambre froide sous papier sulfurisé en attendant d'être analysés. Treize échantillons de 1 cm³ ont été prélevés tous les 10 cm. Ils ont été séchés en étuve à 60°C, pesés, puis soumis à un lavage-tamissage avec cinq ouvertures de mailles différentes (maille de 1 mm, 800 µm, 500 µm, 250 µm et 125 µm). Chaque résidu de filtration a été séché en étuve, puis pesé afin de déterminer la quantité de particules inférieures à 120 µm (limons et argiles). L'identification des restes biologiques dans les résidus a été effectuée sous loupe binoculaire. Le cadre chronologique utilisé a été construit à partir de datations radiocarbone (Ollivier, 2006).

4- Analyse statistique et représentation graphique

La comparaison des mesures des gyrogonites et les figures associées ont été réalisées à partir du logiciel de statistique R (R Statistical Computing version 2.12.2). Un test de Kruskal-Wallis a été appliqué et complété par un test de Wilcoxon ajusté (données non paramétriques). Le test de corrélation de Pearson a également été utilisé pour les données hydrographiques. Les diagrammes

taxonomiques ont été réalisés à partir du logiciel GpalWin (Goeury, 1997).

RESULTATS

1- Description des environnements référents actuels

Le test de corrélation appliqué sur la largeur du lit mineur du ruisseau en fonction de la vitesse du courant (échelle de 0 à 5) montre que le débit hydraulique est corrélé à 89 % à la largeur du lit. L'inventaire des macrorestes échantillonnés en surface a permis de relever 34 taxons. L'identification spécifique n'a pas été réalisable pour la majorité des organismes retrouvés, par manque de temps (macrorestes faunistiques) et à cause de la fragmentation des débris (macrorestes floristiques). Les données en présence/absence des taxons échantillonnés a permis d'établir un diagramme taxonomique en fonction de l'intensité du débit du ruisseau (Fig. 1). Ce diagramme met en relation les relevés de végétations des sites avec les macrorestes travertinisés. Les macrorestes végétaux sont particulièrement informatifs, contrairement aux macrorestes faunistiques qui n'ont pu être comparés avec des relevés de terrain.

Plusieurs informations taxonomiques essentielles se distinguent en fonction des paramètres caractérisant les sites (Fig. 1 ; Tab. 1):

Les sites 1 et 2, à courant faible et à large lit mineur, abritent des Characeae (parties végétatives et fructifications), dont l'étude détaillée est présentée au paragraphe suivant. Les fruits de *Scirpoides holoschoenus* sont des biomarqueurs de ces zones d'échantillonnage. La zone est ouverte et présente des conditions semi-marécageuses.

Le site 3, également à courant faible et à large lit, contient des macrorestes de saules (*Salix* spp.), ce qui concorde avec le relevé de végétation. La présence d'un cône mâle de Gymnosperme et d'aiguilles de pin est attribuée à un transport depuis la rive.



Figure 1. Diagramme taxonomique de la répartition des macrorestes et organismes actuels

Le site 4, à courant très faible et à large lit, est entièrement dominé par *Scirpoides holoschoenus*, dont aucun fruit n'a pourtant été retrouvé. La présence de racines et de rhizomes témoigne cependant de la présence locale de cette espèce au sein de cette zone semi-marécageuse ouverte.

Le site 5, correspondant à un bras mort, sert de référence pour l'étude du déplacement des macrorestes. Il est caractérisé par l'absence d'éléments issus d'organismes lotiques.

Le site 6, zone de rapides, est caractérisé par l'absence de macrorestes végétaux, à l'exception de Bryophytes qui sont des organismes rhéophiles. Le lit étroit du ruisseau est bordé par une ripisylve fermée dominée par le pin (*Pinus halepensis*) et par le chêne (*Quercus pubescens*).

Le site 7 est caractérisé par un courant modéré et par un lit rétréci. Les macrorestes sont sensiblement similaires à ceux des sites 1 et 2, avec pour différence majeure la présence de restes d'espèces arborescentes (*Pinus* sp.), qui traduisent un milieu plus fermé.

Enfin, le site 8, à courant rapide et à lit étroit, fournit un exemple de la capacité de charriage des macrorestes par la découverte d'une graine de vigne probablement issue des terrasses viticoles surplombant le vallon.

Les structures végétatives des Characées récoltées sur les sites 1, 2 et 7 sont toutes attribuées à la même espèce. La cortication de l'axe principal est aulacanthée et les rameaux sont disposés en verticille de phylloïdes non cortiqués. Répartis de manière éparse et solitaire, les acicules ponctiformes sont issus des cellules des filaments corticaux. Ces caractéristiques végétatives sont celles de *Chara vulgaris* subsp. *squamosa* (Bailly & Otto, 2010). Parallèlement, la mesure de 100 gyrogonites récoltées sur le site 7 a permis d'obtenir une moyenne fiable de trois paramètres pour la détermination des espèces de Characées. La longueur moyenne est de $628,2 \pm 31,5 \mu\text{m}$; la largeur moyenne est de $425,7 \pm 30,3 \mu\text{m}$; et le rapport longueur/largeur est $1,48 \pm 0,10$. La comparaison statistique de ces mesures biométriques avec celles de deux populations de référence de *Chara*

vulgaris répertoriées à l'ISEM, montre que les gyrogonites échantillonnées appartiennent bien à cette espèce ($P > 0,85$). Les mesures de ces gyrogonites actuelles constituent le modèle de référence pour la suite de l'étude.

2- Etude de la carotte sédimentaire

L'analyse des 13 échantillons prélevés sur la carotte sédimentaire délivre deux types d'informations paléoécologiques. L'un concerne la granulométrie, qui est le reflet de la sédimentation passée et donc du débit du cours d'eau. L'autre concerne l'identification des macrorestes contenus dans les sédiments, qui renseignent sur les caractéristiques écologiques du milieu passé.

Analyse granulométrique

La granulométrie des résidus sédimentaires tamisés permet de constituer une courbe de la granulométrie en fonction de la profondeur et du temps (Fig. 2). La masse des résidus est exprimée en pourcentage pour faciliter l'interprétation des résultats. La quantité d'argiles et de limons (particules inférieures à $125 \mu\text{m}$) est supérieure à 80 % dans l'ensemble des prélèvements, excepté pour trois profondeurs (150 cm, 140-80 cm et 64-63 cm) qui correspondent à trois phases d'accumulation de particules grossières :

- La première phase, située à 150 cm de profondeur, correspond à une hausse de la quantité des particules de $125 \mu\text{m}$, avec une accumulation supplémentaire de 5,6 % de particules de taille millimétrique.
- La deuxième phase, entre 140 et 80 cm, est marquée par une augmentation de la taille des particules déposées. Le maximum du pic, à 120 cm, correspond à une augmentation de 36,2 % des particules supérieures à 1 mm par rapport à l'échantillon prélevé à 80 cm. La quantité des particules de 800-500 μm augmente de 10 à 20 %.
- Le troisième pic granulométrique, situé à 63-64 cm de profondeur, est caractérisé par une hausse de la quantité de particules de $125 \mu\text{m}$ qui passe de 9,7 à 16,3 %.

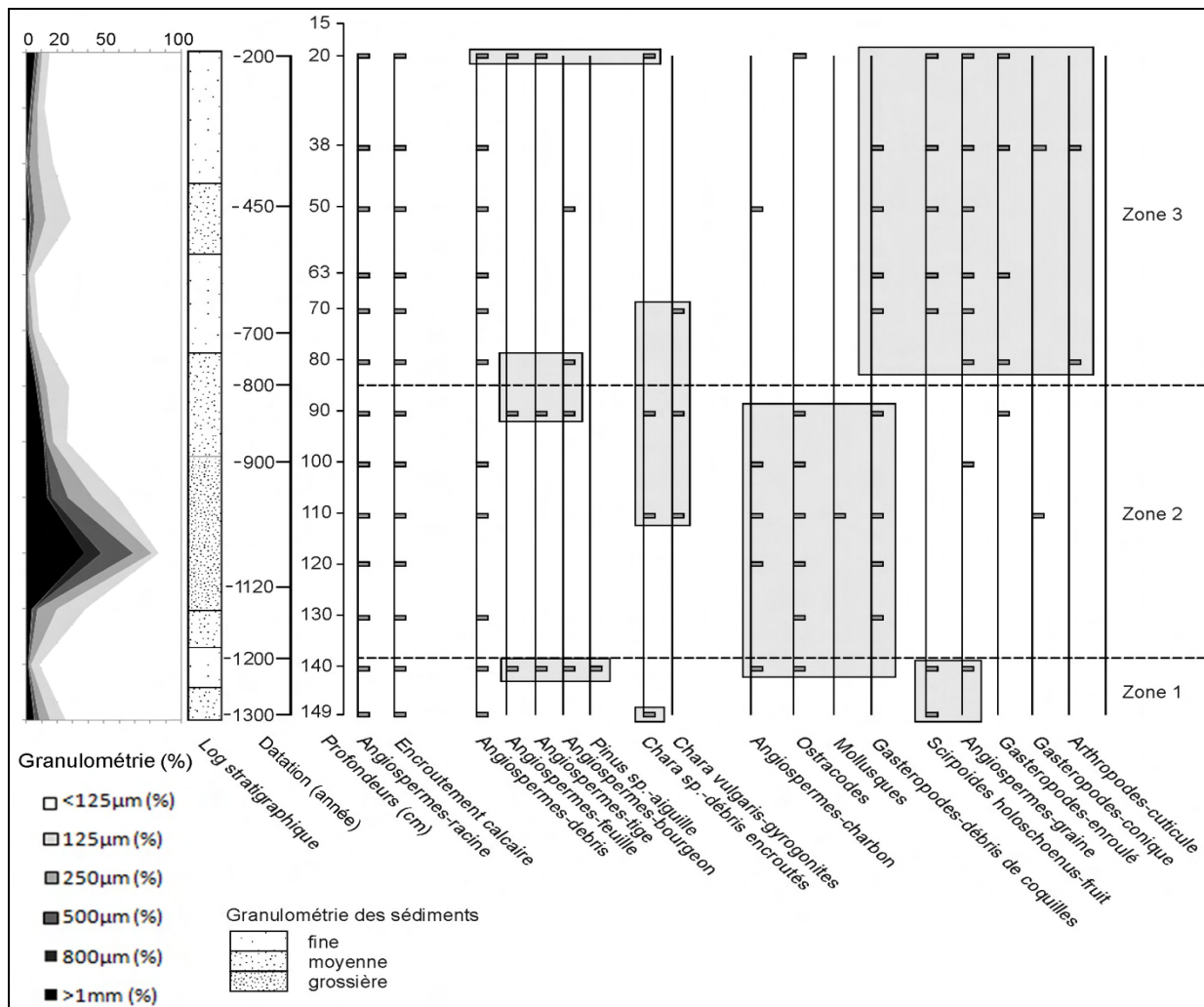


Figure 2. Diagramme taxonomique et granulométrique du carottage des Hermitans

Analyse des macrorestes

L'état de conservation des macrorestes dans les échantillons de la carotte est médiocre en comparaison de la conservation des organismes dans les sédiments de surface. Ce phénomène est particulièrement important pour les Gastéropodes où les coquilles sont très souvent brisées, et où peu d'individus intacts ont été retrouvés dans les niveaux antérieurs à -800 ans. L'encroûtement calcaire est systématiquement présent à toutes les profondeurs échantillonnées. La présence de racines d'angiospermes est également un caractère commun aux 13 échantillons (Fig. 2).

Des regroupements taxonomiques différents se distinguent en fonction de la profondeur :

- Dans les dépôts sédimentaires les plus profonds (150-140 cm), une remarquable concentration de macrorestes végétaux est

présente, avec l'accumulation de divers débris d'Angiospermes (dont des akènes de *Scirpoides holoschoenus*), de Gymnospermes et de Characeae.

- Les échantillons des profondeurs intermédiaires (140-80 cm) sont caractérisés par la présence d'ostracodes, de charbons et de gyrogonites, ainsi que par la rareté des macrorestes d'Angiospermes, uniquement observés à 90 cm (tiges, feuilles, bourgeons et fruits). L'analyse des gyrogonites est détaillée dans le paragraphe suivant.
- Dans les couches les moins profondes (80-20 cm), on retrouve des traces d'arthropodes (fragments de cuticules), ainsi que des coquilles de gastéropodes, aussi bien conservées qu'elles soient coniques ou spiralées. De nombreux fruits de *Scirpoides holoschoenus* sont présents. Un regroupement de plusieurs structures

d'Angiospermes et de Characeae travertinisées a également été relevé.

Des restes encroûtés de Characeae ont été trouvés dans quatre échantillons, à 150, 110 et 90 cm de profondeur, et en surface. Des gyrogonites sont présentes à trois profondeurs différentes : 70, 90 et 110 cm (Fig. 2). Le nombre de gyrogonites est variable selon les échantillons (respectivement 1, 12 et 5). De ce fait, l'identification spécifique n'est possible avec certitude que pour les deux dernières populations. La comparaison statistique des mesures biométriques des fructifications trouvées à 110 cm indique que la population fossile a les mêmes caractéristiques morphométriques que la population de référence ($P > 0,90$). Ces restes fossiles correspondent donc à l'espèce *Chara vulgaris* (Annexe 2). En revanche, les gyrogonites de l'échantillon situé à 90 cm présentent une différence biométrique significative par rapport à la population actuelle (Largeur: $P = 6,8.10^{-6}$; Longueur: $P = 0,0095$).

DISCUSSION

1- Reconstitutions paléoenvironnementales et hydrographiques du vallon des Hermitans

Les résultats de l'analyse des macrorestes et de la granulométrie du carottage sont représentatifs de trois zones. Celles-ci correspondent à des périodes dont il est possible d'interpréter les conditions environnementales :

(1) La phase la plus ancienne (zone 1), datée entre -1300 et -1200 ans, se traduit par une accumulation argilo-limoneuse et par la présence de fruits de *Scirpoides holoschoenus*. La granulométrie reflète l'intensité du débit du cours d'eau : la forte proportion de particules fines implique un courant faible. Les *Scirpoides* ont effectivement été systématiquement observés dans des zones à courant faible ou modéré. Nous pouvons toutefois noter que dans les échantillons de surface, les fruits de cette espèce n'ont pas été nécessairement retrouvés associés aux plantes.

La présence de débris végétatifs de Characeae est au contraire, un très bon paléo-indicateur puisque la travertinisation active permanente piège l'algue dans le tuf calcaire, l'empêchant d'être charriée par le courant. Par ailleurs, les Characeae ont toujours été retrouvées dans des sites actuels de courant faible à modéré. Il existe donc une forte probabilité pour que le ruisseau du vallon des Hermitans ait eu un débit réduit entre -1300 et -1200 ans. Le nombre élevé de macrorestes végétaux traduit une forte densité de végétation ligneuse locale et de bonnes conditions de sédimentation. D'après les résultats de la corrélation entre la vitesse du courant et la largeur du ruisseau, le faible courant passé de la zone 1 était très probablement associé à un large lit mineur, sensiblement similaire à celui du site 1 (Fig. 1).

(2) La période intermédiaire (zone 2), datée entre -1200 et -800 ans, est caractérisée par une forte augmentation de la taille des particules sédimentées, suggérant une augmentation du débit hydraulique. Ceci est confirmé par l'absence de macrorestes floristiques, comme nous avons pu l'observer au site 6 (Fig. 1). La présence de gyrogonites vers -900 ans pourrait s'expliquer par une travertinisation active favorisée par la forte oxygénation de l'eau courante. La zone 2 serait donc caractérisée par une végétation riveraine poussant aux bords d'un lit mineur étroit formant probablement une zone de rapides. Le site de carottage était peut-être environné par des pins et des chênes, comme l'est aujourd'hui le site 6. L'étude palynologique des sédiments permettrait peut-être de mettre en évidence la proximité de ces arbres grâce à l'augmentation de du pourcentage de leur pollen.

Les gyrogonites datées de -900 ans n'ont pas les mêmes mesures biométriques que les actuelles. Cette différence de taille de fructification peut s'expliquer non pas par la colonisation temporaire d'une nouvelle espèce, mais par la modification des conditions environnementales. En effet, des travaux antérieurs ont montré que les conditions abiotiques pouvaient influencer les paramètres biométriques chez les Characeae

(Antunes et al., 1992). Ceci suggère une réduction du débit hydraulique et du lit mineur. Il serait intéressant de mettre en relation la présence de charbons durant cette phase avec des données anthracologiques indépendantes pour étudier les relations entre l'occurrence des incendies et la modification des conditions hydrographiques.

(3) La période la plus récente (zone 3), datée de -800 à -200 ans, est caractérisée par une granulométrie fine à modérée, ce qui indique un ralentissement du débit hydraulique. La zone 3 est marquée par la présence de graines d'Angiospermes et de fruits de *Scirpoides holoschoenus*, comme c'est le cas pour la zone 1. D'après les similitudes des macrorestes et de la granulométrie entre les zones 1 et 3, le paléoenvironnement de la zone 1 pourrait être sensiblement identique à celui de la zone 3. De -800 à -200 ans, la réouverture du milieu suite à un élargissement du lit mineur du ruisseau engendra un environnement favorable à l'implantation (ou la réimplantation) d'espèces hydrophiles telles que *Scirpoides holoschoenus* et *Salix* spp. La confrontation des résultats issus d'analyses palynologiques serait souhaitable pour préciser les espèces végétales de cette zone semi-marécageuse.

2- Limites de l'interprétation des macrofossiles

Les différences observées entre les macrofossiles anciens (Fig. 2) et actuels (Fig. 1) sont particulièrement intéressantes pour étudier les limites de l'interprétation des macrorestes. En effet, le site 4, pourtant dominé par *Scirpoides holoschoenus*, n'a fourni aucun fruit de cette espèce. Parallèlement, au site 3, des macrorestes de Gymnospermes sont présents alors qu'aucun conifère n'est inventorié sur cette zone. Ainsi, les macrofossiles contenus dans les sédiments ne sont pas le reflet systématique de la végétation environnante. L'influence du charriage des particules par le cours d'eau ne doit pas être négligé. Ce constat confirme les limites de l'interprétation seule des macrorestes en reconstitution paléoenvironnementale et souligne l'importance de l'association

d'études paléoécologiques interdisciplinaires pour l'obtention de résultats fiables (Muller et al., 2008).

CONCLUSIONS

L'étude présentée permet de proposer une reconstitution des conditions environnementales et hydrographiques du vallon des Hermitans depuis 1300 ans. L'établissement d'une étude actuelle de référence s'est révélé primordial pour appréhender les conditions de travertinisation des organismes dans le ruisseau d'origine karstique, et cibler ainsi les groupes de macrorestes paléo-indicateurs. Deux environnements hydrographiques sont représentés au cours de trois périodes successives. De -1300 à -1200 ans, la zone était semi-marécageuse et dominée par une végétation hygrophile comprenant *Scirpoides holoschoenus*. Le milieu s'est refermé vers -1200 ans : il était alors caractérisé par un lit étroit et une végétation riveraine arborescente. La réouverture du milieu eut lieu autour de -800 ans, et permit le retour local des espèces hydrophiles.

Nos résultats pourraient enfin être comparés avec ceux d'études de palynologie, d'anthracologie et de malacologie afin de vérifier certaines hypothèses. Par ailleurs, l'étude du facteur anthropique pourrait être mise en relation avec les variations de végétation, dans ce secteur connu pour son occupation humaine depuis la seconde moitié de l'Holocène.

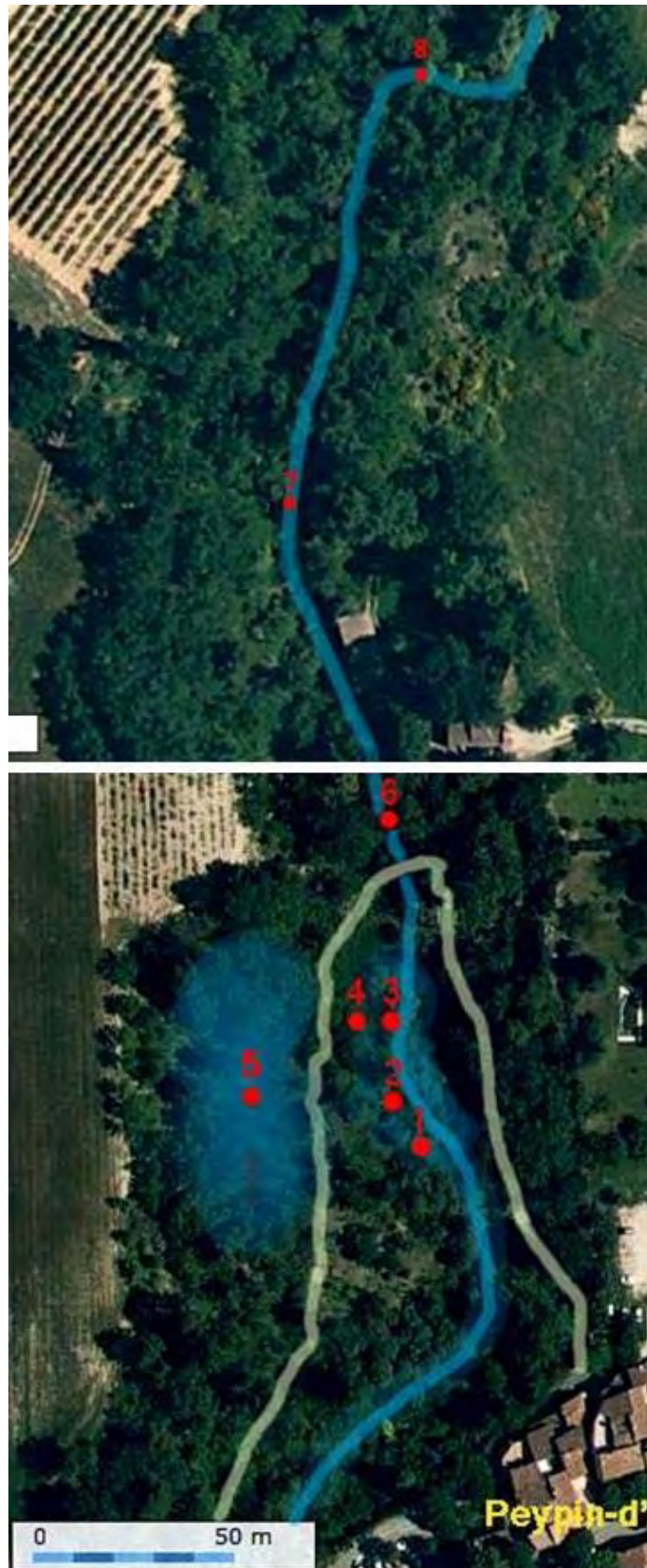
REFERENCES

- Antunes M.T., Soulie-Marsche I., Mein P. & Pais J. (1992). Le gisement de Asseiceira, Portugal (Miocène Supérieur). *Ciencias da Terra (UNL)*, 11 : 219-253
- Campy M. & Macaire J.J. (1989). *Géologie des formations superficielles*. Masson, Paris.
- Goeury C. (1997). GpalWin : gestion, traitement et représentation des données de la paléoécologie, *Actes du XVe symposium de l'APLF*, Lyon, pp. 31.
- Lyell C. (1830-33). *The principles of geology*, vol. 1. Murray, London.

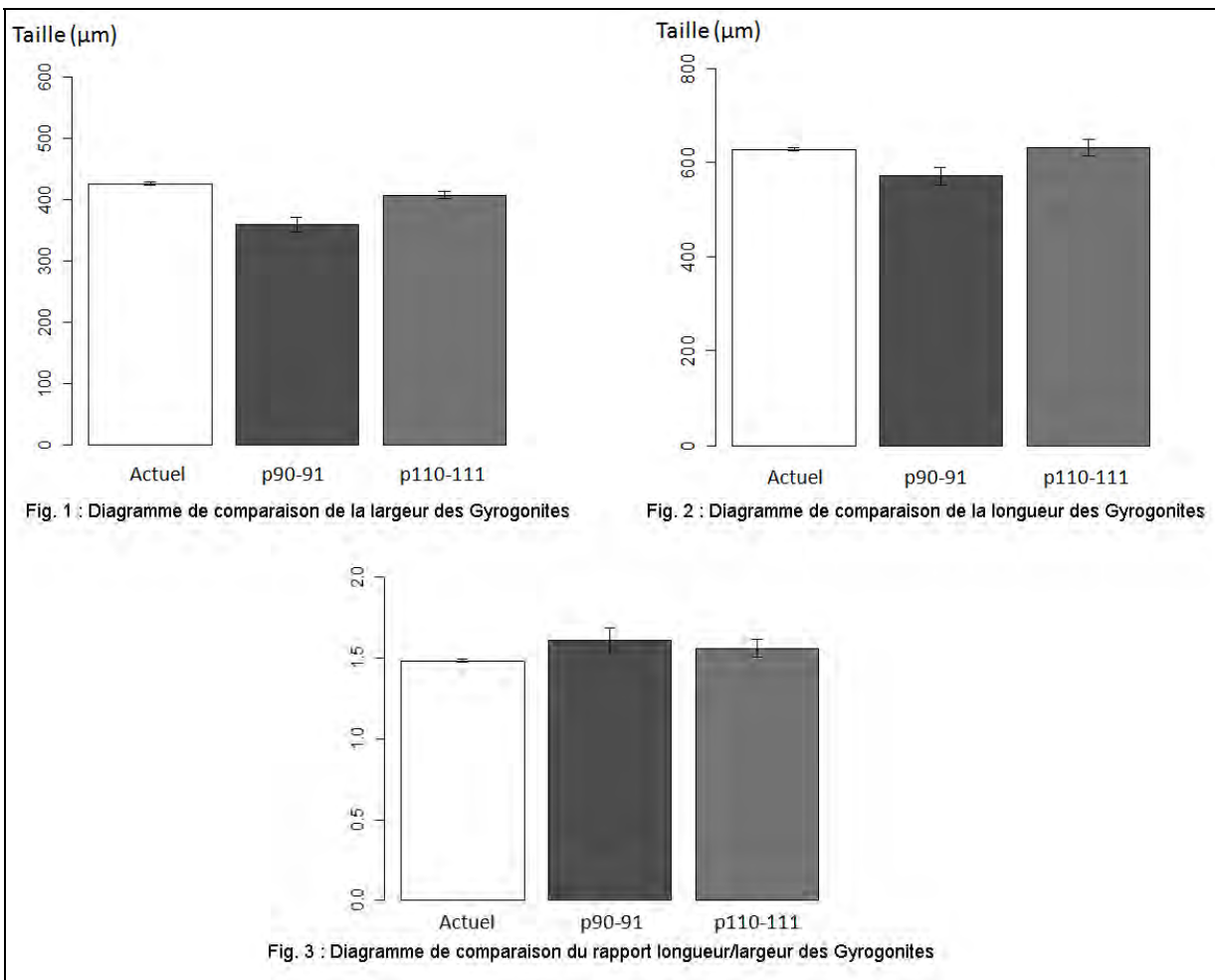
- Martínez-Delclòs X., Briggs D.E.G. & Peñalver E. (2004). Taphonomy of insects in carbonates and amber. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203 : 19-64.
- Muller S.D., Bruneton H., Soulié-Märsche I., Rey T., Thiéry A., Waterkeyn A., Brendonck L., Schevin P., Yaverkovski N. & Grillas P. (2008). Long-term dynamics of Mediterranean alkaline vernal pool (Rhône delta, Southern France). *Wetlands*, 28 : 951-966.
- Ollivier V. (2006). *Continuités, instabilités et ruptures morphogéniques en Provence depuis la dernière glaciation. Travertinisation, détritisme et incisions sur le piémont sud du Grand Luberon (Vaucluse, France). Relations avec les changements climatiques et l'anthropisation*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille 1, Aix-en-Provence.
- Ollivier V., Guendon J.-L., Ali A., Roiron P. & Ambert P. (2006). Evolution postglaciaire des environnements travertineux provençaux et alpins : nouveau cadre chronologique, faciès et dynamiques morphosédimentaires. *Quaternaire*, 17 : 51-67.
- Rey J. (1983). *Biostratigraphie et lithostratigraphie : principes fondamentaux, méthodes et applications*. Editions Technip, Paris.
- Roiron P., Ali A.A., Guendon J.-L., Miguères M.-E., Muller S.D. & Ollivier V. (2006). La flore fossile du système travertineux du Serre de Montdenier (Alpes de Haute-Provence, France): un nouveau jalon dans l'histoire de la végétation holocène des Alpes du Sud. *Quaternaire*, 17 : 69-77.
- Soulié-Märsche I. (2002). *Les charophytes comme biomarqueurs pour la reconstitution des paléoenvironnements lacustres*. In : J.-C. Mikovsky (ed.), *Géologie de la Préhistoire*, pp. 751-769. Editions Géopré, Paris.
- Van Leeuwen J., Froyd C., Van der Knaap W.O., Coffey E., Tye A. & Willis K. (2008). Fossil Pollen as a Guide to Conservation in the Galápagos. *Science*, 322 : 1206.
- Warner B.G. (1988). Plant Macrofossils. In: B.G. Warner (ed.), *Methods in Quaternary Ecology*, pp. 53-63. Geoscience Canada reprint series 5, Ontario.

ANNEXES

Annexe 1 : Localisation des sites d'échantillonnage dans le vallon des Hermitans (source : Google Earth, 2011).



*Annexe 2 : Comparaison des mesures biométriques des gyrogonites actuelles et fossiles
(p= profondeur de l'échantillon dans la carotte sédimentaire)*



IMPACT DES FEUX SUR LA DYNAMIQUE DE LA VEGETATION DANS LE GRAND LUBERON

Priscillia Boucher¹, Arielle Canard², Eugénie Salanova³

Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie

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

¹ priscillia.boucher@etud.univ-montp2.fr, ² arielle.canard@etud.univ-montp2.fr,

³ eugenie.salanova@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Adam Ali

Résumé : Cette étude porte sur l'impact des feux sur la végétation du Lubéron. Elle est basée sur l'analyse de charbons de bois sédimentaires prélevés dans une rivière du flanc sud du massif. L'analyse de la carotte sédimentaire a révélé 25 feux locaux sur une période de 1600 ans. La fréquence des feux, qui est élevée et sensiblement la même sur cette période, suggère que la dynamique de succession de végétation après un événement de feu a dû rester identique. Ceci est confirmé par des analyses palynologiques effectuées sur la même séquence.

Mots clés : Charbon, *Pinus* sp., *Quercus* sp., fréquence de feu, France méditerranéenne

Abstract : The aim of the study is to decipher the incidence of fire on vegetation dynamics of the Luberon massif. We used charcoal particles preserved in river sediments located in the massif's southern slope. Charcoal analysis revealed 25 local fires over 1600 years. The fire frequency, which is high and substantially unchanged during this period, suggests that the dynamics of vegetation succession after a fire event had to stay the same. This is confirmed by palynological analyses performed on the same sequence.

Keywords: Charcoal, *Pinus* sp., *Quercus* sp., Fire frequency, Mediterranean France

Il existe deux sortes de successions écologiques : la succession primaire se déroule sur un terrain totalement vierge, tandis que la succession secondaire fait suite à une perturbation. La succession secondaire est caractérisée par une dynamique de recolonisation à partir d'éléments préexistants (banque de graine, organes souterrains de réserve...). Le feu est considéré comme une perturbation écologique structurant la végétation méditerranéenne (Trabaut, 1992). Dans une perspective de gestion durable des forêts méditerranéennes et au regard des changements climatiques susceptibles de modifier le régime des feux durant les prochaines décennies (IPCC, 2001), il est important de caractériser sur une échelle pluriséculaire les interactions entre feu et

végétation. Les études paléoécologiques fondées sur l'analyse des charbons de bois et des grains de pollen préservés dans des sédiments permettent de discuter ces interactions.

L'étude présentée ici concerne le massif du Lubéron, situé en région méditerranéenne où la fréquence de feu est élevée (Vannière et al., 2008). Elle a pour but de reconstruire la fréquence des feux au cours des derniers 1600 ans et de discuter la réponse de la végétation.

MATERIELS ET METHODES

1- Site d'étude

Le site d'étude se situe dans la ripisylve du village de Peypin d'Aigues (Vaucluse, France) traversée par le ruisseau des Hermitans

(43°47'17,7"N ; 05°34'06,6"E ; 398 m alt.). Celui-ci prend sa source sur le flanc sud du Lubéron à environ 1 km au dessus du village. Le site présente une pente quasi nulle, permettant l'accumulation de sédiments argilo-crayeux. Lors du carottage, en hiver, le courant était très faible. Son lit actuel est de l'ordre de 6 m de largeur et de 0 à 20 cm de profondeur d'eau.

La végétation locale comprend des espèces typiques des ripisylves méditerranéennes, appartenant notamment aux familles des Salicaceae (*Populus alba*, *P. nigra*, *Salix alba*, *S. cinerea* et *S. purpurea*) et des Cornaceae (*Cornus sanguinea*). Elle est toutefois également mêlée d'espèces des milieux mésophiles environnants appartenant entre autres aux familles des Pinaceae (*Pinus halepensis*, *P. sylvestris*) et des Fagaceae (*Quercus ilex*, *Q. pubescens*).

2- Prélèvement des sédiments

Un forage a été réalisé dans le bras mort du cours d'eau, à l'aide d'un carottier russe de 50 cm de long pour 5 cm de diamètre. Deux mètres de sédiments ont été extraits.

3- Datation

Les dates sont issues de la thèse de V. Ollivier (Ollivier, 2006), réalisée sur le site d'étude. Les dates ^{14}C ont été calibrées avec le logiciel Calib 6.0. Le programme MCAgeDepth 0.1 (Higuera et al., 2009) a permis d'établir un modèle âge-profondeur. Les âges sont exprimés en années étalonnées (cal. BP).

4- Analyse des charbons

Les carottes ont été découpées tous les centimètres et l'analyse des macrocharbons de bois ($> 160 \mu\text{m}$) a été réalisée sur des prélèvements de sédiments de 1 cm^3 de volume. La défloculation et la destruction de la matière organique ont été réalisées avec de la javel (NaClO) et de la soude (NaOH). Les sédiments ont ensuite été tamisés à travers une maille de $160 \mu\text{m}$, et placés dans un bain d'acide chlorhydrique (HCl) pour supprimer les carbonates. Les charbons ont ensuite été quantifiés à l'aide du logiciel Winseedle

permettant de caractériser la surface des particules (mm^2).

L'analyse des résultats de la quantification des charbons de bois a été réalisée à l'aide du programme CharAnalysis 0.9 (Higuera et al., 2010) sur des données d'influx de charbons ($\text{mm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$).

5- Paramètres de CharAnalysis

Afin de déterminer les événements de feux, le bruit de fond doit être soustrait de l'influx total. Le bruit de fond est caractérisé en utilisant une fonction Lowess (Locally Weighted Scatterplot Smoothing). Par la suite, les résidus (influx total - bruit de fond) sont modélisés par une double loi gaussienne, avec comme hypothèse qu'ils sont issus de deux populations : une à haute fréquence (qui correspond aux véritables événements de feu) et une à basse fréquence (deuxième type de bruit de fond). Pour pouvoir séparer ces deux populations, une valeur seuil correspondant au 99 percentile de la population à basse fréquence a été choisie.

RESULTATS

La Figure 1a représente le modèle âge-profondeur. Ce modèle permet d'attribuer à chaque niveau étudié un âge interpolé. La relation âge-profondeur est presque linéaire et couvre une période allant de 1649 à -61 ans cal. BP, sur 250 cm de profondeur. La Figure 1b représente l'influx de charbons en fonction du temps. Les croix au dessus des pics indiquent les événements de feux probables qui répondent aux critères de différenciation du bruit de fond d'après le modèle de distribution. La courbe en rouge représente la modélisation du bruit de fond par une fonction Lowess. Au total, 25 feux locaux ont été identifiés au cours des 1600 ans de la séquence étudiée.

La Figure 2a représente l'analyse en boîte à moustache de la fréquence des feux, qui s'étale de 13,5 à 16,8 feux en 1000 ans. Elle montre qu'il y a une fréquence moyenne de 15 feux en 1000 ans, c'est-à-dire un feu tous les 66 ans en moyenne. La moyenne est significative, car les fréquences sont centrées

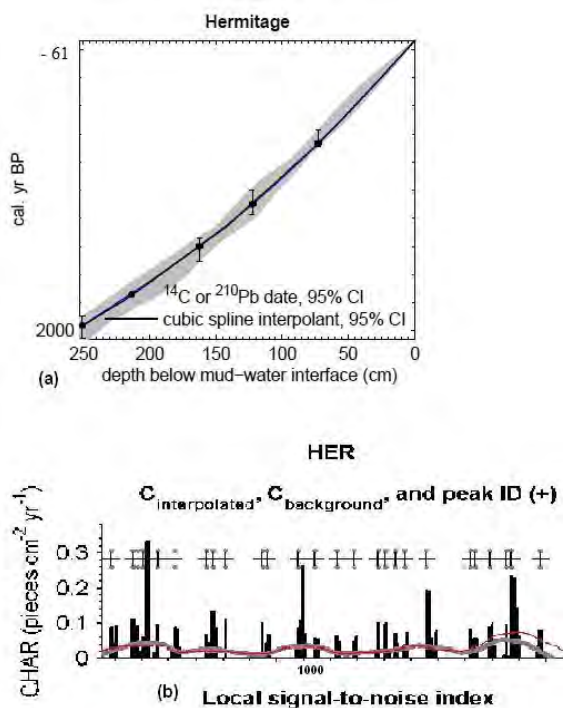


Figure 1 : Modèle âge-profondeur (a) et influx de charbons en fonction du temps (b).

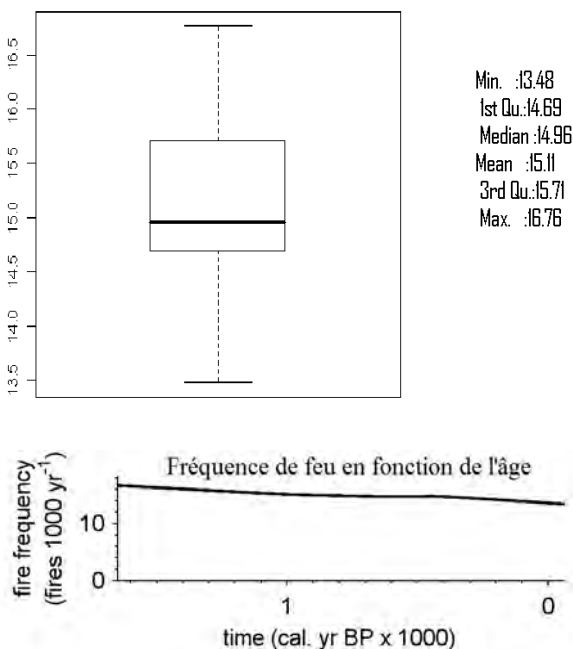


Figure 2 : Diagramme de Tuckey de la fréquence des feux (a, en haut) et fréquence des feux reconstruite pour le massif du Lubéron (b, en bas)

sur celle-ci, c'est-à-dire que les valeurs extrêmes sont très peu éloignées de la moyenne. La Figure 2b montre la courbe de fréquence des feux en fonction du temps. On voit que sur 1000 ans, la fréquence des feux diminue d'environ 10 %. Cette diminution de la fréquence des feux est un peu trop faible pour être *a priori* vraiment significative.

La Figure 3 représente le rapport entre le pollen de pin et celui de chêne [pollen de pin / (pollen de pin + pollen de chêne)] (Garnier et al., 2011). De 918 ans à -61 ans cal. BP, la courbe diminue, ce qui indique que l'apport pollinique des pins a diminué par rapport à celui des chênes.

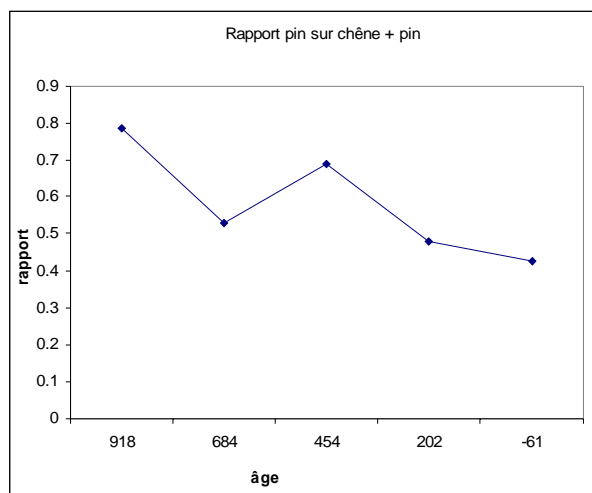


Figure 3 : Rapport entre pollen de pin et pollen de chêne de 918 à -61 cal. BP, dans la carotte sédimentaire du vallon des Hermitans (d'après Garnier et al., 2011).

DISCUSSION

1- Influence de la fréquence des feux sur la végétation

Au cours des 1600 dernières années, la fréquence des feux reconstruite dans le Lubéron est plutôt stable, avec une légère tendance à diminuer. L'intervalle de retour de feux est bien supérieure à celle établie par Vannière et al. (2008) qui montrent que la fréquence de feu est importante, avec un feu tous les 150 ans en milieu méditerranéen

depuis l'Age du Bronze. D'après [Capitanio & Carcaillet \(2008\)](#), la succession écologique secondaire (qui fait suite à une perturbation) de la végétation est sensiblement la même après chaque feu en milieu méditerranéen (Annexe 1). Elle tend donc à reproduire le même écosystème qu'avant le feu. On observe tout d'abord une augmentation des herbacées et de plantes pionnières, favorisées par l'ouverture du milieu. Cette communauté atteint sa biomasse maximale au bout de la deuxième année après le feu, avant de décliner et de laisser la place à un couvert arbustif pouvant comprendre le ciste blanc (*Cistus albidus*) et le buplèvre ligneux (*Bupleurum fruticosum*). Ceux-ci atteignent leur plus forte biomasse vers 25-30 ans après le feu, puis déclinent au profit des pins (*Pinus* spp.). Les chênes (*Quercus* spp.) colonisent enfin le milieu environ 60 ans après le feu, alors que l'abondance de pins diminue pour s'effondrer au bout de 120 ans. L'étude présentée ici peut permettre d'évaluer l'effet de la fréquence des feux sur la succession si des reconstitutions précises de végétation peuvent être établies pour le site d'étude. Des analyses de macrorestes végétaux couplées à une analyse palynologique à haute fréquence pourraient permettre d'obtenir une telle reconstitution.

Les résultats palynologiques obtenus par [Garnier et al. \(2011\)](#) révèlent une végétation passée peu diversifiée, essentiellement composée de *Salix*, de *Pinus*, de *Quercus*, de Poaceae et de Cyperaceae. Sachant qu'après un feu, les espèces ayant un fort taux de croissance se développent en premier pour laisser ensuite la place à des plantes avec un taux de croissance plus faible ([Capitanio & Carcaillet, 2008](#)), il nous a semblé judicieux de choisir comme indicateurs *Pinus*, qui a une croissance rapide et qui est favorisé pas les feux, et *Quercus*, caractérisé au contraire par une croissance lente. Le ratio pin/chêne, qui a changé depuis 1600 ans, suggère que les chênes ont progressé vis-à-vis des pins, sans que l'on puisse toutefois en déduire leurs proportions réelles dans la végétation. Il est donc difficile de savoir s'il y a réellement eu un changement profond de la composition floristique du bassin versant. Bien que la

diminution de la courbe de fréquence ne soit que de 10 %, nous pouvons interpréter cette tendance. L'étude de [Vannière et al. \(2008\)](#) montre également une diminution de la fréquence des feux et une expansion de la population de chêne au cours des 1600 dernières années.. Les chênes semblent ainsi être adaptés à des fréquences de feu moins élevées que les pins, ce qui expliquerait pourquoi leurs populations augmentent lorsque la fréquence des feux diminue. La population de pin diminue au contraire proportionnellement à la fréquence de feux, ce qui confirme son adaptation à de haute fréquence de feux. Les cônes de certains pins sont en effet stimulés par la chaleur, de sorte que les graines sont libérées pour créer un lit de graines sur le sol brûlé. De plus, étant héliophiles, les pins se développent plus facilement en milieu ouvert, contrairement aux chênes qui se développent préférentiellement en sous-bois. Enfin, les pins sont peu longévifs en région méditerranéenne et meurent assez rapidement (environ 120 ans) après le feu, laissant alors les chênes coloniser l'espace laissé libre.

Il serait intéressant d'étudier une séquence sédimentaire plus longue pour vérifier s'il y a eu par le passé des changements de fréquence des feux réellement significatifs et pouvoir confirmer ainsi la relation que nous observons.

2- Limites de l'étude

Les résultats obtenus, établis sur la fréquence de charbons sédimentaires d'une carotte prélevée en rivière, doivent être interprétés avec prudence. En effet, l'étude porte ici sur un système en flux constant, à la différence d'un lac qui réceptionne tous les charbons. Or, le logiciel CharAnalysis a été développé pour des données obtenues sur des sédiments lacustres. Le fait de travailler dans une rivière explique le petit nombre de charbons retrouvés (au maximum trois particules). Les charbons récupérés ayant sensiblement la même taille, la surface qu'ils occupent n'a pas été utilisée. Ce paramètre est important dans le cas où les charbons ont des tailles

différentes, et où les quantités varient selon la profondeur.

De plus, la fréquence de feu, deux fois plus élevée que celle établies par Vannièrè et al. (2008) dans le même domaine méditerranéen, pourrait être surestimée. Des études sur un lieu plus propice aux prélèvements de charbons permettraient de vérifier ou d'infirmier nos résultats.

CONCLUSION

La végétation qui recolonise un milieu après un incendie semble contrôlée par la fréquence des feux. Au cours des 1600 dernières années, il semblerait y avoir une faible diminution de la fréquence des feux dans le Lubéron. Cette dernière (un feu tous les 66 ans en moyenne) reste cependant très élevée. Pour continuer l'étude, il serait intéressant de vérifier si, sur le long terme, la tendance à la réduction de la fréquence des feux se confirme, et d'en évaluer les conséquences.

Notre travail a montré qu'il était possible de trouver des charbons et des grains de pollen dans une rivière, ce qui n'était pas forcément évident au départ. Les rivières semblent donc pouvoir être utilisées comme archive en l'absence de lac. Il serait toutefois nécessaire de développer un protocole adapté à l'analyse des charbons de bois prélevés en rivière.

RÉFÉRENCES

Capitania R. & Carcaillet C. (2008). Post-fire Mediterranean vegetation dynamics and diversity: A discussion of succession models. *Forest Ecology and Management*, 255 : 431-439.

Garnier A., Gueydan E. & Swartz J. (2011). Etude palynologique d'un ruisseau travertineux (Peypin d'Aigues, Luberon). *Orpal synthesis*, 4 : 45-54.

Higuera P.E., Brubaker L.B., Anderson P.M., Hu F.S. & Brown T.A. (2009). Vegetation mediated the impacts of postglacial climatic change on fire regimes in the south-central Brooks Range, Alaska. *Ecological Monographs*, 79 : 201-219.

Higuera P.E., Gavin D.G., Bartlein P.J. & Hallett D.J. (2010). Peak detection in sediment-charcoal records: impacts of alternative data analysis methods on fire-history interpretations. *International Journal of Wildland Fire*, 19 : 996-1014.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York.

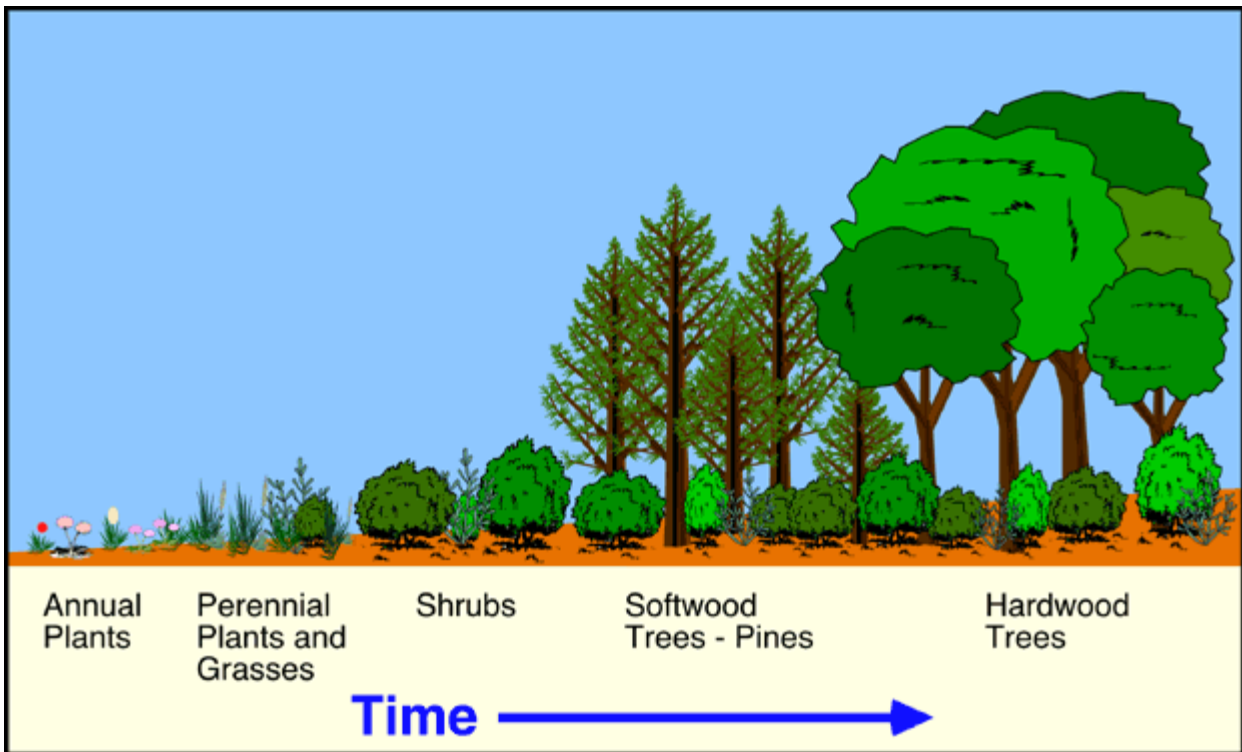
Ollivier V. (2006). *Continuités, instabilités et ruptures morphologiques en Provence depuis la dernière glaciation*. Thèse de Doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence.

Trabaud L. (1992). Influence du régime des feux sur les modifications à court terme et la stabilité à long terme de la flore d'une garrigue de *Quercus coccifera*. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 47 : 209-230.

Vannièrè B., Colombaroli D., Chapron E., Leroux A., Tinner W. & Magny M. (2008). Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Sciences*, 27 : 1181-1196.

ANNEXE

Annexe 1: Modèle de succession écologique secondaire de la végétation



ÉTUDE DENDROCHRONOLOGIQUE DE L'ACCROISSEMENT RADIAL POST-INCENDIE DU PIN D'ALEP (*PINUS HALEPENSIS* MILL.) EN REGION MEDITERRANEENNE (LUBERON)

Nabila Harfi ¹, Martin Mozet ², Judith Nicolas ³

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

¹ nabila.harfi@etud.univ-montp2.fr, ² martin.mozet@etud.univ-montp2.fr,

³ judith.nicolas@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Jean-Frédéric Terral, Benoît Brossier et Thomas Fournier

Résumé : Les conditions climatiques estivales chaudes et sèches en région méditerranéenne favorisent les incendies forestiers. Malgré l'intensité du feu, certains pins d'Alep survivent à son passage. Par méthode dendrochronologique, une signature sur les arbres du passage du feu est recherchée. Des comparaisons d'accroissement radial ont été effectuées, entre des arbres témoins non brûlés et des arbres brûlés en août 2000, dans la commune de Peypin d'Aigues dans le Vaucluse. Une diminution de croissance radiale des arbres brûlés est observée durant plusieurs années après le passage du feu.

Mots clés : bois, croissance radiale, feu, perturbation

Abstract : Warm and dry summer weather conditions in the Mediterranean region favours forest fires. Despite fire intensity, some Aleppo pines survive the fire break-through. By dendrochronological method, a fire break-through signature is researched. Comparisons of radial increase have been done with control non-burned trees and burned trees in August 2000, in Peypin d'Aigues town in Vaucluse. A radial lowering of the burned trees has been observed for several years after the fire break-through.

Keywords: Wood, radial growth, fire, disturbance

Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Ce climat favorise les feux de forêt récurrents. De plus, les activités anthropiques à plus ou moins long terme ont une grande part de responsabilité dans le déclenchement des incendies. Par exemple, l'exode rural ainsi que la reforestation en conifères rendent le pourtour méditerranéen propice aux feux (Barbero et al., 1988). Le passage d'une tempête peut aussi accroître le risque d'incendie en augmentant les quantités de bois mort inflammable à terre (Paulo et al.,

2008). Les feux de forêt entraînent généralement la destruction de la végétation. Après un incendie ayant affecté un couvert forestier, un processus naturel de recolonisation initie une succession écologique (Naveh, 1975 ; Trabaud, 1980) et l'augmentation de la stratification végétale (Lafleur, 2004). Une strate herbacée se met d'abord en place, suivie par une strate arbustive qui se rétablit en quelques années ; le rétablissement de la strate arborescente se fait plus lentement (Trabaud, 1983).

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est une des espèces arborescentes les plus abondantes

de Méditerranée occidentale (Parde, 1957 ; Quézel, 2000). Elle représente aujourd'hui plus de 190 000 ha contre 36 000 ha en 1878 (Acherar, 1981). Le pin d'Alep est une espèce héliophile dominante des formations méditerranéennes post-incendie (Trabaud, 1983). Ses caractéristiques morphologiques et physiologiques, ainsi que la faible pluviométrie de la région méditerranéenne, le rendent plus ou moins inflammable (Delabraze, 1985). Pourtant, certains individus présentent une certaine résistance aux feux et sont capables de cicatriser après son passage (Eugenio et al., 2006). Une des particularités du pin d'Alep est sa capacité de régénération : lors du passage d'un feu, la résine présente sur ses cônes fond, ce qui permet la dissémination des graines (Hanes, 1971). De plus, le pin d'Alep produit une grande quantité de semences chaque année, augmentant ainsi le potentiel de recolonisation post-feu (Daskalou & Thanos, 1996).

La dendrochronologie est une méthode scientifique qui consiste à étudier les cernes annuels de croissance des arbres, et à dater des pièces de bois à l'année près, en comptant et en analysant la morphologie des cernes. Elle permet également de reconstituer les changements climatiques et environnementaux : on parle alors de dendroclimatologie (Esper et al., 2006).

L'objectif de cette étude est d'observer au moyen de la dendrochronologie si les pins d'Alep affectés par le feu lors d'un incendie enregistrent une signature sur leur croissance radiale. Ce travail s'inscrit dans la thèse réalisée par T. Fournier, doctorant au CBAE, portée sur l'impact des feux de forêt sur le pin d'Alep et intitulée « Structure des communautés et biodiversité post-incendies ».

MATERIELS ET METHODES

1- Site d'étude

Le site d'étude (Latitude : 43°47'16''N ; Longitude : 05°34'11''E) est localisé sur le massif du Luberon, qui s'étend d'est en ouest

entre les Alpes-de-Haute-Provence et le Vaucluse. La nature calcaire du substratum géologique et le climat méditerranéen de ce Parc Naturel Régional expliquent sa grande diversité végétale et animale.

Un incendie a eu lieu sur le site en août 2000. Les prélèvements ont été effectués sur une parcelle de garrigue brûlée, située sur une colline de la commune de Peypin d'Aigues (Figure 1).

2- Travail de terrain

30 pins d'Alep (15 brûlés et 15 non brûlés) ont été échantillonnés. Les arbres brûlés ont été échantillonnés de manière aléatoire sur des parcelles éloignées de toute activité anthropique, tandis que les arbres témoins ont été choisis sur une parcelle proche d'un chemin et soumise à un débroussaillage fréquent. Afin d'avoir la meilleure chronologie de référence possible, les arbres témoins les plus âgés (les plus hauts) ont été sélectionnés. Seuls les arbres à port dressé ont été échantillonnés, car les individus courbés produisent du bois de réaction susceptible de fausser les modèles de croissance (Schwein-gruber, 1983, 1990).

Les arbres brûlés sont caractérisés par la présence de charbon (bois brûlé) sur leur tronc et par une cicatrice importante présente à l'opposé de la provenance du feu (Figure 2β). Le feu crée un vortex de chaleur et cause une cicatrice due à la destruction du cambium à l'opposé de l'arrivée des flammes. L'individu brûlé tente de refermer cette cicatrice par la formation d'un bourrelet cicatriciel produit par le cambium non affecté. La production de biomasse se concentre alors au niveau du bourrelet cicatriciel, favorisant la présence de cernes incomplets à l'opposé de la cicatrice. (Figure 2β, γ). La localisation des cicatrices de feu sur les faces sud des troncs indiquent que les vents dominants soufflaient du nord lors de l'incendie de d'août 2000.

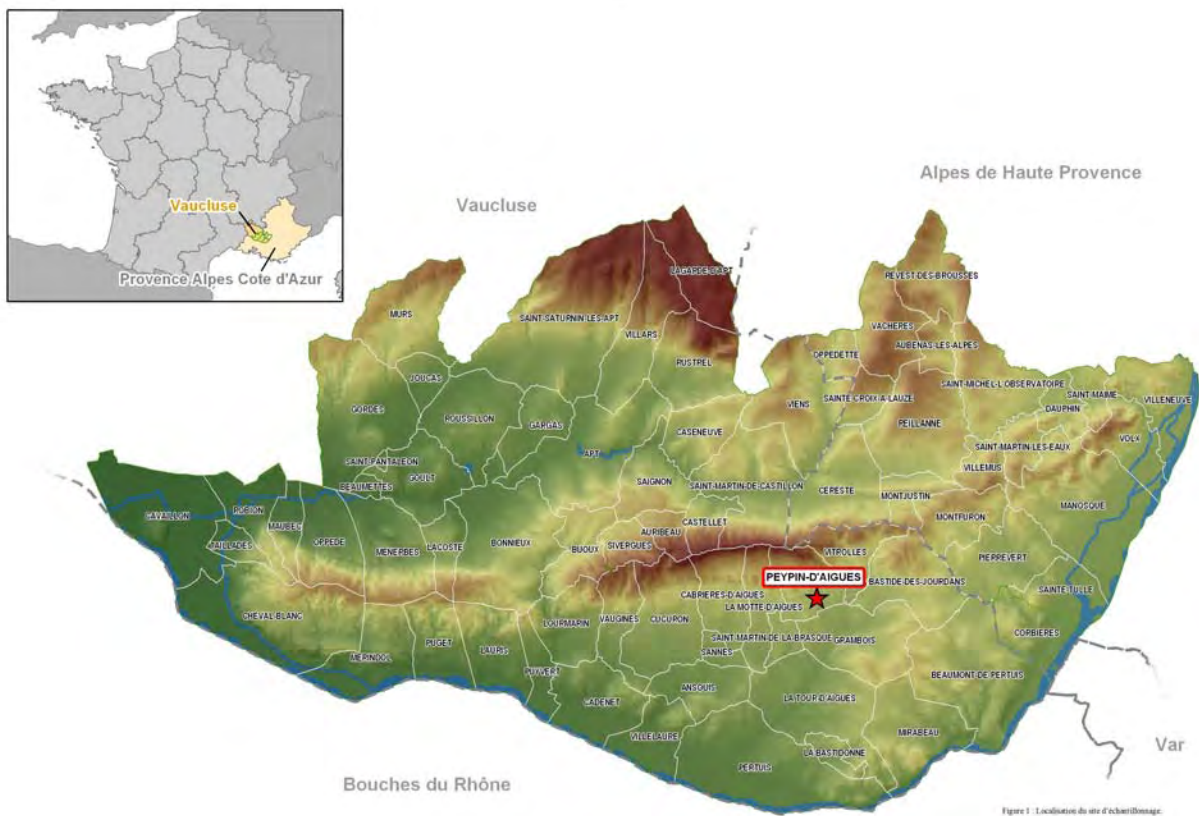
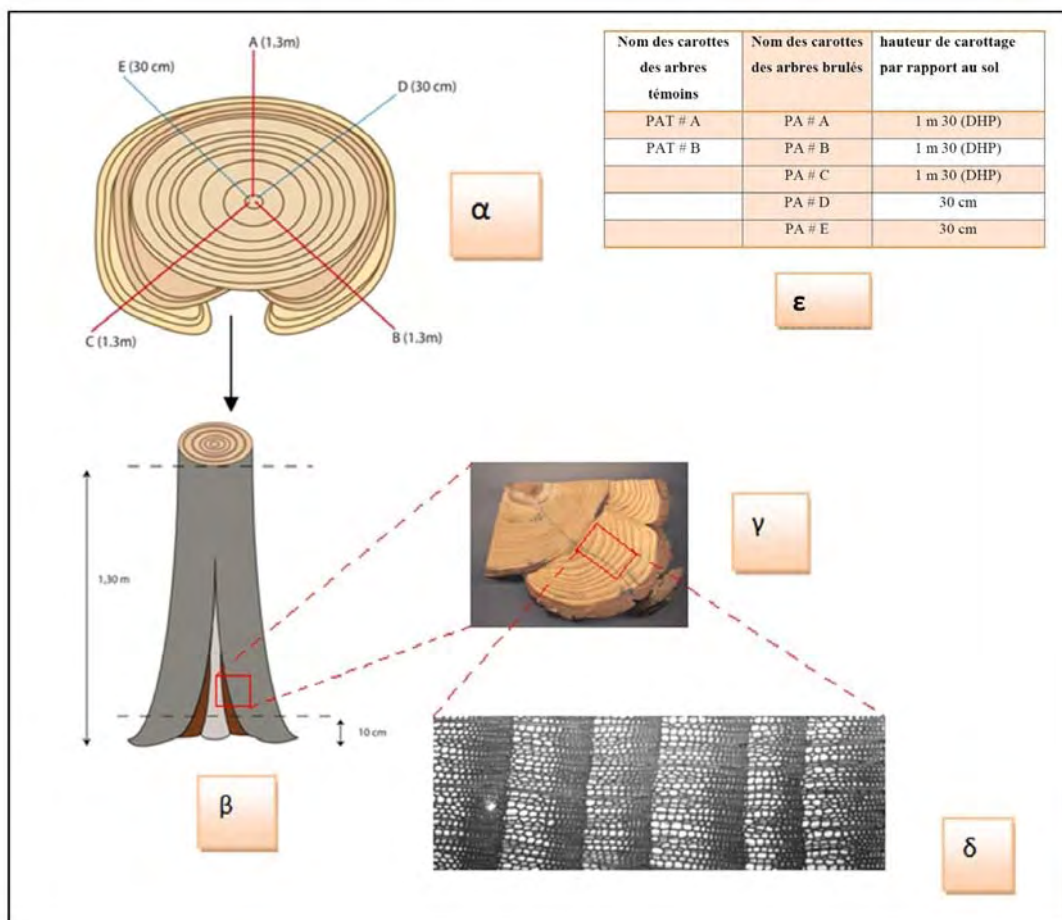


Figure 1 : Localisation du site d'étude



Plusieurs carottes ont été prélevées sur chaque arbre au moyen d'une tarière de Pressler (Gérémià & Nassau, 2006) :

- Sur les arbres brûlés, les carottes notées A ont été prélevées à l'opposé des cicatrices, sur la face nord des troncs. Quatre autres carottes (B, C, D, E) ont également été prélevées sur chaque arbre, à des hauteurs et des orientations différentes (Figure 2α, ε).
- Sur les arbres témoins, deux carottes A et B ont été prélevées en position nord et sud à environ 1,30 m de hauteur (Figure 2ε).

Afin d'obtenir l'âge le plus précis des arbres par comptage des cernes de croissance, nous avons essayé de carotter le plus possible vers le centre de l'arbre et de conserver l'écorce. Une fois l'échantillonnage effectué, plusieurs mesures ont été réalisées : hauteur des arbres, hauteur des premières branches vertes, hauteur du bois brûlé, et diamètre du tronc à hauteur de poitrine (DHP), ce qui correspond à environ 1,30 m.

3- Travail de laboratoire

Les carottes obtenues ont été séchées en étuve à 30°C pendant 3 jours, puis collées sur des supports en bois. Afin de rendre la lecture des cernes possible, les carottes ont été poncées avec une ponceuse à bande, en diminuant progressivement la taille du grain (240, 400 puis 600 grains.cm⁻²) pour obtenir un ponçage de plus en plus précis. L'observation des carottes a été effectuée sous loupe binoculaire Leica MZ6. L'âge des arbres a pu être estimé en comptant les cernes des carottes (Niklasson, 2002).

Le cerne est composé de deux types de bois mis en place durant une année de croissance. La détermination d'un cerne se fait grâce à une différence de couleurs et de tailles des trachéïdes. Le bois initial de couleur claire est constitué de large trachéïdes et le bois final de couleur foncée est constitué de petites trachéïdes aux parois plus épaisses (Nicault et al., 2001 ; Figure 2δ). Le comptage des cernes peut être biaisé par la présence de faux-cernes. Ces derniers sont des cernes qui ne

sont pas représentatifs d'une année complète et qui sont dus à des conditions climatiques saisonnières exceptionnelles (Fritts et al., 1965 ; Nicault et al., 2001). Les cernes de croissance ont en outre été mesurés afin d'étudier la croissance radiale des arbres (Millier et al., 2006).

Deux méthodes ont été utilisées : la première est basée sur l'utilisation d'un banc de mesure (Lintab5) relié au logiciel d'information graphique TSAP-Win, ce qui permet de mesurer les cernes et d'obtenir des courbes d'épaisseur des cernes en fonction des années ; la seconde consiste à scanner les carottes à l'aide du scanner Epson 1240U, à mesurer les cernes grâce au logiciel Cdendro et à les convertir en données numériques à l'aide du logiciel Coorecorder.

Afin de pallier les problèmes de correspondances entre séries créés par les cernes manquants, des cernes ont été ajoutés artificiellement sur le logiciel TSAPwin avec une épaisseur nulle. A l'aide du logiciel ARSTAN, une standardisation a enfin été effectuée sur les courbes obtenues afin de gommer les différences de croissance entre des arbres d'âges différents. Les arbres ont en effet une croissance plus forte quand ils sont jeunes (Nicault et al., 2001).

RESULTATS

1- Données morphologiques

Les moyennes des données morphologiques recueillies sur le terrain et l'estimation de l'âge de chaque arbre échantillonné sont présentés Table 1. L'âge des arbres ne peut pas être établi avec certitude pour les carottes prélevés à 1,30 m de hauteur, car les premières années de la vie de l'arbre ne sont pas représentées. Il faut en moyenne 6 ans pour que le pin d'Alep atteigne cette taille.

La mesure de la hauteur du bois brûlé et des premières branches vertes ont permis de déterminer la hauteur des flammes, et de savoir si le système photosynthétique des arbres brûlés a été altéré par le feu.

Table 1 : Données morphologiques des arbres échantillonnés

Zone	Arbre	Circonférence (cm)	DBH (cm)	Hauteur (m)	Hauteur Charbon (m)	Hauteur BV (m)
Témoin	PAT 1	149	47.428	18.80	–	4.80
	PAT 2	140	44.563	11.55	–	3.90
	PAT 3	130	41.380	15.30	–	4.50
	PAT 4	109	34.696	12.75	–	4.50
	PAT 5	121	38.516	14.10	–	5.10
	PAT 6	102	32.468	12.3	–	4.80
	PAT 7	134	42.654	15.75	–	3.75
	PAT 8	118	37.561	11.85	–	4.05
	PAT 9	168	53.476	14.85	–	4.20
	PAT 10	144	45.837	20.40	–	6.80
	PAT 11	116	36.924	15.30	–	6.45
	PAT 12	121	38.516	11.55	–	6.30
	PAT 13	96	30.558	11.40	–	5.85
	PAT 14	160	50.930	12.45	–	5.55
	PAT 15	196	62.389	15.75	–	5.25
Brûlée	PA 1	107	34.059	10.80	–	4.60
	PA 2 (1)	135	42.972	10.95	–	3.75
	PA 3 (1)	130	41.380	9.90	3.00	4.95
	PA 4	114	36.287	11.25	3.75	6.00
	PA 5	110	35.014	15.00	4.80	7.05
	PA 6	108	34.377	9.45	2.40	6.00
	PA 7	124	39.470	12.15	2.85	2.85
	PA 8	57	18.144	6.45	2.25	3.75
	PA 9 (1)	101	32.149	12.00	4.50	6.75
	PA 10 (1)	103	32.786	11.25	2.25	6.00
	PA 11	137	43.608	12.45	2.70	7.5
	PA 12	68	21.645	11.55	1.95	6.00
	PA 13 (1)	100	31.831	14.25	3.75	8.25
	PA 14 (1)	80	25.465	7.80	1.20	3.30
	PA 15 (2)	95	30.239	8.55	1.95	3.75
Moyennes	PAT	133.60 ± 26.81	42.53 ± 8.53	14.27 ± 2.71	–	5.05 ± 0.96
	PA	104.60 ± 23.10	33.29 ± 7.35	10.92 ± 2.27	2.87 ± 1.06	5.37 ± 1.66

2- Données anatomiques

Les courbes moyennes des courbes standardisées ont été obtenues à l'aide du logiciel ARSTAN (Figure 4). Par souci de clarté, les écart-types sont regroupés Table 2.

Table 2 : Ecart-type moyen de l'épaisseur des cernes (en mm) en fonction du type d'arbre avant et après le feu

Période	1995-1999	2000-2005
Arbres brûlés	0.066	0.374
Arbres témoins	0.085	0.048

Une forte chute de croissance pour les arbres brûlés est observée l'année après le feu (2001). Des différences entre arbres témoins et arbres brûlés ont été recherchées par test statistique (Table 2). Ainsi des différences significatives entre les épaisseurs de cernes ont été mises en évidence pour toutes les comparaisons sauf entre les témoins avant et après le feu. De plus, les coefficients de sensibilité ont été calculés (cf tableau2). Le coefficient de sensibilité des arbres brûlés après le feu est supérieur à 0.3, tandis que celui des arbres témoins 5 ans avant et après

le feu, et des arbres brûlés 5 ans avant le feu est inférieur à 0.3. Des chutes de croissance sont également observées pour les arbres témoins et les arbres brûlés pour les années 1942, 1947, 1956, 1967, 1979 et 1981. Elles sont être attribuées à des conditions climati-

ques défavorables pour une croissance radiale optimale. L'absence du cerne de 2001 (l'année juste après le feu) sur certaines carottes des arbres brûlés s'explique par le fait que certaines carottes ont été prélevées du côté du bourrelet cicatriciel.

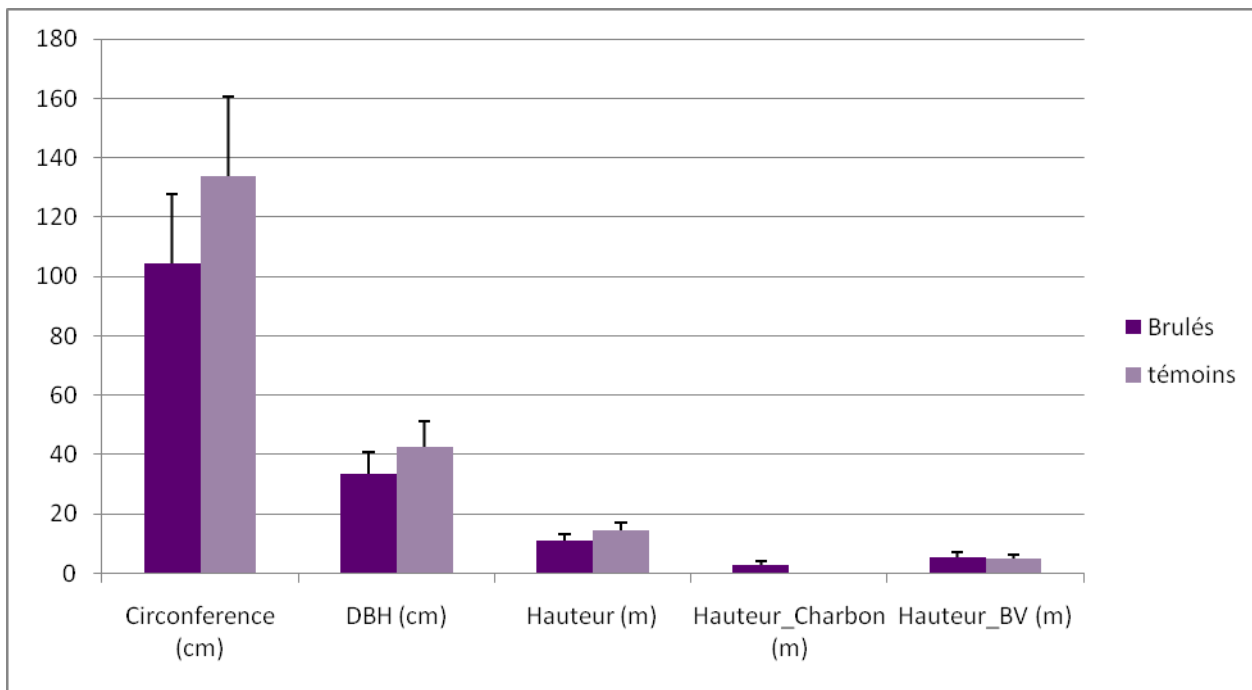


Figure 3 : Comparaison des moyennes des données morphologiques entre arbres témoins et arbres brûlés

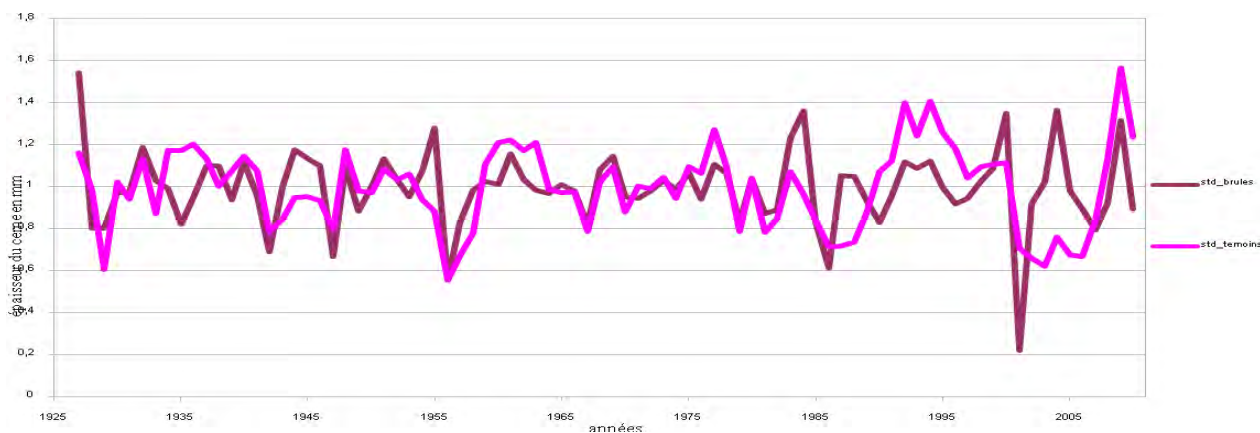


Figure 4 : Comparaison des courbes standardisées entre arbres brûlés (marron) et témoins (rose)

3- Données météorologiques

Les courbes de variations annuelles de température et de pluviométrie sont présentées Figure 5. Les observations des courbes météorologiques révèlent certaines années particulièrement froides : 1963, 1965, 1974,

1984, 1985 et 1986. La comparaison de la courbe des températures avec celle de la pluviométrie souligne également l'existence d'années particulièrement sèches (faible pluviométrie et température élevée) : 1967, 1982, 1989 et 1997.

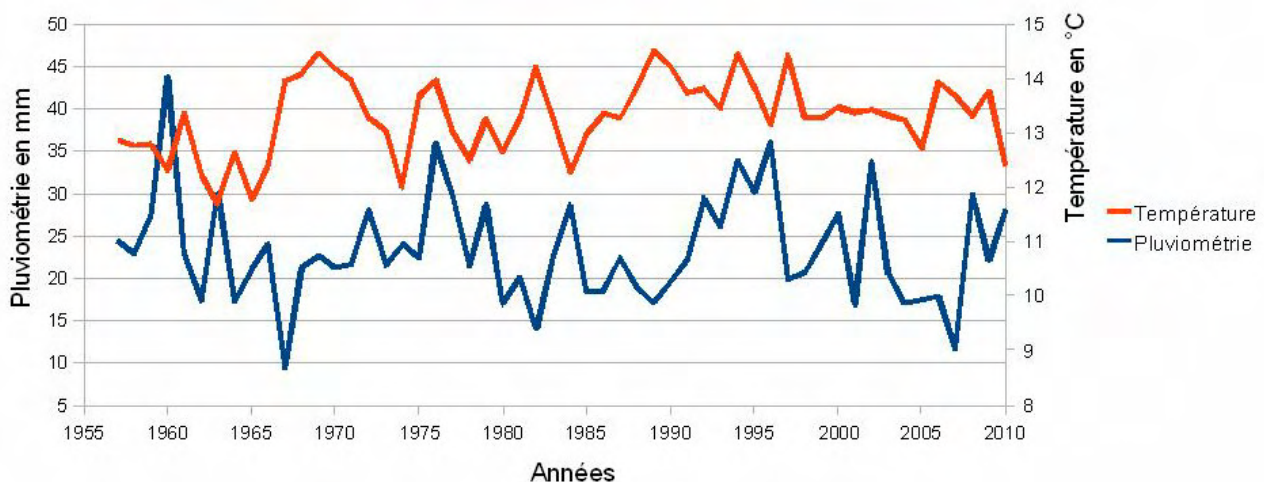


Figure 5 : Evolution des précipitations et des températures entre 1955 et 2010 (Source : Météo France). Les précipitations ont été enregistrées à la station météorologique de Cotignac (Vaucluse), et les températures à la station de Manosque (Alpes de Haute-Provence).

DISCUSSION

Les arbres témoins sont plus vieux, donc plus hauts et présentent une plus grande croissance en épaisseur. Les différences morphologiques observées entre les arbres témoins et brûlés apparaissent donc principalement liées à la différence d'âge. Aucune différence significative de croissance radiale n'a été observée chez les arbres témoins avant et après le feu, ce qui confirme que leur croissance radiale n'a pas été affectée par le feu qui a ravagé les parcelles mitoyennes. Il existe par contre des différences significatives de la croissance radiale entre les arbres brûlés et les arbres témoins, à la fois avant et après le feu.

La principale différence entre les deux populations étudiées est liée au régime de perturbation auquel elles sont soumises : les arbres brûlés sont localisés sur une zone éloignée de toute activité anthropique, tandis que les arbres témoins ont été choisis au bord d'un chemin sur un terrain soumis à un débroussaillage fréquent. La différence de croissance radiale avant-feu entre les deux types d'arbre peut être attribuée au régime de perturbation différent entre les deux populations. La plus grande taille et la croissance radiale plus élevée des arbres témoins traduit probablement l'augmentation de la compéti-

tion interspécifique (De las Heras et al., 2002).

La croissance radiale des arbres témoins 5 ans avant et après feu, et des arbres brûlés 5 ans avant-feu n'a pas subi de variation notable (coefficient de sensibilité inférieur à 0.3), tandis que le coefficient de sensibilité des arbres brûlés après feu supérieur à 0.3. Ces variations de croissance radiale sont probablement liées à des facteurs abiotiques (Fritts, 1976). L'accroissement radial 5 ans après feu apparaît en outre moins important chez les arbres brûlés que chez les arbres témoins. Cette différence suggère une influence du feu sur la croissance des arbres. Toutefois, les premières branches vertes sont localisées bien au dessus de la hauteur atteinte par les flammes (en moyenne, 5.37 m contre 2.88 m). La diminution de croissance radiale observée chez les arbres brûlés ne peut en conséquence pas être imputée à un défaut de photosynthèse.

La croissance radiale du pin d'Alep est contrôlée par la pluviométrie et non par les températures (Nicault et al., 2001). Certaines années de chute de croissance (par exemple en 1967) peuvent être corrélées à des baisses de la pluviométrie. Le fait que seuls les arbres brûlés présentent une diminution de croissance en 2007, pourrait être dû à leur fragilisation par le feu de 2000.

Il aurait été intéressant de travailler sur des données météorologiques relatives aux périodes de croissance des arbres plutôt que basées sur le calendrier. Cela aurait permis de mieux appréhender l'influence des données météorologiques sur les périodes de croissance et les différents types de bois mis en place par l'arbre (bois initial et bois final).

CONCLUSION

L'identification de la signature du passage du feu sur *Pinus halepensis* a permis de mettre en évidence une diminution de croissance radiale sur les arbres ayant subi le feu. Cette baisse de croissance due au feu semble plus forte que celles liées aux conditions climatiques. Ces observations doivent cependant être confirmées par des études plus complètes portant sur davantage d'individus et sur d'autres zones géographiques. De plus, pour améliorer l'observation de cette signature, il serait plus judicieux de prélever des témoins sur des parcelles identiques à celles des arbres brûlés. Enfin, il pourrait être intéressant d'approfondir cette étude en prenant en compte l'emplacement des différentes carottes afin de mieux comprendre le mécanisme de réaction de l'arbre face au feu, et d'étudier le comportement des arbres suite à d'autres perturbations comme le gel, les tempêtes ou encore les maladies dues à des insectes, champignons ou parasites. Enfin, une nouvelle étude pourrait être menée afin de comprendre pourquoi certains individus ont survécu au feu, tandis que d'autres y ont succombé.

REFERENCES

- Acherar M. (1981). *Les colonisation des friches par le pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) dans les basses garrigues du Montpelliérais*. Thèse de doctorat, U.S.T.L., Montpellier.
- Barbero M., Loisel R., Quézel P. (1988). Perturbations et incendies en région méditerranéenne française. In : *Homenaje a Pedro Montserrat*, pp. 409-419. Jaca y Huesca.
- Daskalakou E.N., Thanos C.A. (1996). Alep pine (*Pinus halepensis*) postfire regeneration: the role of canopy and soil seed banks. *International Journal of Wildland Fire*, 6 : 59-66.
- De las Heras J., Martinez-Sanchez J.J., González-Ochoa A.I., Ferrandis P., Herranz J.M. (2002). Establishment of *Pinus halepensis* Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species. *Acta oecologica*, 23 : 91-97.
- Delabrazé P. (1965). *Bases biologiques et physiologiques de la prévention des incendies en Forêts*. CNRS, Editions Piren, Paris.
- Esper J., Büntgen, U., Frank, D.C., Nievergelt D., Liebhold A. (2006). 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. *Proceedings of the Royal Society B-I*, 274 : 671-679.
- Eugenio M., Verkaik I., Lloret F., Espelta J.M. (2006). Recruitment and growth decline in *Pinus halepensis* populations after recurrent wildfires in Catalonia (NE Iberian Peninsula). *Forest Ecology and Management*, 231 : 47-54.
- Fritts H.C., Smith D.G., Stokes M.A. (1965). The biological model for paleoclimatic interpretation of Mesa Verde tree-ring series. *Memoirs of the Society for American Archaeology*, 19 : 101-121.
- Fritts H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, New York.
- Gérémy F., Nassau M.-A. (2006). Le point sur le carottage mécanisé d'arbres vivants. In : *Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques*, pp. 83-86. Les Cahiers des Techniques de l'INRA, Paris.
- Hanes T.L. (1971). Succession after fire in the chaparral of southern California. *Ecological Monographs*, 41 : 27-52.
- Lafleur B. (2004). Effets de la succession végétale après feu sur les communautés de fourmis des pessières à lichens. *Le Naturaliste Canadien*, 128 : 23-28.
- Millier F., Verger M., Rozenberg P. (2006). Microdensitométrie sur arbres forestiers, In :

- Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques*, pp. 87-81. Les Cahiers des Techniques de l'INRA, Paris.
- Naveh Z. (1975). The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio*, 29 : 199-208.
- Nicault A., Rathgeber C., Tessier L., Thomas A. (2001). Observations sur 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.
- Niklasson M. (2001). A comparison of three age determination methods for suppressed Norway spruce: implications for age structure analysis. *Forest Ecology and Management*, 161 : 279-288.
- Parde J. (1957). *La productivité des forêts de pin d'Alep en France*. Annales de l'école nationale des eaux et des forêts, Nancy.
- Paulo M., Vega J.A., Jiménez E., Rigolot E. (2008). Resistance of European pines. *Forest Ecology and Management*, 256 : 246-255.
- Quézel P. (2000). Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* et *Pinus brutia*). In : Ne'eman G., Trabaud L. (eds.), *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and Pinus brutia forest ecosystems in the Mediterranean basin*, pp. 159-185. Backuys Publishers, Leiden.
- Schweingruber F.H. (1983). *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Schweingruber F.H. (1990). *Methods of Dendrochronology*. International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Trabaud L. (1980). Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution des garrigues du Bas-Languedoc. Thèse d'Etat, U.S.T.L, Montpellier.
- Trabaud L. (1983). Évolution après incendie de la structure de quelques phytocénoses méditerranéennes du Bas-Languedoc (Sud de la France). *Annales des Sciences Forestières*, 40 : 177-196.

ÉTUDE PALYNOLOGIQUE D'UN RUISSEAU TRAVERTINEUX (PEYPIN D'AIGUES, LUBERON)

Aurélie Garnier¹, Eglantine Gueydan², Julie Schwartz³

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

¹ a.garnier35@gmail.com, ² eglantine.gueydan@etud.univ-montp2.fr,

³ julie.schwartz@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Serge Muller

Résumé : Le Lubéron est un massif montagneux riche en formations travertineuses, comme celle du vallon des Hermitans. L'étude palynologique présentée fait partie d'un travail pluridisciplinaire, dont le but est de reconstituer les dynamiques paléoenvironnementales de ce site. Les résultats obtenus, qui couvrent 16 siècles, ont permis de distinguer trois phases, respectivement caractérisées par : l'absence d'enregistrement pollinique fiable entre 1600 et 1000 cal. BP, une végétation herbacée hydrophytique à base de Cyperaceae et de Poaceae entre 1000 et 100 cal. BP, et le développement récent des saules, depuis un siècle.

Mots clés : Provence, calcaire, pollen, Subatlantique, action anthropique

Abstract : The Luberon is a mountainous massif rich in travertinous formations, such as the one of the vallon des Hermitans. The presented pollen study is part of a multidisciplinary work, which aims at reconstructing the palaeoenvironmental dynamics of this site. The obtained results, encompassing 16 centuries, allowed to distinguish three phases, respectively characterised by: the lack of reliable pollen record from 1600 to 1000 cal. BP, a herbaceous hydrophytic vegetation dominated by Cyperaceae and Poaceae from 1000 to 100 cal. BP, and the recent development of willow trees, for one century.

Keywords: Provence, limestone, pollen, Subatlantic, anthropogenic activities

Le sud de la France est très riche en formations travertineuses. Celles-ci peuvent être définies comme des dépôts sensibles et complexes qui réagissent aux moindres modifications de l'environnement par des interruptions de l'accumulation carbonatée ou des changements de faciès (Ollivier, 2006). La travertinisation est un processus qui se déroule en trois étapes : la carbonatation (stabilité), le détritisme (instabilité) et les incisions (ruptures). Ces étapes amènent à la formation de dépôts renfermant d'abondantes données paléocéologiques, comme du pollen ou des empreintes végétales.

En raison de la présence de formations traver-

tineuses, le site des Hermitans, sur la commune de Peypin d'Aigues, a été choisi pour effectuer des études paléocéologiques. Ces études ont pour but de reconstituer les dynamiques paléoenvironnementales sur des périodes allant de plusieurs siècles à plusieurs millénaires. Elles peuvent également parfois être utilisées pour reconstituer les dynamiques paléoclimatiques passées et, par analogie, la prédiction de ce que pourrait être notre environnement futur. Les études paléocéologiques sont interdisciplinaires et regroupent entre autres l'étude des charbons (anthracologie), des modalités de fossilisation (taphonomie), des macrorestes (analyse des macrofossiles) et du pollen (palynologie).

La palynologie consiste en l'étude des grains de pollen et des spores actuelles et fossiles. Le pollen, mot d'origine grecque signifiant farine ou poussière, est le gamétophyte mâle des plantes à fleurs, et l'élément de dispersion des gamètes mâles (noyaux spermatiques). D'un diamètre de 10 à 150 µm, le pollen peut rester piégé durant des siècles ou des millénaires dans des sédiments lacustres, tourbeux ou océaniques. En effet, il possède une paroi aux propriétés remarquables, l'exine, qui lui assure une bonne conservation, notamment en milieu anoxique. De plus, sa production massive et sa reconnaissance aisée en font un important outil pour la reconstitution de l'évolution de la flore au cours du temps.

L'étude palynologique présentée vise à reconstituer la dynamique de la végétation passée dans un vallon travertineux du sud du Lubéron, le vallon des Hermitans. Pour cela, des analyses polliniques ont été réalisées le long d'une carotte sédimentaire prélevée au sein d'une saulaie de *Salix purpurea* développée sur un replat, au niveau du village de Peypin d'Aigues. Les objectifs du travail sont : (1) de déterminer, sur la base des concentrations polliniques, si le site est propice à l'enregistrement du pollen, (2) à identifier l'origine locale, extra-locale ou régionale du pollen enregistré, et (3) à proposer sur ces bases une reconstitution paléoenvironnementale.

MATERIELS ET METHODES

1- Zone d'étude

Le Lubéron est un massif calcaire orienté d'est en ouest entre les Alpes-de-Haute-Provence et le département du Vaucluse. Il mesure plus de 60 km de long pour 5 km de large. Son relief et son climat lui permettent d'être doté d'une grande variété d'écosystèmes, profondément marqués par les activités traditionnelles pratiquées par l'homme depuis plusieurs millénaires. Cela se ressent notamment sur les massifs, où l'homme a exploité la forêt pour le bois, le charbon, l'écorce pour la tannerie, ou encore le buis pour les engrais verts. Des nos jours, l'abandon progressif de ces activités

traditionnelles amène à un retour des écosystèmes forestiers.

2- Présentation du pollen

Les grains de pollen forment une poussière qui peut-être dispersée par le vent. Ils correspondent au gamétophyte mâle, habituellement composé de deux à trois cellules cloisonnées et d'une enveloppe. Cette dernière, appelée sporoderme, est constituée par plusieurs couches dont l'externe, l'exine, est composée de sporopollénine. Cette couche présente des qualités exceptionnelles de résistance aux dégradations physiques, chimiques et aux attaques biologiques (Lézine, 2009). Elle confère au pollen une résistance à l'altération et facilite sa dissémination. Chaque taxon présente un grain de pollen qui est lui est propre et qui permet son identification. Les critères morphologiques de reconnaissance sont présentés ci-dessous :

La forme et la taille du grain de pollen. La forme du grain est, de manière générale, sphérique ou allongée (Lézine, 2009). Les grains peuvent être isolés (monades), groupés par 4 (tétrades) ou plus (polyades). Certains grains de pollen de Gymnospermes possèdent également des ballonnets aérifères.

La forme et le nombre d'ouvertures. Une ouverture est une zone de moindre résistance qui permet la sortie du tube pollinique en période de reproduction. Une nomenclature spécifique est établie en fonction de ces ouvertures. Certains grains ne présentant pas d'ouverture sont qualifiés d'inaperturés.

L'ornementation de l'exine. La surface de l'exine peut présenter une grande complexité, et peut être lisse, striée, échinulée, tuberculée, verruqueuse, réticulée, etc.

3- Étude palynologique

Prélèvement sur le terrain

L'échantillonnage de carottes sédimentaires a été réalisé à l'aide d'un carottier russe (Jowsey, 1966), présentant une chambre de 56 x 5 cm. Ce carottier manuel est bien adapté pour des prélèvements dans des environne-

ments à sols meubles. Le carottage réalisé dans le ruisseau des Hermitans de Peypin d'Aigues a atteint une profondeur de 200 cm (Fig. 1).

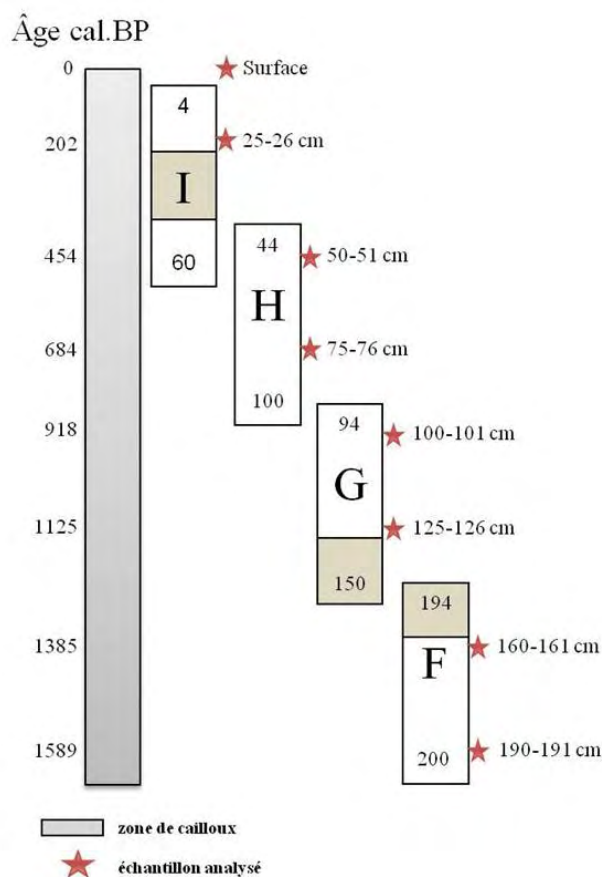


Figure 1 : Zone de carottage présentant les différentes carottes échantillonnées avec les profondeurs correspondantes, ainsi que les échantillons analysés. La chronologie est basée sur le modèle d'âge d'Ollivier (2006).

Echantillonnage

8 échantillons d'1 cm³ ont été prélevés le long de la carotte. L'échantillonnage n'a pas été commencé dès la surface car le sommet de la carotte était perturbé. L'échantillonnage a donc débuté à 25 cm de profondeur et a été ensuite effectué tous les 25 cm, à l'exception des deux niveaux les plus profonds, prélevés respectivement à 160 et 190 cm de profondeur, afin d'éviter les passées grossières. Un échantillon de surface prélevé dans une zone peu perturbée par les courants en amont du

site, a été ajouté. Cet échantillon de surface nous a permis (1) de comparer l'enregistrement pollinique avec la végétation actuelle, et (2) de compléter la séquence fossile par un échantillon actuel.

Extraction du pollen

Les échantillons ont subi une défloculation à la potasse (KOH) afin de désagréger les amas organiques et minéraux, et de libérer les grains de pollen. Les culots ont ensuite été tamisés pour en éliminer les plus grosses particules, qui ont été analysées sous loupe binoculaire, afin d'identifier d'éventuels macrorestes. Les culots ont été traités à l'acide chlorhydrique (HCl), qui a éliminé les carbonates. Les grains de pollen ont finalement été récupérés en utilisant la méthode de flottaison sur liqueur dense (ZnCl₂). Cette méthode est basée sur la différence de densité des grains de pollen (qui est comprise entre 1.35 et 1.55 ; Forster & Flenley, 1993 ; Regnell & Everitt, 1996) et de la liqueur dense (de densité 1.8). Les grains de pollen flottant sur la liqueur dense ont été ainsi séparés des matières minérales, puis récupérés dans des piluliers et montés entre lames et lamelles dans de la glycérine, pour être comptés au microscope. De plus, afin de vérifier la perte éventuelle de grains de pollen durant l'étape de séparation par liqueur dense, nous avons réalisé des comptages, sur 3 lignes, de chacun des huit résidus obtenus.

Chronologie

La chronologie est basée sur des dates radiocarbones (en années BP ou *before present*) obtenues lors d'études antérieures (Ollivier, 2006). La nomenclature BP correspond à la mesure du ¹⁴C résiduel, avant 1950, date établie comme référence par convention. Cette mesure ne tenant pas compte des fluctuations du taux atmosphérique de radiocarbones au cours du temps, les âges radiocarbones ont été étalonnés, et la chronologie utilisée est présentée en années cal. BP (*calibrated before present*).

Table 1: Relevé de la végétation actuelle. Les indices d'abondance/recouvrement respectent la nomenclature de Braun-Blanquet : +, quelques individus ; 1, 0-5 % ; 2, 5-25 % ; 3, 25-50 % ; 4, 50-75 % ; 5, 75-100 %.

Espèces	Famille	Taxon pollinique	HER
Date du relevé			27.01.11
Profondeur d'eau (cm)			10
Eau libre (%)			10
Sol nu (%)			0
Richesse spécifique			32
Surface (ha)			1.5
<i>Agrostis stolonifera</i>	Poaceae	Poaceae	3
<i>Carex flacca</i>	Cyperaceae	Cyperaceae	1
<i>Chara vulgaris</i>	Characeae	-	1
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornaceae	<i>Cornus</i>	2.3
<i>Corylus avellana</i>	Corylaceae	<i>Corylus</i>	1
<i>Crataegus monogyna</i>	Rosaceae	<i>Prunus</i> -type	1.2
<i>Epilobium hirsutum</i>	Oenotheraceae	<i>Epilobium</i>	1.2
<i>Equisetum telmateia</i>	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	2
<i>Hedera helix</i>	Araliaceae	<i>Hedera</i>	1
<i>Hypericum tetrapterum</i>	Hypericaceae	<i>Hypericum</i>	+
<i>Iris pseudacorus</i>	Iridaceae	<i>Romulea</i> -type	1
<i>Juncus acutiflorus</i>	Juncaceae	<i>Juncus</i>	1
<i>Juncus inflexus</i>	Juncaceae	<i>Juncus</i>	1
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Cupressaceae	<i>Juniperus/Cupressus</i>	+
<i>Laurus nobilis</i>	Lauraceae	<i>Laurus</i>	+
<i>Ligustrum vulgare</i>	Oleaceae	<i>Ligustrum</i>	1.2
<i>Lythrum salicaria</i>	Lythraceae	<i>Lythrum salicaria</i>	2
<i>Mentha aquatica</i>	Lamiaceae	<i>Mentha</i> -type	+
<i>Phragmites communis</i>	Poaceae	Poaceae	4
<i>Pinus sylvestris</i>	Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i> -type	+
<i>Pinus halepensis</i>	Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i> -type	+
<i>Platanus hispanicus</i>	Platanaceae	<i>Platanus</i>	+
<i>Populus alba</i>	Salicaceae	<i>Populus</i>	1
<i>Populus nigra</i>	Salicaceae	<i>Populus</i>	2
<i>Quercus pubescens</i>	Fagaceae	<i>Quercus caduc</i>	+
<i>Quercus ilex</i>	Fagaceae	<i>Quercus ilex/coccifera</i>	+
<i>Rubus ulmifolius</i>	Rosaceae	<i>Prunus</i> -type	2
<i>Salix alba</i>	Salicaceae	<i>Salix</i>	1
<i>Salix purpurea</i>	Salicaceae	<i>Salix</i>	4
<i>Samolus valerandi</i>	Primulaceae	<i>Samolus</i>	+
<i>Scirpoides holoschoenus</i>	Cyperaceae	Cyperaceae	3.4
<i>Viscum album</i>	Viscaceae	<i>Viscum</i>	1

RESULTATS

1- Données de végétation

Un relevé de végétation (Table 1) a été réalisé à l'endroit où a été prélevé le sédiment de

surface, dans le but de permettre de comparer la végétation à l'enregistrement pollinique

2- Données polliniques

Le diagramme pollinique (Fig. 2) sépare le pollen des arbres (à gauche) de celui des

herbacées (à droite), et la courbe PA/PNA représente la proportion Pollen arboréen/ Pollen non arboréen. Deux genres arborescents (*Quercus*, *Pinus*) et la famille des Cyperaceae dominent les spectres polliniques. Les taxons régionaux (*Quercus*, *Pinus* essentiellement) ne présentant pas de variations significatives sur plusieurs niveaux, la zonation pollinique a été basée sur des indices de changements locaux. Trois zones d'interprétation strictement locales ont ainsi été délimitées :

Zone 1 (190-125 cm ; env. 1600-1000 cal. BP) : très faibles concentrations polliniques, traduisant une mauvaise sédimentation et/ou conservation du pollen ;

Zone 2 (113-13 cm ; env. 1000-100 cal. BP) : concentrations polliniques plus importantes et domination du pollen non arboréen par les Cyperaceae ;

Zone 3 (13-0 cm ; env. 100-0 cal. BP) : réduction de la représentation pollinique des Cyperaceae et augmentation de celle de *Salix*.

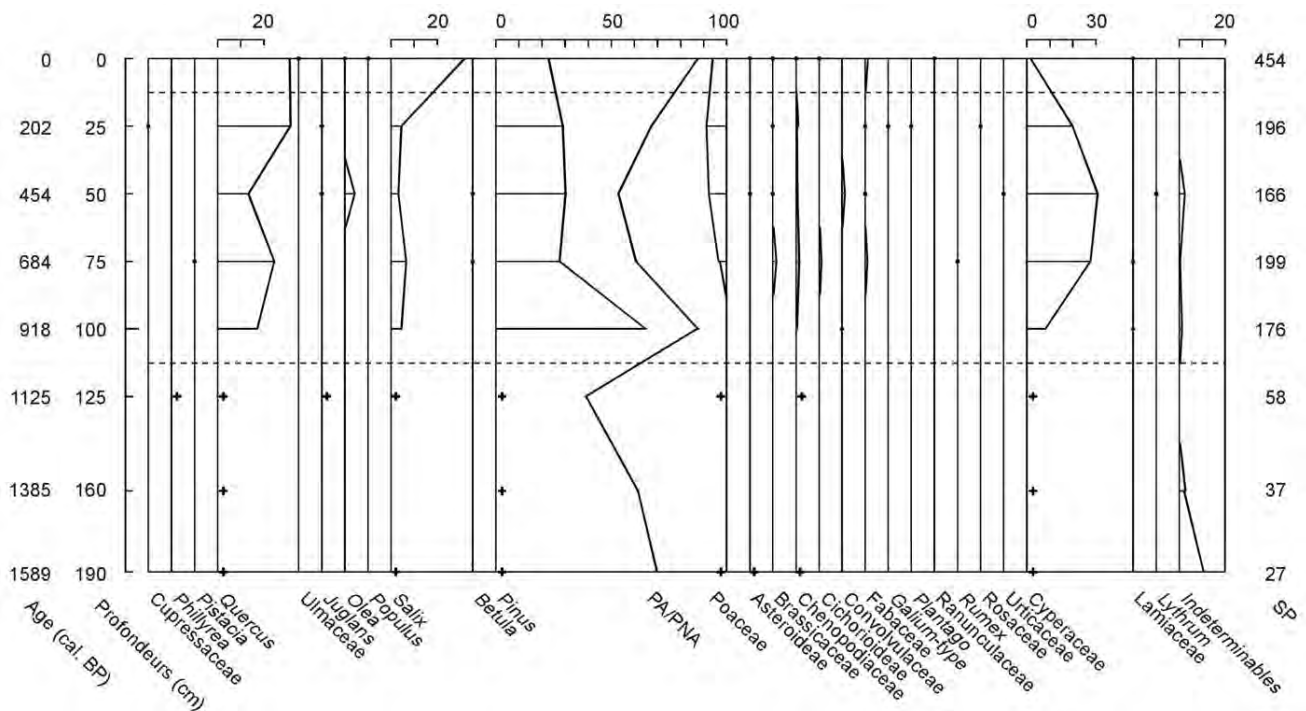


Figure 2 : Diagramme pollinique du vallon des Hermitans. Les âges étalonnés (cal. BP) sont donnés en regard des profondeurs correspondantes. Les courbes représentent les pourcentages (échelles au dessus du diagramme) de chaque taxon par rapport à la somme pollinique totale (SP), notée à droite du diagramme. Pa/PNA : pollen arboréen/pollen non arboréen.

Les pourcentages polliniques n'ont pas été calculés pour les trois niveaux inférieurs (zone 1) car ils sont trop pauvres. Seule la présence/absence des différents taxons y est prise en compte. Pour cette zone, *Quercus*, *Pinus* et les Cyperaceae sont associés à des Poaceae, Asteroideae et Chenopodiaceae, ainsi qu'à *Salix*, *Phyllyrea* et *Juglans*. La proportion de grains de pollen indéterminables est importante à la base du diagramme, où elle représente 5 à 15 % de la somme pollinique totale.

Les spectres polliniques de la zone 2 sont largement dominés par *Quercus*, *Pinus* et les Cyperaceae, et présentent une plus grande diversité de taxons herbacés (Brassicaceae, Cichorioideae, Convolvulaceae, Fabaceae, etc.). La courbe PA/PNA (entre 50 et 80 %) rend compte de la présence d'un couvert majoritairement arboréscé. Le pic de 80 % est lié à la forte augmentation du pourcentage de *Pinus* à 100 cm.

La zone 3 (spectre pollinique de surface) ne montre que peu de changement, à l'exception d'une réduction des Cyperaceae au profit de

Salix.

Les variations de la concentration pollinique (Fig. 3) illustrent une augmentation irrégulière de la quantité de grains de pollen piégés au cours du temps. Par ailleurs, les concentrations polliniques sont très faibles ($< 10.000 \text{ gr./cm}^3$), en comparaison de sédiments lacustres ou tourbeux, qui peuvent contenir entre

10 et 100 fois plus de pollen (100.000 à $1.000.000 \text{ gr./cm}^3$; S. Muller comm. pers.). Le comptage des résidus des traitements polliniques, qui a mis en évidence la présence de moins de dix grains de pollen sur l'ensemble des comptages, indique que cette pauvreté n'est pas imputable à des problèmes de manipulation.

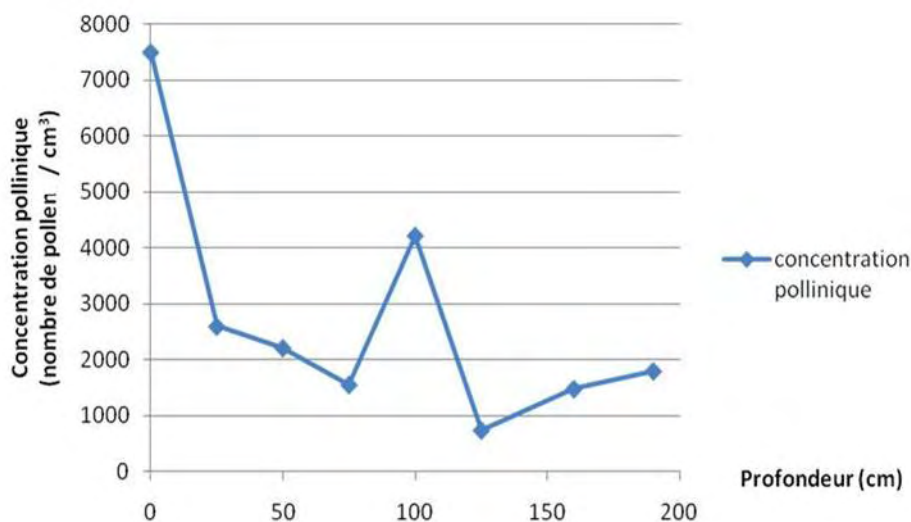


Figure 3 : Evolution de la concentration pollinique en fonction de la profondeur. La concentration pollinique a été calculée selon la formule : $C = (\text{Somme pollinique} \times \text{Nombre total de lignes} \times \text{Volume du culot}) / (\text{Nombre de lignes comptées} \times \text{Volume de la goutte} \times \text{Volume du sédiment})$.

DISCUSSION

1- Conservation du pollen et relation actuelle pollen-végétation

Une augmentation de la concentration pollinique est observée au cours du temps (Fig. 3). Les faibles concentrations et les forts pourcentages de grains indéterminables observés à la base du diagramme suggèrent une importante dégradation du pollen dans les sédiments travertineux. Une augmentation de la concentration pollinique est en outre notée à 100 cm de profondeur, dans une zone présentant une granulométrie grossière (Fay et al., 2011). Ce résultat est paradoxal, car une granulométrie grossière traduit un débit hydraulique important, en principe défavorable à la sédimentation du pollen. Il suggère des conditions de sédimentation variables,

susceptibles de permettre à la fois le dépôt de particules grossières et de particules fines. Bien que la production pollinique d'une espèce soit variable en fonction des années et puisse occasionner des variations importantes des concentrations polliniques, les variations observées s'expliquent probablement par la localisation du carottage, dans un environnement d'eau courante, susceptible d'entraîner le lessivage des dépôts.

La comparaison entre le spectre pollinique de surface et le relevé de végétation (Tab. 1) montre :

(1) que certains taxons absents de la végétation locale sont enregistrés : *Betula*, *Juglans*, *Ulmus*, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Cichorioideae, Fabaceae, Polygonaceae, *Ranunculus*. La présence de ces taxons dans l'assemblage pollinique traduit un apport extra-local ou régional, provenant de zones

extérieures à la zone humide, par l'intermédiaire soit du vent, soit de l'eau ;

(2) la présence locale de taxons qui ne se retrouvent pas dans les comptages polliniques : Cornaceae, Corylaceae, Oenotheraceae, Araliaceae, Hypericaceae, Platana-ceae, Rosaceae, Iridaceae, Primulaceae, Viscaceae, Equisetaceae, Juncaceae, Cupres-saceae, Lauraceae (Tab. 1). L'absence des quatre dernières familles (Equisetaceae, Juncaceae, Cupressaceae, Lauraceae) peut être expliquée par le fait que leurs grains de pollen sont très fragiles et donc facilement détruits. L'absence de la plupart des autres familles peut être attribuée à des dispersions polliniques spécialisées (entomogamie), qui diminuent la probabilité de sédimentation de leurs grains de pollen dans une zone humide ;

(3) que certains taxons (Cyperaceae, *Salix*, *Populus*, *Lythrum*) caractérisent la zone humide proprement dite, tandis que d'autres (*Quercus*, *Pinus*, Cupressaceae) traduisent la présence de taxons situés aux abords immédiats du site.

Il est donc possible de distinguer différentes origines de l'apport pollinique : le pollen d'origine locale qui est déposé par la végétation située dans un rayon de quelques mètres autour du site ; le pollen d'origine extra-locale qui provient de la végétation positionnée dans un rayon de vingt mètres jusqu'à plusieurs kilomètres ; et le pollen d'origine régionale qui provient de distances supérieures à quelques kilomètres (Jacobson & Bradshaw, 1981). Dans notre étude, la comparaison entre spectre pollinique de surface et végétation actuelle permet de distinguer un apport pollinique local (Cyperaceae, *Salix*, *Populus*, *Lythrum*), un apport pollinique extra-local (*Quercus*, *Pinus*, Cupressaceae, *Ulmus*, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Cichorioideae, Fabaceae, Polygonaceae, *Ranunculus*, etc.) et un très faible apport pollinique régional (*Betula*).

2- Histoire de la végétation extra-locale

Les données polliniques obtenues à la base du diagramme, bien que très réduites, suggèrent que le paysage environnant était dominé au

début du Moyen-âge, comme aujourd'hui, par des chênes et des pins. La présence d'herbacées rudérales, c'est-à-dire liées à l'homme (Chenopodiaceae, Asteroideae), traduit l'existence de milieux ouverts anthropisés et suggère donc un paysage mixte constitué de bosquets d'arbres et de champs cultivés. Cette interprétation est cohérente avec le contexte historique régional : le haut Moyen-âge est en effet caractérisé par une agriculture importante, issue de l'utilisation rationnelle du terroir par les populations gallo-romaines (Andrieu-Ponel et al., 2000). L'occurrence pollinique du noyer (*Juglans*) à 125 cm de profondeur confirme que ce niveau est postérieur à l'époque romaine. Ce taxon, cultivé par les romains, est en effet considéré comme un bon marqueur chronologique des derniers 2500 ans (Beug, 1975 ; S. Muller, comm. pers.).

La seconde période, de 1000 à 100 cal. BP, montre peu de changements au niveau du paysage, qui reste dominé par les chênes et les pins (Fig. 2). Elle présente toutefois une diversification des herbacées, qui s'enrichissent de nouveaux taxons (Brassicaceae, Cichorioideae, Convolvulaceae, Urticaceae, Lamiaceae, *Rumex*) et des arbres, avec l'apparition des Cupressaceae, *Pistacia*, *Olea* et *Betula*. Il est toutefois probable que cet enrichissement apparent soit lié à une meilleure conservation du pollen et ne traduise pas de dynamique paléoenvironnementale. La première partie de cette période correspond au Moyen-âge féodal et le niveau 75 cm (684 cal. BP) pourrait correspondre approximativement à l'épidémie de peste noire, qui a décimé une très forte proportion de la population, provoquant un déclin de l'agriculture et une remontée biologique. La trop faible résolution de notre étude ne nous permet cependant pas de déceler cet événement. La fin de la zone 2 correspond à la révolution industrielle, qui a entraîné un exode rural, et a ainsi favorisé une reprise biologique. Le spectre de surface ne montre toutefois pas de changements notables au niveau du paysage environnant, toujours constitué d'une mosaïque de chênaies, de pinèdes et de cultures.

3- Histoire de la végétation locale

Les changements passés relatifs à l'environnement local du vallon des Hermitans apparaissent plus importants que les changements d'ordre paysager. Le premier changement, daté de la transition entre le haut Moyen-âge et le Moyen-âge féodal, se traduit par une augmentation importante des concentrations polliniques. Cette augmentation révèle une modification des conditions de piégeage ou de conservation du pollen, attribuables à une modification du régime hydrologique. Une réduction du débit général du ruisseau, bien que le sédiment soit relativement grossier à 100 cm de profondeur, pourrait traduire des changements d'utilisation des terres en amont du site. Cette période voit se développer une formation hydrophile de Cyperaceae (probablement *Scirpoides holoschoenus* ; Tab. 1) et de Poaceae (probablement *Phragmites australis* ; Tab. 1), dans un courant plausiblement modéré. Les saules (*Salix*), bien que présents localement, n'étaient pas très abondants et peut-être restreints aux rives du ruisseau. Le second changement important correspond approximativement à la révolution industrielle, et se caractérise par l'envahissement de la zone humide par les saules (*Salix purpurea*) qui dominent encore aujourd'hui le milieu. Cette modification traduit un nouveau changement du fonctionnement hydrologique du ruisseau, correspondant peut-être à un nouveau ralentissement du débit, favorable au développement *in situ* des saules.

CONCLUSION

Notre étude, s'étendant de 1600 cal. BP à aujourd'hui, constitue un travail préliminaire à une étude plus approfondie, réalisée selon un pas d'échantillonnage plus serré, qui rendrait mieux compte des changements de la végétation. Elle montre que le vallon des Hermitans, en raison de son débit hydraulique, est peu propice à l'analyse pollinique. Les résultats obtenus révèlent toutefois le caractère très local de l'enregistrement pollinique, et permettent de reconstituer deux principaux changements hydrologiques, respectivement contemporains du milieu du

Moyen-âge et de la révolution industrielle.

L'ensemble des études paléoécologiques (sédimentologie, taphonomie, palynologie,...) a permis de reconstituer l'évolution de la zone humide étudiée, ainsi que de son environnement proche. Il en ressort une tendance majeure à l'échelle de temps considérée : la végétation dépend plus fortement des changements anthropiques que climatiques. En effet, aucun changement de végétation ou de paysage n'a pu être attribué à un changement climatique. L'étude de périodes antérieures, lorsque l'homme avait moins d'emprise sur le paysage, révélerait peut-être des changements climatiques plus significatifs.

REFERENCES

- Andrieu-Ponel V., Ponel P., Jull A.J.T., De Beaulieu J.-L., Bruneton H. & Leveau P. (2000). Towards the reconstruction of the Holocene vegetation history of Lower Provence: two new pollen profiles from Marais des Baux. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2 : 71-84.
- Beug H.J. (1975). Man as factor in the vegetational history of the Balkan Peninsula. *In: Problems of Balkans flora and vegetation*, pp. 72-77. Proceedings of the First International Symposium on Balkan Flora and Vegetation, Varna Sofia.
- Fay R., Gaget E. & Paniandy A. (2011). Dynamiques paléoenvironnementales récentes du vallon des Hermitans (Luberon) : l'apport de la sédimentologie et des macrofossiles (Charophytes). *Orpal synthesis*, 4 : 17-28.
- Forster R.M. & Flenley J.R. (1993). Pollen purification and fractionation by equilibrium density gradient centrifugation. *Palynology*, 17 : 137-155.
- Jacobson G.L, Bradshaw R.H.W. (1981). The selection of Sites for Paleovegetational Studies. *Quaternary research*, 16 : 80-96.
- Jowsey P.C. (1966). An improved peat sampler. *New Phytologist*, 65 : 245-248.
- Lézine A-M. (2009). *Le pollen : outil d'étude de l'environnement et du climat au Quater-*

naire. Société géologique de France, Vuibert, Paris.

Ollivier V. (2006). *Continuités, instabilités et ruptures morphogéniques en Provence depuis la dernière glaciation. Travertinisation, détritisme et incisions sur le piémont sud du Grand Luberon (Vaucluse, France). Relations avec les changements climatiques et l'anthropisation.* Thèse de doctorat,

Université de Provence Aix-Marseille I, Aix-en-Provence.

Regnéll J. & Everitt E. (1996). Preparative centrifugation – a new method for preparing pollen concentrates suitable for radiocarbon dating by AMS. *Vegetation History and Archaeobotany*, 5 : 201-205.

ANNEXE

Diagramme macrofossile et sédimentologique, montrant la granulométrie des sédiments, ainsi que la présence à 100 cm de profondeur de restes d'Angiospermes (racines, charbons, graines...), d'Ostracodes et des débris de coquilles de Gastéropodes (d'après [Fay et al., 2011](#)).

