

Orpalm

Synthesis

2015 - No 8

Garrigues du Pic St-Loup (1)

ORPALM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléoécologie
n°8 - Année 2015

Editeurs en chef

Jean-Frédéric TERRAL^{1,2}
Serge MULLER^{1,2}

Editeurs associés

Adam ALI^{1,2}
Laurent BRÉMOND^{1,3}
Benoît BROSSIER^{1,4}
Vincent GIRARD^{1,2}
Sarah IVORRA^{1,4}
Laure PARADIS^{1,4}

¹ISEM,

²UM2, ³EPHE, ⁴CNRS

Auteurs

Mégane AILLAUD, Bruna
ALRANQ, Guilhem
BATTISTELLA, Amandine
BAULLER, Oriane BESSON,
Antoine CHAMPREUX, Zoé
CHEVALLIER, Josselin CLO,
Raphaël DE LAAGE DE MEUX,
Marie DUVAL, Mathieu
FERRIER, Maurine HAMMEL,
Sandra LE BISSONNAIS, Perle
LETELLIER, Lucie NEGRI,
Audrey PASSERIEUX, Amandine
VALLEE

Travail éditorial

Serge MULLER

Publication

3^e trimestre 2015
Université de Montpellier

ORPAL 2015 : Observer les changements à long terme des garrigues du Montpelliérais (Pic St-Loup – Causse de Viols-le-Fort)

Après cinq années de vadrouillages dans le sud de la France, l'école de terrain fait son retour dans les garrigues du Montpelliérais, trésor inépuisable de ressources pédagogiques représentant l'un des terrains favoris des naturalistes de la région et en particulier des géologues, biologistes et écologues de l'Université de Montpellier. Le territoire couvert par l'école de terrain 2015 (21-23 janvier), de St-Jean-de-Cuculles au Causse de Viols-le-Fort, est marqué de l'empreinte de l'Homme qui, depuis le Néolithique, a façonné les paysages et leur diversité biologique. Le pastoralisme, l'agriculture, l'exploitation des boisements, le charbonnage (...) ont contribué à structurer les communautés végétales parmi lesquelles, les fruticées sempervirentes sclérophylles – matorrals / garrigues à chêne vert et/ou à cade – les pelouses sèches et les prairies humides dominent.



Les garrigues du pic Saint Loup. Tableau d'Alexandre Eugène Castelnau (1859), Musée Fabre, Montpellier

Depuis la révolution industrielle et la déprise agro-pastorale, les formations arborées (taillis de chêne vert, chênaies mixtes ou frênaies) ont reconquis le paysage. Ces changements sont préhensibles si l'on compare la situation actuelle à celle décrite par le peintre Alexandre E. de Castelnau (voir toile ci-dessus). Mais aujourd'hui, c'est une nouvelle menace qui pèse sur la biodiversité exceptionnelle et sensible du Pic St-

Loup : les changements climatiques. Aussi, ORPAL prend une nouvelle orientation, **l'observation des changements à long terme** des garrigues du territoire du Pic St-Loup. Tous les deux ans, l'école de terrain s'attachera à récolter, à intégrer et à partager des données concernant des *proxies* / marqueurs écologiques comme l'enregistrement pollinique actuel (et autres palynomorphes), la morphologie foliaire ou la densité stomatique du chêne vert. Cette approche d'observation, à long terme à l'interface de la recherche, de l'enseignement et du transfert auprès de la société civile, s'intègre parfaitement dans le tissu scientifique montpelliérain dominé dans le domaine par l'Observatoire des Sciences de l'Univers « Observatoire de REcherche Méditerranéen de l'Environnement » (OSU OREME, <http://www.oreme.org>), dont la mission est de quantifier les effets du changement global sur l'environnement, d'en comprendre les mécanismes (aléas, vulnérabilité, résilience) pour développer des stratégies de remédiation.

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

Un grand merci au département Biologie-Ecologie (Faculté des Sciences, UM), ainsi qu'à R. Clarac (Communauté de Communes du Grand Pic St Loup), I. Bermond (Service Régional Archéologique), F. Mouillot (CEFE), K. Ose (Equipex Geosud) et l'association SIG-LR pour l'aide apportée dans le cadre du travail de cartographie. L'équipe pédagogique était cette année constituée de : Adam Ali, Laurent Bremond, Benoît Brossier, Vincent Girard, Sarah Ivorra, Serge Muller, Laure Paradis et Jean-Frédéric Terral.

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



Les schtroumpfs rouges des garrigues et leurs petits amis d'ORPAL 2015

ORPAL & ORPAM : modules d'enseignement-recherche avec de vrais morceaux d'humain dedans

ORPAL & ORPAM en bref

ORPAL et ORPAM sont des unités d'enseignement (UE) respectivement proposées en L3 Sciences de la Vie (SV) et en M1 Biodiversité-Ecologie-Evolution parcours Cepage, UFR Fac des Sciences, Département d'enseignement Biologie-Ecologie, Université de Montpellier.

Contenu pédagogique

Sur la thématique de la reconstruction des environnements passés, ces UE sont quasi-exclusivement dévolues à la pratique et à l'expérimentation. Toute la chaîne opératoire de la recherche est considérée : le questionnement, la problématique, la recherche bibliographique, le terrain, le travail en laboratoire, le traitement des résultats, leur interprétation et la diffusion (écrite et orale) de l'information scientifique.

Apport pour les étudiants

ORPAL et ORPAM sont des UE originales et novatrices. Elles permettent aux étudiants de : découvrir le monde secret de la recherche, se former par la recherche à travers un stage conventionné dans un établissement de l'enseignement supérieur, valider un acquis de l'expérience, ajouter une ligne concrète dans leur CV, découvrir la vie trépidante et tumultueuse d'un laboratoire, etc.

Organisation des modules

Les étudiants, répartis en binômes ou trinômes, choisissent un sujet sous la direction d'un enseignant-chercheur ou d'un chercheur de l'équipe pédagogique. Ce dernier sera leur référent chargé de suivre et d'évaluer leur progression tout au long de leur parcours.

Déroulement d'ORPAL-ORPAM

Etape 1/5 : Briefing méthodologique

La reconstruction des paléoenvironnements : pourquoi et comment ? Organisation des modules, objectifs pédagogiques, méthodes.

Etape 2/5 : Stage de terrain

24 heures de terrain, réparties sur trois jours consécutifs, permettent aux groupes d'appliquer diverses méthodes paléoenvironnementales. Ces stages ont lieu dans des zones bien circonscrites d'un point de vue géographique et écologique : région du Pic St-Loup et littoral languedocien pour ORPAL ; sites d'étude modifiés chaque année pour ORPAM.

Etape 3/5 : Stage en laboratoire

Sous la responsabilité d'un encadrant, travail de laboratoire, analyse des données, travail bibliographique. Une journée par semaine.

Etape 4/5 : Rédaction et présentation orale

Rédaction d'un mémoire synthétique sous la forme d'un article scientifique et intégration des corrections faites par un rapporteur. Le module se clôt par une présentation orale.

Etape 5/5 : Evaluation et publication

Evaluation des articles par le comité de rédaction de la revue (note initiale réévaluée à l'issue du processus de *reviewing*) et publication des meilleures contributions (critères portant à la fois sur le fond et la forme).

Mise en garde : Les articles présentés dans cette revue, bien que corrigés par les équipes pédagogiques, sont des travaux réalisés par des étudiants de 3^e et 4^e années. Ce sont des exercices d'initiation à la rédaction scientifique, avec une visée plus méthodologique que factuelle.

ORPAL : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements – Licence ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2006-2007.

ORPAM : *n.m.* Acronyme d' « Outils et méthodes de la Reconstruction des PALéoenvironnements – Master ». UE de l'Université de Montpellier, lancée en 2015-2016.

ORPALM Synthesis. Revue bisannuelle, créée en 2008 sous le nom *ORPAL Synthesis* pour publier les travaux réalisés dans le cadre de l'UE ORPAL, et renommée en prévision de l'intégration, en 2015-2016, des travaux de l'UE ORPAM.

ORPAL 2015

Pic St-Loup, Hérault (1)

Ferrier M., Négri L. & Passerieux A. : <i>Cartographie de la zone du Pic Saint-Loup</i>	9
Chevallier Z., Hammel M. & Letellier P. : <i>Dynamique post-incendie des pinèdes à Pinus halepensis de la région de Montpellier</i>	21
Clo J., Le Bissonais S. & Vallée A. : <i>Accumulation et décomposition des feuilles dans les litières des lavognes du Pic Saint-Loup</i>	33
Battistella G. & Bauller A. : <i>Morphologie foliaire et densité stomatique chez le chêne vert (Quercus ilex L.) dans la région du Pic Saint-Loup (Hérault, France) : des indicateurs écologiques de première importance</i>	43
Champreux A., de Laage de Meux R. & Duval M. : <i>Enregistrement pollinique des lavognes (Viols-en-Laval, Hérault) : miroir déformant de la végétation</i>	55
Aillaud M., Alranq B. & Besson O. : <i>Référentiel actuel des bio-indicateurs dans les mares du causse de Viols-le-Fort (Hérault)</i>	69



Les lavognes des garrigues montpelliéraines abritent plusieurs espèces rares et protégées, comme la gratioline officinale (Gratiola officinalis, Plantaginaceae) (photo : S. Muller, juin 2007)

CARTOGRAPHIE DE LA ZONE DU PIC SAINT-LOUP

Mathieu Ferrier ¹, Lucie Négri ², Audrey Passerieux ³

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

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

¹ mathieu.ferrier@etud.univ-montp2.fr, ² lucie.negri@etud.univ-montp2.fr,

³ audrey.passerieux@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Laure Paradis

Citation : Ferrier M., Negri L. & Passerieux A. (2015). Cartographie de la zone du Pic Saint-Loup. *Orpalm Synthesis*, 8 : 9-20.

Résumé : Le site du Pic Saint-Loup regroupe un ensemble de communes comprenant de nombreux paysages, plus ou moins naturels. L'étude de cartographie présentée a été menée sur la base de données récoltées sur le terrain et d'informations scientifiques antérieures. Ce travail a permis de récolter et d'analyser des données (occupation du sol, phytosociologie, patrimoine culturel...), et d'apporter des supports cartographiques aux autres études.

Mots clés : Garrigues montpelliéraines, SIG, photo-interprétation

Abstract: *Cartography of Pic Saint-Loup area.* The Pic Saint-Loup mountain area is made up of several municipalities, which offer more or less natural lands. The cartographic study presented was carried out using data collected in the field and previous scientific data. This work allowed gathering and analysing data (land use, phytosociology, cultural heritage...), and providing cartographical supports to other studies.

Keywords: Mediterranean shrublands of Montpellier region, GIS, photo-interpretation

Le sud de la France est composé d'un ensemble de paysages : garrigues (formation basse et ouverte), chênaies et pinèdes. Ces paysages sont caractéristiques d'une diversité végétale spécifique, en lien avec des milieux souvent perturbés par l'activité humaine. Le Pic Saint-Loup, situé au Nord de Montpellier dans le département de l'Hérault, a subi une forte occupation du sol au cours des dernières décennies, avec en particulier les activités pastorale, agricole et viticole ([Territoires & Paysages, 2014](#)). Ce site est localisé sur le territoire de la communauté de communes du Grand Pic Saint-Loup (CCGPSL), qui s'étend sur une surface de 568,8 km², et fait partie de diverses zones de protection ([DOCOB Natura 2000, 2012a](#)): ZPS (Zone de Protection Spéciale), ZICO (Zone d'Intérêt Communau-

taire Oiseaux), ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique) et SIC (Site d'Intérêt Communautaire).

Deux édifices géologiques marquent le paysage : le Pic Saint-Loup, créé à partir d'une nappe de charriage, et l'Hortus, composés de calcaires marins respectivement du Jurassique supérieur et du Crétacé. La végétation est typiquement méditerranéenne avec *Quercus pubescens* (chêne blanc), *Pinus halepensis* (pin d'Alep) et *Quercus ilex* (chêne vert). Ces espèces sont réparties selon différents facteurs environnementaux (en particulier, la disponibilité de l'eau). *Q. pubescens* se retrouve en versant nord, sur les éboulis du Pic Saint-Loup et dans le bassin de St-Martin-de-Londres, tandis que *Q. ilex* occupe les reliefs alentours ([Ubaud, 2012](#)). *P. halepensis* se trouve pour sa part essentiel-

lement dans la combe de Mortières, sur le versant sud de l'Hortus. La répartition des deux espèces de chênes constitue un exemple d'inversion d'étages de végétation, le chêne blanc caractéristique du Supraméditerranéen se retrouvant à plus basse altitude que le chêne vert caractéristique du Mésoméditerranéen. Cette inversion est liée à plusieurs facteurs : la disparition des sols par érosion sur les versants, la présence de sources en bas de pentes, et l'accumulation d'air froid dans le fond du bassin. *Q. pubescens*, qui est l'espèce la plus compétitive, devrait théoriquement dominer l'ensemble du paysage. La présence des deux autres espèces est liée aux activités humaines, depuis la fin du Néolithique (4000-5000 ans). L'anthropisation du milieu a défavorisé *Q. pubescens*, au profit de *P. halepensis* (espèce pionnière pyrophile) et de

Q. ilex (espèce résiliente aux coupes forestières).

L'étude présentée a pour buts de cartographier et d'analyser les dynamiques (humaines et végétales) de la région du Pic Saint-Loup, en s'intéressant plus particulièrement à des sites où l'anthropisation du milieu (pastoralisme, incendies) est marquée.

MATERIEL ET METHODES

L'étude a été réalisée du 21 au 23 janvier 2015 sur deux zones :

- 8 lavognes (mares temporaires artificielles des garrigues créées pour le pastoralisme) sur les communes de Viols-le-Fort et de Viols-en-Laval (Fig. 1) ;
- sur les communes de Saint-Bauzille-de-Montmel, d'Assas et de Castries.

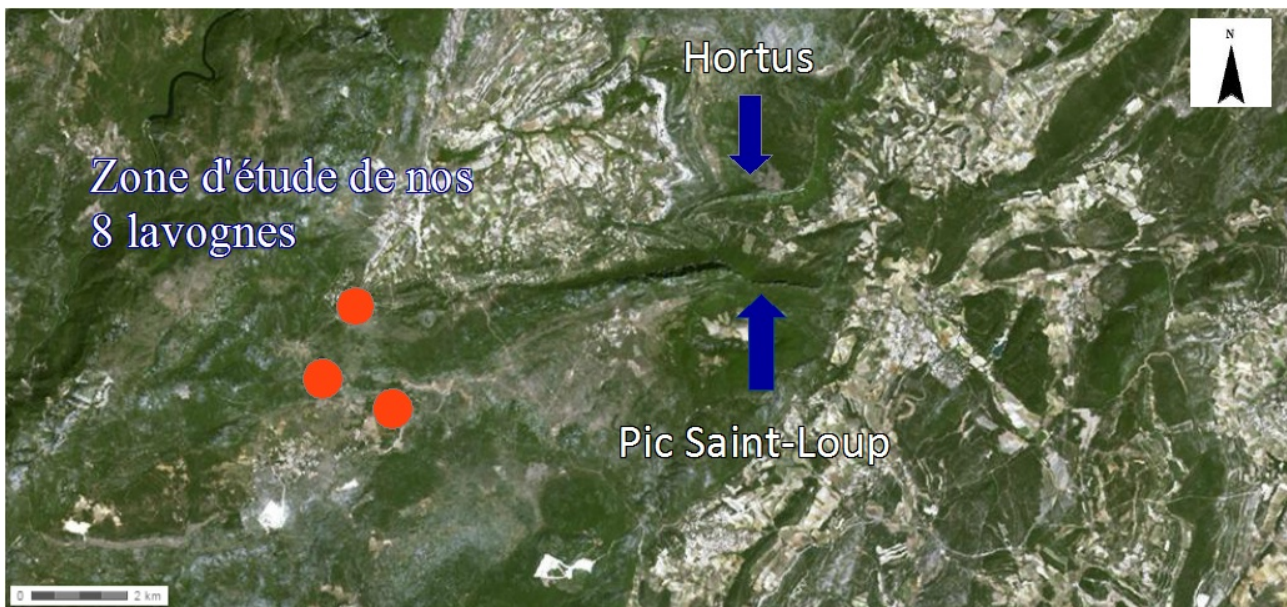


Figure 1. Localisation de la zone d'étude (source geoportail.gouv.fr)

Les données GPS, prises avec deux GPS JunoSB Trimble, ont été récupérées sous forme de points et polygones afin de représenter les diverses parcelles d'étude des différents groupes. Des demandes de renseignements ont en outre été faites auprès d'établissements scientifiques et de collectivités territoriales (Annexe 1).

Afin d'observer l'évolution de l'occupation du sol autour des mares au cours des 70

dernières années, des images aériennes de 1946 et de 1978 ont été prises sur le site Géoportail. Ces images sont en noir et blanc, et ont été géoréférencées en Lambert93 à l'aide du logiciel QuantumGIS (version 2.6), à partir d'une image aérienne de 2012. Il a été choisi de faire au moins 4 points de calage répartis sur toute la surface de l'image tout en évitant les extrémités puisque la périphérie est déformée lors de la prise de vue (Conolly & Lake, 2006). Malgré un RMS (erreurs

moyennes quadratiques) inférieur à 7 m, les images ne se superposent pas exactement ce qui rend la photo-interprétation complexe.

Afin de traiter l'occupation du sol, les images ont été divisées en plusieurs catégories : les bois, les fruticées, les mares et les prairies. Des polygones correspondant au type d'occupation du sol ont été réalisés manuellement grâce au logiciel QuantumGIS. Pour traiter précisément toutes ces données, il a fallu se mettre à une échelle de 1/500°. Plusieurs options du logiciel ont été utilisées, telles que l'option d'accrochage pour éviter les trous entre polygones, ou encore la fusion entre 2 polygones d'une même catégorie d'occupation du sol pour faciliter l'analyse. Les surfaces de ces occupations du sol ont pu être calculées pour chaque date, ainsi que les distances entre mares, en faisant une matrice de distance grâce à la création automatique de centroïdes des mares.

Une classification hiérarchique ascendante (CHA) et une analyse factorielle des correspondances (AFC) ont été réalisées à l'aide du logiciel PAST. Ces analyses permettent d'étudier les relevés phytosociologiques, qui donnent, pour chaque milieu, le recouvrement des différentes espèces présentes sur l'aire minimale représentative (+, quelques individus ; 1, 0-5% ; 2, 5-25% ; 3, 25-50% ; 50-75% ; 75-100%). Ces relevés permettent de regrouper en communautés les plantes aux mêmes exigences écologiques. Les relevés phytosociologiques ont été réalisés par les étudiants ORPAL 2015 aux alentours des huit lavognes. Les taxons sélectionnés pour l'analyse sont des taxons qui présentent au moins 3 occurrences. Chaque nom d'espèce a été abrégé par un code qui correspond aux 2 premières lettres du genre et aux 2 premières lettres de l'espèce (Annexe 2).

Des diagrammes circulaires représentant l'abondance de certaines espèces ont été réalisés pour l'occupation du sol de 2012. Ces diagrammes ont été construits grâce aux relevés phytosociologiques. Du fait de l'abondance du nombre d'espèces et afin de

permettre une meilleure compréhension des diagrammes, nous avons sélectionné les taxons présentant plus de 15 occurrences. Cela a été effectué grâce au logiciel ArcMap (ArcGis, éditeur ESRI) qui a permis de faire une mise en page particulière avec plusieurs zooms placés sur une seule représentation cartographique.

L'étude du patrimoine archéologique de la Communauté des Communes du Grand Pic St-Loup a intégré la chronologie, la période des vestiges par commune, les types de vestiges par commune, ainsi que le nombre total de vestiges par commune (données fournies par le SRA Languedoc-Roussillon). Nous avons créé à partir de ces données des diagrammes circulaires représentant les types de vestiges par commune. Les 6 types de vestiges présentant les plus fortes occurrences ont été sélectionnés afin de faciliter la lecture des diagrammes.

RESULTATS

La **Figure 2** présente une cartographie des différents types de milieux en 1946, 1978 et 2012.

De 1946 à 1978 : Il est observé, au niveau des mares 1 à 6, une réduction des prairies et une légère augmentation des bois. La mare 7 subit une réduction des prairies, une forte augmentation des bois et une stabilité des fruticées. La mare 8 subit elle-aussi une réduction des prairies et une augmentation des bois.

De 1978 à 2012 : Les changements de chaque catégorie d'occupations du sol sont moins importants durant cette période. Les mares 1 à 6 présentent une légère réduction des prairies, une réduction des bois et une apparition des fruticées. La mare 7 subit une augmentation des prairies, une forte réduction des bois, et présente toujours une stabilité au niveau de la surface des fruticées. On remarque une légère réduction des prairies autour de la mare 8, ainsi qu'une stabilité des bois et une apparition des fruticées.

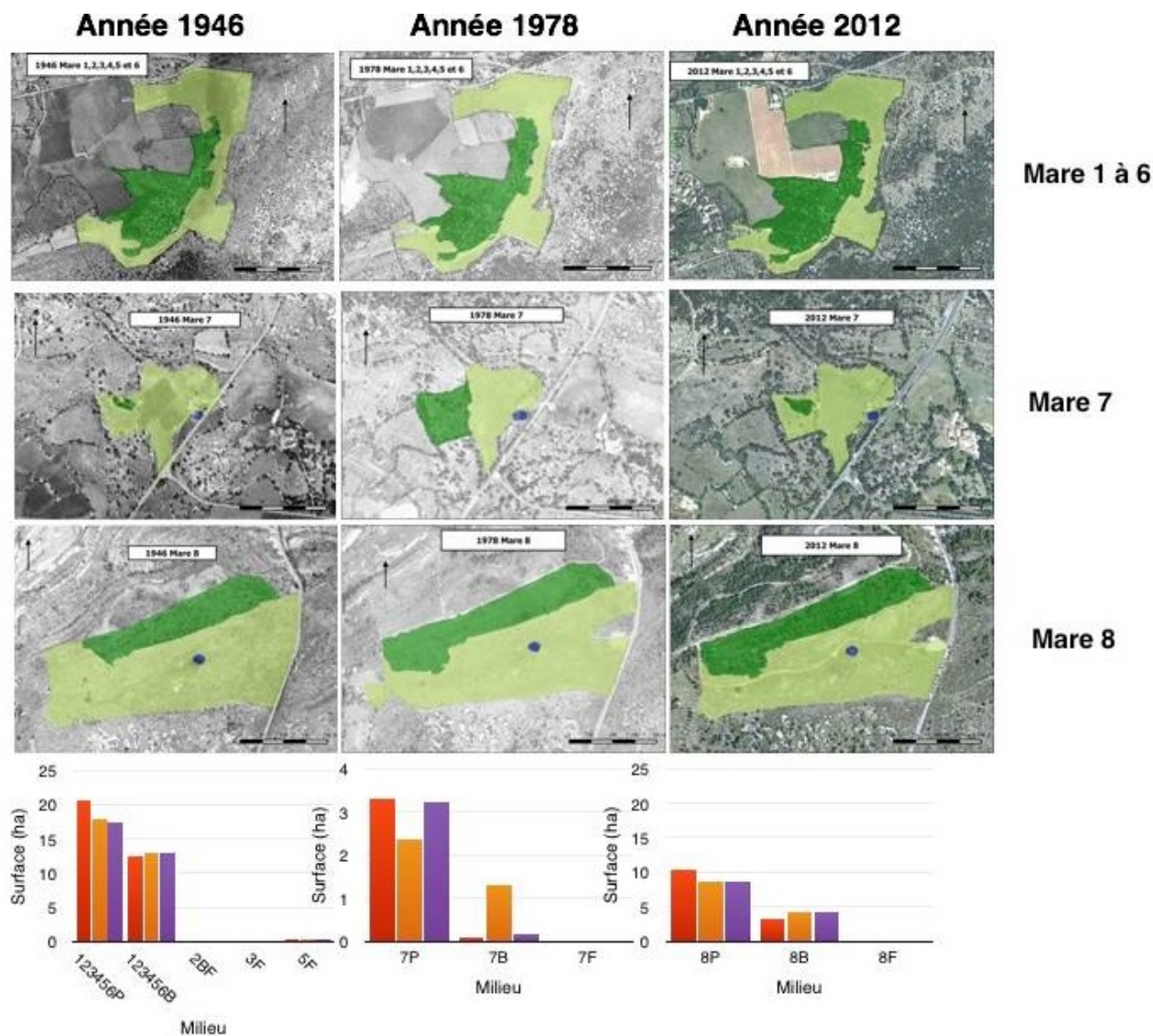


Figure 2. Occupation du sol et histogrammes des surfaces de chaque milieu (1946, 1978 et 2012)

Les relevés phytosociologiques des environnements des différentes mares ont été comparés. Le dendrogramme obtenu (Annexe 3) montre quels sont les environnements les plus proches au niveau de la phytosociologie. L'AFC (Fig. 3) permet d'identifier des groupes de taxons. L'axe 1, qui totalise presque un quart de la variance totale, discrimine les milieux ouverts sur la droite, les fruticées au milieu et les bois (avec notamment *Q. ilex* et *Q. pubescens*) sur la gauche. Cet axe représente donc le degré d'ouverture du milieu.

L'AFC réalisée à partir des relevés phytosociologiques (Fig. 4) montre que la composition floristique est constante pour une même catégorie d'occupation du sol. Les bois sont tous dominés par *Quercus ilex*, associé à *Asparagus acutifolius*, *Juniperus oxycedrus*, des Astéracées, des Bryophytes et des Poacées. Les prairies présentent certains taxons communs avec les bois, mais sont dominées par des Poacées. Les fruticées sont plus hétérogènes : celles des mares 5 et 8 sont dominées par des Poacées, tandis que celle de la mare 7 est dominée par des Bryophytes.

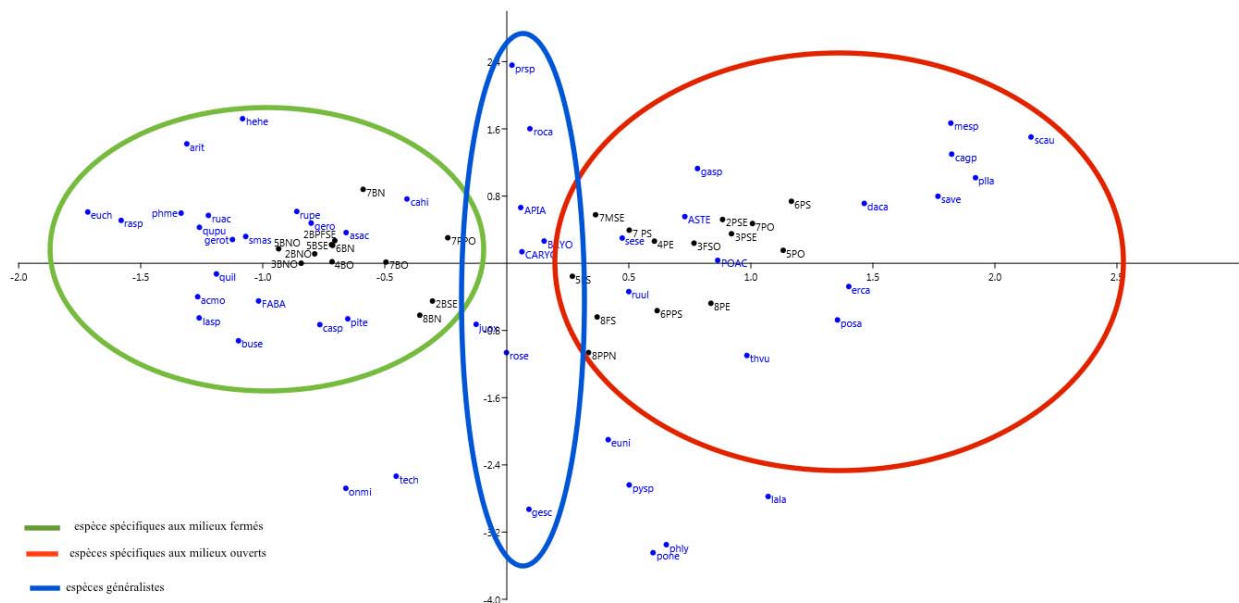


Figure 3. Diagramme 1/2 de l'AFC réalisée sur les données phytosociologiques. Les pourcentages d'inertie des axes 1 et 2 sont respectivement de 23,4 et 10,8 %.

La carte du patrimoine (Annexe 4) montre que de nombreux vestiges archéologiques sont présents sur l'ensemble des communes du Pic St-Loup. Ces vestiges sont liés à l'économie (agriculture, artisanat), aux coutumes (religion, monuments funéraires) ou aux aménagements (habitat, organisation du territoire, défense). Les vestiges « habitats » sont présents sur toutes les communes (8 communes avec la présence de vestiges d'habitats > 50 %). Les vestiges liés à l'économie se trouvent en majorité à l'est de la zone d'étude. Les vestiges funéraires et religieux se trouvent en plus faibles concentrations, sont répartis de manière homogène sur l'ensemble des communes.

DISCUSSION

En 1946, les surfaces des prairies sont supérieures à celles des bois. La période 1946-1978 est caractérisée par une nette augmentation de la surface des bois et par une réduction de celle des prairies. De 1978 à 2012, la plupart des surfaces de prairies restent inférieures aux surfaces des bois. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'avant la moitié du XX^e siècle, le pastoralisme reste important, maintenant les milieux ouverts. L'élevage

extensif d'ovins, de bovins en manade, de caprins fromagers ou de chevaux favorise en effet le maintien des milieux ouverts, la diversité et la qualité paysagère. C'est dans la seconde moitié du XX^e siècle, que l'activité pastorale diminue, entraînant la fermeture du milieu (Territoires & Paysages, 2014). La succession écologique se traduit par un remplacement des habitats et de communautés vivantes associées : les prairies tendent petit à petit à évoluer en bois.

La composition floristique de chaque type d'occupation du sol est relativement homogène. Certains taxons semblent être spécifiques d'un type de milieu. *Q. ilex*, majoritairement représenté au niveau des bois et des corridors (linéaires boisés), est une espèce spécifique des milieux fermés. Les prairies et la plupart des fruticées sont dominées par les Poacées, qui représentent environ 20 % de la couverture végétale du globe terrestre. Cette famille est l'élément dominant de plusieurs formations végétales étendues, telles que les steppes, les grandes plaines ou les pelouses arctique-alpines (Langlois, 2005). Outre la présence de Poacées, il a été aussi retrouvé, quoiqu'en proportions plus faibles, de nombreuses

Astéracées. L'AFC montre que les Poacées et les Astéracées sont des familles caractéris-

tiques des milieux ouverts (prairies).

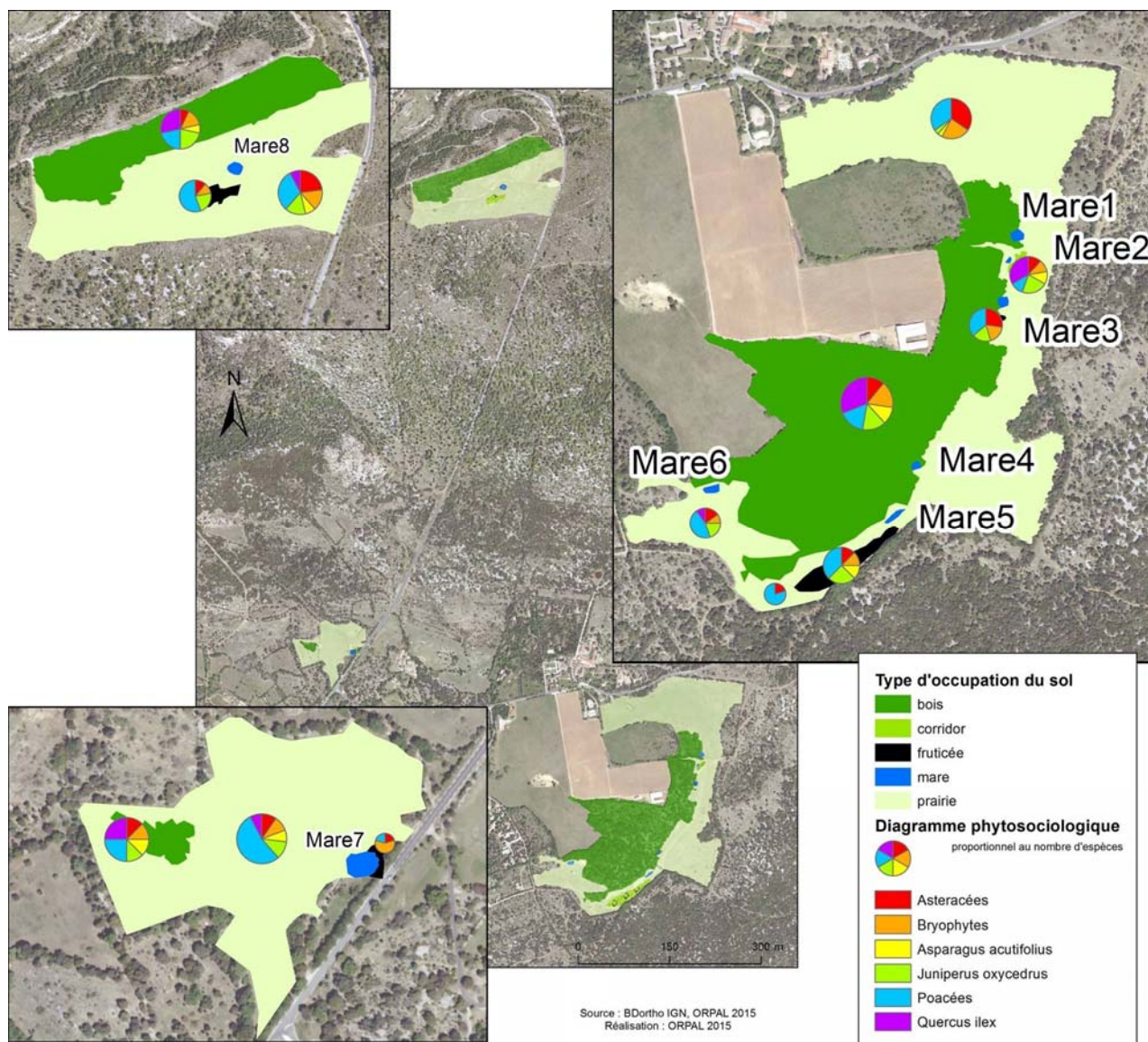


Figure 4. Occupation du sol de 2012 et diagrammes des relevés phytosociologiques

Sur les zones qualifiées de fruticées, les taxons sont tous retrouvés en abondances presque égales. Cependant, quelques taxons, comme les Bryophytes ou *Juniperus oxycedrus*, semblent être plus abondants. L'AFC montre que les Bryophytes et *J. oxycedrus* caractérisent des milieux intermédiaires. Ils peuvent être considérés comme des taxons généralistes. La présence de ces taxons et leur abondance caractérise un stade intermédiaire de la succession végétale amenant à la fermeture du milieu. Il est

remarqué une abondance de Bryophytes très importante autour de la mare 7. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les fruticées intègrent un mur en pierre bordant la mare, particulièrement propice au développement des Bryophytes.

Les données Natura 2000 (DOCOB Natura 2000, 2012b), récoltées auprès de la Communauté des Communes, ne donnent pas de détails précis concernant l'occupation du sol de la zone englobant les 8 lavognes étudiées. Les résultats obtenus par les

étudiants ORPAL permettent d'apporter des données plus précises. La végétation a notamment été cartographiée et analysée. Il aurait été intéressant d'étudier en parallèle la faune. Un futur projet d'étudiants ORPAL pourrait être réalisé sur la base des données Natura 2000 sur la diversité faunique d'intérêt communautaire de cette zone ([DOCOB Natura 2000, 2012c](#)). L'étude pourrait en outre être complétée avec les données récoltées antérieurement autour de ces mares (S. Muller, données non publiées). La communauté des communes nous a également fourni des données montrant l'importance de cette zone au niveau du paysage. Du fait de nombreux facteurs (humains, catastrophes naturelles...), de nombreux enjeux paysagers ont été identifiés par la DREAL (Direction Régionale de l'Équipement, de l'Aménagement et du Logement). Ces enjeux sont la protection, la réhabilitation ou encore la valorisation de paysages comme les reliefs, les paysages ouverts et les zones viticoles.

Le site du Pic Saint-Loup est très riche en vestiges archéologiques. Les plus anciens vestiges qui ont été trouvés datent du Paléo-Mésolithique (BD Patriarce). Les terrains variés de la zone (plaines, montagnes, forêts) induisent une répartition spécifique de certains vestiges, comme par exemple la présence de nombreux vestiges agricoles dans les zones de plaines (de faible altitude) propices au développement d'activités agricoles. Il serait intéressant dans un futur projet d'ORPAL d'approfondir l'étude de ces vestiges afin de comprendre leur importance et leur localisation en fonction de l'environnement, et leur développement dans le temps. Les données obtenues auprès de la Communauté des Communes (en particulier, les dates de construction des bâtiments) révèlent une emprise forte de la zone durant l'Antiquité.

Des données climatiques et pédologiques nous ont été fournies par l'ACH (Association Climatologique de l'Hérault). Le temps imparti à ce travail n'étant pas suffisant et comme nous n'avions que les données brutes de quelques communes, les données climatiques n'ont pas été traitées. Les PHE

(Plus Hautes Eaux) et les PPRI (Plan Prévention Risque Inondation) obtenus auprès de la Communauté des Communes donnent un ordre d'idée des risques d'inondation sur la zone d'étude. La récolte de ces données a amené un partenariat entre l'ACH et le CNRS, qu'il serait intéressant de faire perdurer dans le temps, afin de recueillir des informations pour de nouveaux projets.

Le site du Pic St-Loup, est enfin marqué par l'occurrence de nombreux incendies anciens. La zone a subi environ 800 feux depuis 1970 (base Prométhée et F. Mouillot, comm. pers.), dont 2 feux importants sur les communes d'Assas, Castries et Saint-Bauzille-de-Montmel, qui ont fait l'objet de l'étude de [Chevallier et al. \(2015\)](#). Afin de lutter contre ces incendies, des aménagements ont été mis en place par la Communauté de Communes (PPRIF : Plan de Prévention des Risques d'Incendies de Forêts).

CONCLUSION

L'étude réalisée nous a permis d'acquérir des connaissances sur la récolte de données auprès de diverses collectivités, ainsi que l'apprentissage approfondi de la cartographie à partir du logiciel QuantumGIS. Le but principal de ce projet était de collecter le plus de données possibles et de reconstituer les zones d'études de chacun des groupes ORPAL2015, sur la zone du Pic Saint-Loup, en cartographiant les différentes mares et leur type de végétation, ainsi que la délimitation de zones de feux. Dans un second temps, les cartes illustrant l'évolution de l'occupation des sols de 1946 à 2012 ont permis de mettre en évidence les changements d'occupation des sols autour des mares étudiées. La réduction du pastoralisme à partir de la moitié du XX^e siècle a entraîné la fermeture du milieu. Des bois, constitués majoritairement de *Q. ilex*, ont ainsi progressivement colonisé le milieu au détriment des prairies dominées par des Poacées. Deux perspectives nous semblent intéressantes pour les années à venir : (1) travailler également sur la diversité faunistique en complément de l'étude de la végétation, et (2) organiser les données récoltées sous forme d'une base de données

dans l'optique de pouvoir les réutiliser et les enrichir.

REFERENCES

- Chevallier Z., Hammel M. & Letellier P. (2015). Dynamique post-incendie des pinèdes à *Pinus halepensis* de la région de Montpellier. *Orpalm Synthesis*, 8 : 19-29.
- Conolly J. & Lake M. (2006). *Geographic Information Systems in Archaeology*. Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge, 338 p.
- DOCOB Natura 2000 (2012a). *Directive « Habitats » : Atlas cartographique*. Document d'objectifs du site Natura 2000 FR9101389 « Pic Saint Loup ». Communauté des Communes du Grand Pic Saint-Loup, Saint-Mathieu-de-Trévières.
- DOCOB Natura 2000 (2012b). *Zone de protection spéciale : Extrait Atlas cartographique*. Document d'objectifs du site Natura 2000 FR9112004 « Hautes Garrigues du Montpelliérais ». Communauté des Communes du Grand Pic Saint-Loup, Saint-Mathieu-de-Trévières, cartes 5-10.
- DOCOB Natura 2000 (2012c). *Site d'Intérêt Communautaire : Synthèse*. Document d'objectifs du site Natura 2000 FR9101389 « Pic Saint Loup ». Communauté des Communes du Grand Pic Saint-Loup, Saint-Mathieu-de-Trévières, pp. 10-12.
- Langlois C. (2005). *Planète Terre. Les Poacées (Graminées), nourriture des dinosaures au Crétacé*. ENS Lyon.
- Territoires & Paysages (2014). *Diagnostic Paysager Viticole, Phase 1. Adhésion à la charte internationale de Fontevraud*. Communauté de Communes du Grand Pic St-Loup, 177 p.
- Ubaud J. (2012). *Les chênes*. Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault (SHHNH), Montpellier, 4 p.

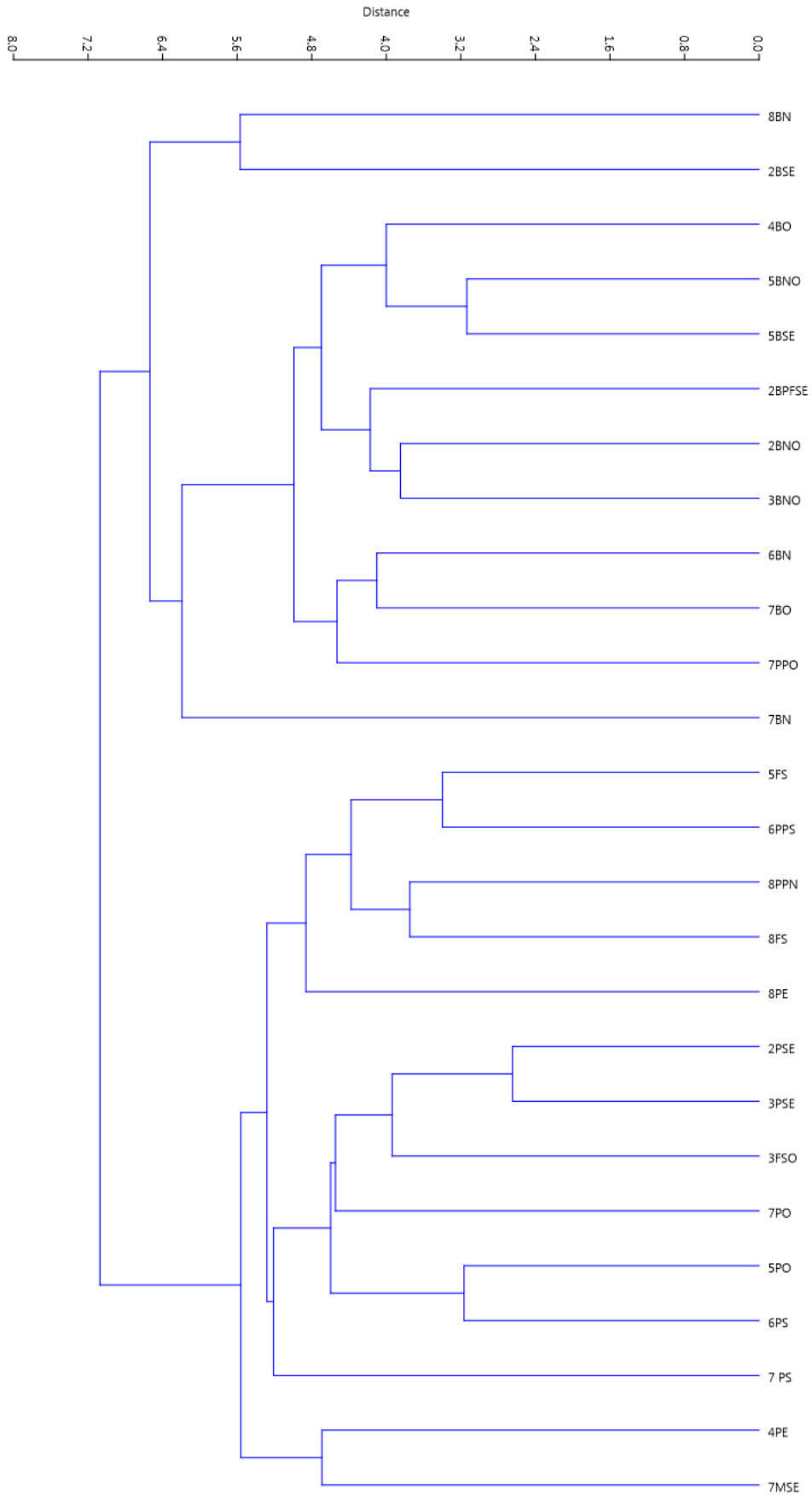
ANNEXE 1. Crédits des données récoltées et utilisées dans le cadre de ce travail

<i>Nom de la structure</i>	<i>Sigle</i>	<i>Données fournies</i>
Communauté de Communes du Grand Pic Saint-Loup	CCGPSL	Dates construction, données agro-pédologiques, géologie, risques d'inondation, hydrographie (projet PPRI)
Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive	CEFE	Incendies
Service Départemental d'Incendie et de Secours	SDIS	Incendies
Office National des Forêts	ONF	Incendies
Service Régional d'Archéologie	SRA	BD patriarche
Association Climatologique de l'Hérault	ACH	Climatologie
Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement	DREAL	Sites classés et inscrits à la loi des paysages
Institut Géographique National	IGN	BDOrtho et BDAlti, images aériennes
Direction Régionale des Affaires Culturelles	DRAC	Patrimoine culturel
Inventaire Forestier National	IFN-IGN	Inventaire forestier
Etudiants ORPAL 2015		Relevés phytosociologiques

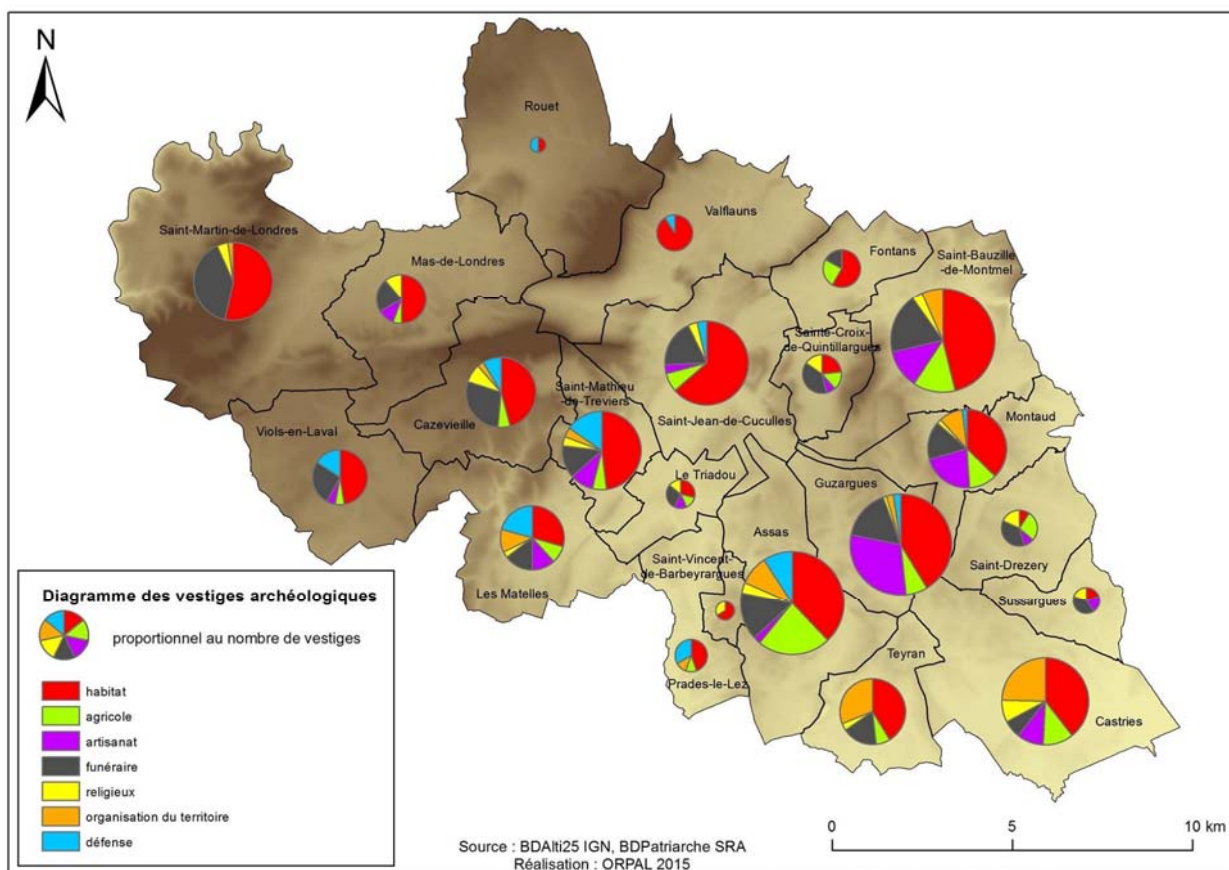
ANNEXE 2. Taxons trouvés autour des mares avec au moins 3 occurrences

Nom	Code	Nom	Code
<i>Acer monspessulanum</i> (Sapindaceae)	acmo	<i>Ononis minutissima</i> (Fabaceae)	onmi
Apiacées indét.	APIA	<i>Phillyrea media</i> (Oleaceae)	phme
<i>Arum italicum</i> (Araceae)	arit	<i>Phlomis lychnitis</i> (Lamiaceae)	phly
<i>Asparagus acutifolius</i> (Asparagaceae)	asac	<i>Pistacia terebinthus</i> (Anacardiaceae)	pite
Astéracées indét.	ASTE	<i>Plantago lanceolata</i> (Plantaginaceae)	plla
Bryophytes indét.	BRYO	Poacées indét.	POAC
<i>Buxus sempervirens</i> (Buxaceae)	buse	<i>Potentilla neumanniana</i> (Rosaceae)	pone
<i>Cardamine hirsuta</i> (Brassicaceae)	cahi	<i>Poterium sanguisorba</i> (Rosaceae)	posa
<i>Carduus</i> groupe	cagp	<i>Prunus spinosa</i> (Rosaceae)	prsp
<i>Carex</i> sp. (Cyperaceae)	casp	<i>Pyrus spinosa</i> (Rosaceae)	pysp
Caryophyllacées indét.	CARYO	<i>Quercus ilex</i> (Fagaceae)	quil
<i>Daucus carota</i> (Apiaceae)	daca	<i>Quercus pubescens</i> (Fagaceae)	qupu
<i>Eryngium campestre</i> (Apiaceae)	erca	<i>Ranunculus</i> sp. (Ranunculaceae)	rasp
<i>Euphorbia characias</i> (Euphorbiaceae)	euca	<i>Rosa canina</i> (Rosaceae)	roca
<i>Euphorbia nicaeensis</i> (Euphorbiaceae)	euni	<i>Rosa sempervirens</i> (Rosaceae)	rose
Fabacées indét.	FABA	<i>Rubia peregrina</i> (Rubiaceae)	rupe
<i>Galium</i> sp. (Rubiaceae)	gasp	<i>Rubus ulmifolius</i> (Rosaceae)	ruul
<i>Genista scorpius</i> (Fabaceae)	gesc	<i>Ruscus aculeatus</i> (Asparagaceae)	ruac
<i>Geranium robertianum</i> (Geraniaceae)	gero	<i>Salvia verbenaca</i> (Lamiaceae)	save
<i>Geranium rotundifolium</i> (Geraniaceae)	gerot	<i>Scilla autumnalis</i> (Asparagaceae)	scau
<i>Hedera helix</i> (Araliaceae)	hehe	<i>Sedum sediforme</i> (Crassulaceae)	sese
<i>Juniperus oxycedrus</i> (Cupressaceae)	juox	<i>Smilax aspera</i> (Smilacaceae)	smas
<i>Lathyrus</i> sp. (Fabaceae)	lasp	<i>Teucrium chamaedrys</i> (Lamiaceae)	tech
<i>Lavandula latifolia</i> (Lamiaceae)	lala	<i>Thymus vulgaris</i> (Lamiaceae)	thvu
<i>Medicago</i> sp. (Fabaceae)	mesp		

ANNEXE 3. Dendrogramme des différents types de milieux autour des mares



ANNEXE 4. Diversité des vestiges archéologiques de la région du Pic-Saint-Loup



DYNAMIQUE POST-INCENDIE DE PINEDES A *PINUS HALEPENSIS* DE LA REGION DE MONTPELLIER

Zoé Chevallier¹, Maurine Hammel², Perle Letellier³

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France

¹ zoe.chevallier@etud.univ-montp2.fr, ² maurine.hammel@etud.univ-montp2.fr,
³ perle.letellier@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Benoît Brossier

Citation : Chevallier Z., Hammel M. & Letellier P. (2015). Dynamique post-incendie des pinèdes à *Pinus halepensis* de la région de Montpellier. *Orpalm Synthesis*, 8 : 21-31.

Résumé : Certaines espèces végétales de la région méditerranéenne ont adapté leurs stratégies de reproduction aux importantes fréquences d'incendies. C'est le cas du Pin d'Alep, espèce pyrophile fortement représentée dans nos écosystèmes, qui nous a permis, via la mise en place de structures d'âges d'individus de trois sites, de dater les feux en 1989 et 2010. La dynamique post-incendie de ces espaces rend compte de la variation des stades de succession écologique dans les différents sites selon l'intensité, l'intervalle de temps entre deux feux, le type de sol et la quantité de nécromasse induite.

Mots clés : Feu, interdatation, cerne de croissance, dendrochronologie, succession écologique

Abstract: *Post-fire dynamics of Pinus halepensis woods in Montpellier region.* Plant species in the Mediterranean region have adapted their reproductive strategies to highly frequent fires. This is the case for the Aleppo pine, a commonly represented pyrophyte in our ecosystems, which has been used to date fires in 1989 and 2010 by establishing the age structure of individuals within three populations. The post-fire dynamics reflects the variation of ecological succession depending on fire intensity and interval, nature of soil and woody debris quantity.

Keywords: Fire, cross-dating, tree rings, dendrochronology, ecological succession

La région méditerranéenne est connue pour son climat caractéristique : chaud et sec en été, doux et humide en hiver, ainsi que pour ses écosystèmes particuliers. L'aridité et l'abondance de végétation sont propices aux départs de feux (Shang et al., 2004). Bien qu'ils soient néfastes pour les activités humaines, les feux jouent un rôle majeur dans la dynamique et la structure des écosystèmes, et plus précisément au niveau de la succession écologique. Du fait de leur fréquence, de nombreuses espèces pyrophiles prennent

place dans les écosystèmes méditerranéens (Fournier et al., 2012). C'est le cas du pin d'Alep (*Pinus halepensis*), espèce résineuse presque entièrement dépendante de cette perturbation dans son processus de dissémination. Le feu engendre l'ouverture du milieu et une dispersion favorisée des cônes (Tapias et al., 2001). La grande capacité de régénération du pin d'Alep lui confère alors un rôle important dans la reconquête forestière de milieux dégradés. Ces mêmes écosystèmes sont propices à l'installation d'espèces secondaires, telles que *Quercus ilex*

ou *Quercus coccifera* dans la décennie suivant un feu (Retana et al., 2002), renseignant sur la dynamique écologique du milieu.

A l'aide des cicatrices de feu présentes sur l'espèce étudiée, mais également grâce à l'analyse détaillée des cernes de croissance du bois, il est possible d'estimer l'intensité (Fournier et al., 2013) et l'aire de propagation d'un incendie et de le dater. La mise en place d'un cerne de croissance se fait en plusieurs phases : une phase de croissance printanière (bois initial), une phase de repos durant la période estivale et une reprise de croissance à l'automne (bois final) qui dure jusqu'à l'hiver (De Luis et al., 2009). La taille du cerne donne donc des indications sur les précipitations, les températures et les éventuelles perturbations intervenues durant les phases de croissance initiale ou finale.

Sur la base d'une étude dendrochronologique, l'étude présentée a pour but de dater des événements de feux, en se focalisant principalement sur la dynamique écologique du couvert végétal. Avec l'aide de la base de données Prométhée, les dates des événements de feux sont précisées, afin d'établir les étapes de la succession écologique.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

La zone d'étude se situe au nord de Montpellier, sur les communes de Guzargues, Assas, Saint-Bauzille-de-Montmel et Montaud (Fig. 1). Le paysage de cette zone est marqué par le passage de feux qui sont de plus en plus fréquents (recensés dans la base de données Prométhée depuis 42 ans). Dans cette région, l'activité agricole a considérablement diminué ces dernières décennies (<http://www.herault.gouv.fr>). Une terre à l'abandon favorise le développement de garrigues et de bosquets, et par conséquent présente plus de carburant qu'une terre cultivée. La colonisation de l'écosystème par les friches peut ainsi augmenter les chances de départ de feux (Fournier et al., 2012). Trois sites d'échantillonnage distincts ont été sélectionnés préalablement par les

encadrants en fonction de passages unique ou multiples de feux :

- site 1 (43°46'02.8"N, 3°56'47.8"E) : premier et deuxième feu ;
- site 2 (43°42'10.4"N, 3°57'09.7"E) : premier feu ;
- site 3 (43°42'35.4"N, 3°54'54.9"E) : deuxième feu.

Seules ces informations étaient connues : les dates de feux ne nous ont pas été données. Sur chaque site, un quadrat de 10 x 10 m (100 m²) a été délimité et positionné dans un espace représentatif.

2- Travail de terrain

Les relevés de terrain ont été effectués du 21 au 23 janvier 2015, et le même protocole a été suivi sur les trois sites. L'échantillonnage est proportionnel au temps de travail imparti. Concernant les relevés de données écologiques, un inventaire botanique et une mesure de la hauteur de la strate et de la densité en bois morts ont été réalisés. Pour ce faire, cinq quadrats de 1 m² ont été délimités à l'intérieur des 100 m² étudiés (Fig. 2). Toutes les espèces végétales présentes ont été identifiées avec l'aide des encadrants et de la Flore méditerranéenne (Tison et al., 2014). Une seconde prospection faite sur l'ensemble des 100 m² a permis de relever les espèces présentes uniquement hors des cinq quadrats de référence, apportant une connaissance globale du site. Les proportions d'espèces recensées sur 100 m² ont été ramenées à l'hectare. La hauteur des strates a ensuite été estimée par cinq mesures dans chaque quadrat, à l'aide d'un mètre rigide et d'un clinomètre pour la strate arborée. Au niveau de l'échantillonnage dendrochronologique, des galettes ont été prélevées sur certains arbres morts dans les sites 1 et 3, tandis que des carottes ont été réalisées sur le site 2, dépourvu de nécromasse (Fig. 2). Les carottages ont été uniquement effectués sur six arbres, choisis aléatoirement, en fonction du temps dont nous disposions (deux arbres prélevés par personne).

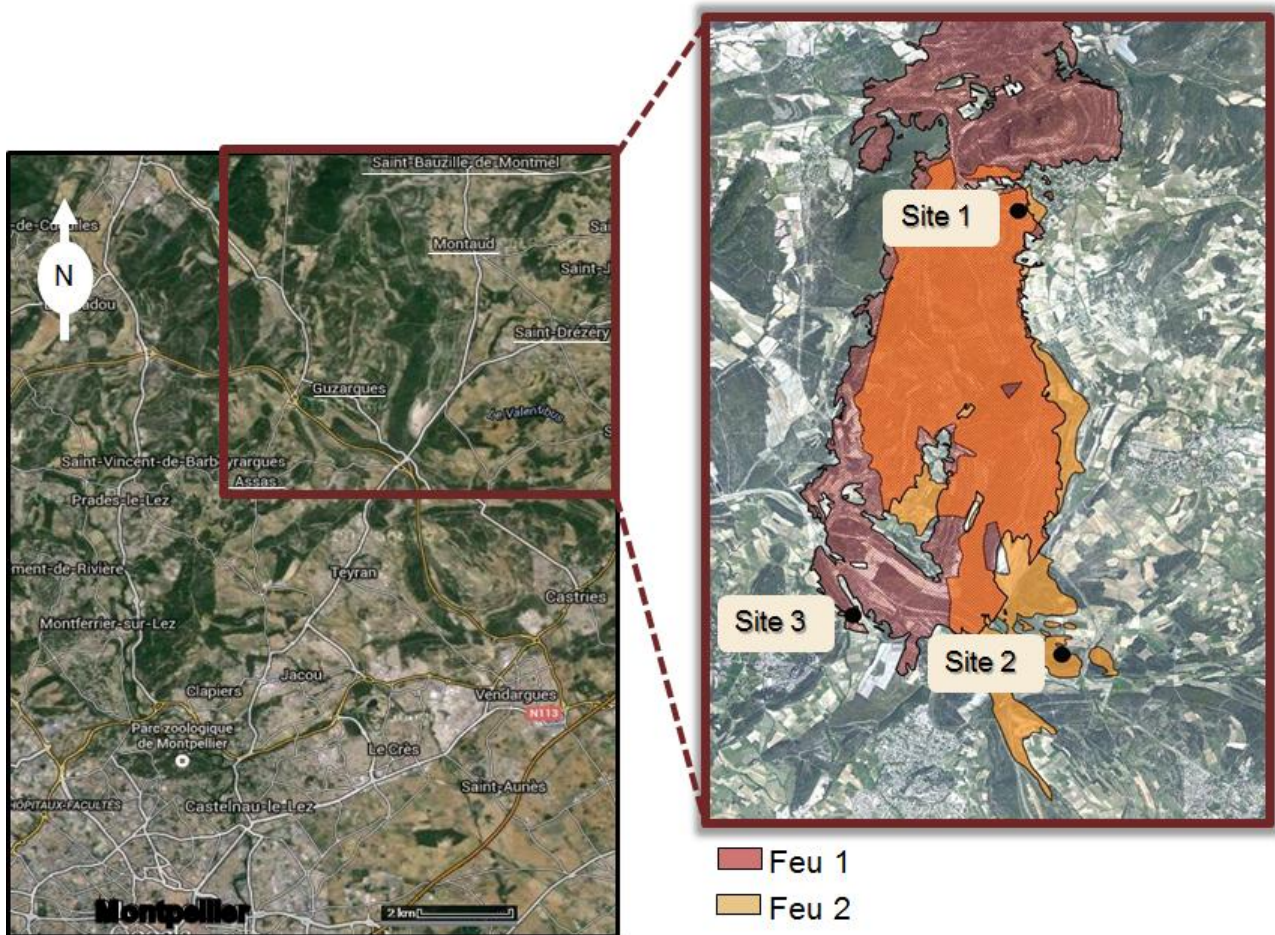


Figure 1. Emplacement de la zone et des trois sites d'étude et superficie des deux feux (Ferrier et al., 2015)

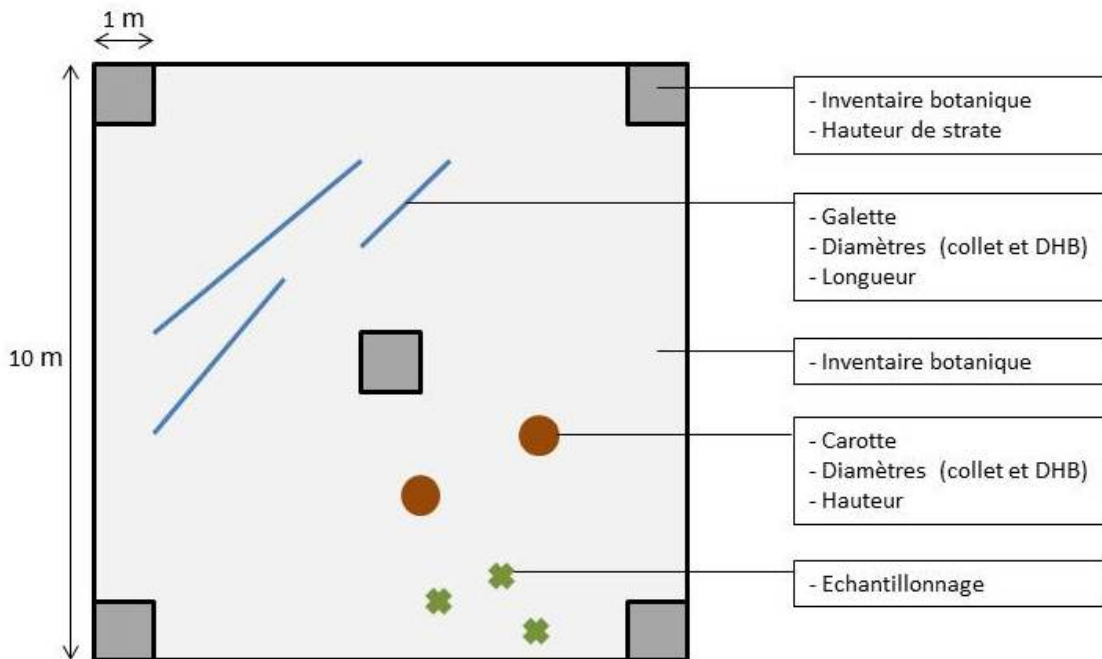


Figure 2. Schéma récapitulatif des étapes de récolte de données sur le terrain. Site de 100 m² (carré gris clair), quadrats (carrés gris foncé), débris ligneux grossiers ou tronc morts (traits bleus), pins vivants en 2014 (cercles marrons), régénérations (croix vertes)

Seuls les arbres présentant un diamètre supérieur à 7 cm au collet ont été pris en compte ; ceux dont le diamètre est plus petit n'apportent pas d'informations supplémentaires et représentent une charge de travail trop importante. Sur chaque pin mort correspondant, deux mesures de diamètre ont été prises : une au collet, quand cela était possible et une à hauteur de poitrine d'homme (1,30 m) (Fig. 2). La longueur des arbres a également été notée. Les galettes ont été prélevées à l'aide d'une tronçonneuse (Sthill MS261) sur une dizaine d'individus morts des sites 1 et 3, le site 2 étant exempt de nécromasse.

Le carottage pour le site 2 a été fait à l'aide de Tarière de Pressler (Polge, 1971). Pour chacun des arbres échantillonnés, 2 carottes ont été prélevées au ras du sol pour obtenir un maximum de cernes, avec un angle de 120° entre les deux, afin de prendre en compte les éventuelles modifications morphologiques dues aux contraintes physiques naturelles du milieu (Fig. 2). Le nombre de régénérations trouvées dans les 100 m² de la zone d'étude a été noté, et cinq d'entre elles ont été échantillonnées (Fig. 2). Une des régénérations du site 1 a été endommagée durant le transport rendant le comptage du nombre de cernes impossible.

3- Travail de laboratoire

La première étape du travail est la préparation des échantillons récoltés. Ils sont séchés, puis les carottes sont fixées à l'aide de pistolets à colle sur des plaquettes de bois sillonnées. Ils sont ensuite poncés à l'aide d'une ponceuse à bande (Scheppach bsm 2010) en utilisant plusieurs papiers à grains de 40 à 600 g/cm² pour parvenir à une bonne lecture des cernes de croissance. Un cerne n'étant pas de la même épaisseur sur toute la circonférence de la galette, il est nécessaire de pouvoir obtenir un minimum de deux rayons à 120° de distance, afin de s'assurer d'un comptage identique. Le ponçage doit donc permettre une bonne lisibilité selon ces critères. Pour effectuer ces manipulations, un équipement de sécurité complet (masques, gants, blouse, lunettes, casque antibruit) est requis.

4- Analyse des données

Pour la partie concernant les mesures, plusieurs étapes sont nécessaires dans la détermination du nombre de cernes de croissance permettant d'établir la structure d'âge des arbres et des régénérations échantillonnés.

Le pointage sous loupe binoculaire (Leica MZ6) est la première étape de mesure. Il permet de déterminer l'âge des individus à l'aide d'un code basé sur un système de points : un point pour les décennies et deux points pour les demi-siècles. L'identification des cernes caractéristiques (largeur, canaux résinifères, cernes manquants) permet de s'assurer que le nombre de cernes comptés sur les deux rayons d'un même échantillon est similaire. Au sein d'une population, il est également possible de corrélérer la particularité de certains cernes avec une année caractéristique, car leur morphologie varie en réponse à des conditions environnementales exceptionnelles (climat, topographie, perturbation) (Schweingruber et al., 1990).

Le carottage est une méthode efficace d'observation des cernes, mais très souvent, la moelle centrale n'est pas atteinte et le nombre de cernes en est alors sous-estimé. La méthode de Duncan et al. (1989) a été utilisée pour estimer le nombre de cernes manquants grâce à la formule :

$$r = [(L^2/8h) + (h/2)]$$

où r représente le rayon entre le dernier cerne visible et le centre, L la longueur et h la hauteur de l'arc de cercle correspondant au dernier cerne visible. La valeur de r/X , où X représente la largeur moyenne du cerne calculé à partir des trois cernes précédant le dernier, donne une estimation du nombre de cernes manquants.

La largeur de chacun des cernes est ensuite mesurée à l'aide de tables de mesure "LinTab 5 et 6" reliées par un ordinateur au logiciel "TSAP-Win (4.69 e)". Pour chaque individu, ce logiciel permet de tracer une ou plusieurs courbes de croissance, puis la moyenne de celles-ci donne une courbe d'accroissement unique. La taille des cernes manquants est

fixée à un, afin d'avoir l'âge correspondant pour les arbres concernés.

Le comptage des cernes donne l'âge de l'individu, mais ne renseigne pas sur les années de germination et de mort de l'arbre. Il est donc nécessaire de se baser sur des individus vivants, pour lesquels l'âge et la date de prélèvement, correspondant au premier cerne, sont renseignés. A partir de la courbe d'accroissement de l'échantillon vivant, il est donc possible de replacer les arbres morts dans la chronologie. C'est le principe de l'interdatation, qui à partir d'une chronologie fixe permet l'agencement des séries d'individus dans le temps. Le pointage des échantillons des sites 1 et 3 a été effectué sur chronologie "flottante", l'année de mort n'étant pas connue. Les mesures prises sur les échantillons du site 2 constituent, quant à elles, la chronologie de référence, car le cerne le plus externe correspond à l'année 2014. A partir de cette chronologie fixe et des courbes de croissance, les échantillons des sites ayant subi le deuxième feu ont donc été resitués dans le temps.

La nécromasse a été quantifiée à partir des données relevées sur les débris ligneux grossiers (DLG) des sites 1 et 3, comme indiqué précédemment. Pour ce faire, la formule utilisée est la suivante :

$$V_{DLG} = [(S_0 + S_1) / 2] * L$$

où V_{DLG} représente le volume de débris ligneux (m^3), S_0 et S_1 les aires au collet et au sommet (m^2) et L la longueur du débris inclus dans le quadrat (m) (Motta et al., 2006 ; Fournier et al., 2012). Pour tous les arbres, l'aire au sommet (S_1) a été calculée à partir d'un diamètre de 2 cm. Le volume moyen de nécromasse (V_{DLG}) correspondant aux 100 m^2 est ensuite ramené à l'hectare afin de pouvoir comparer les valeurs obtenues avec la littérature.

RESULTATS

1- Structure d'âge

La Figure 3 présente le profil de structure d'âge des pins échantillonnés sur les trois sites. L'ensemble des arbres du site 1 sont

âgés de 20 ans, leur croissance débutant en 1990 et finissant en 2010. Les arbres du site 2 ont un début de croissance très variable d'un individu à l'autre (de 1993 à 2004). Les arbres du site 3 présentent également divers profils de début de croissance, mais finissant tous en 2010. Sur deux individus de ce même site, une cicatrice de feu correspondant à l'année 1976 est observée. Sur la totalité des arbres morts étudiés, le dernier cerne pointé ne possède pas de bois final. Les régénérations qui sont prélevées sur les sites 1 et 3 ont un premier cerne de croissance daté de l'année 2010, et sont donc âgées de quatre ans, à l'exception d'une, datée de 2009. La croissance des régénérations du site 2 débute entre 2009 et 2014 selon les individus.

2- Diversité écologique et nécromasse

L'ensemble des données récoltées sur le terrain sont reprises sous forme d'un tableau récapitulatif (Table 1) et d'une figure représentant une vision d'ensemble des composantes des différents sites (Fig. 4). La Table 1 permet une comparaison quantitative de la nécromasse, de la biomasse (régénérations et pins vivants) et de la hauteur moyenne de strates sur les trois sites. Un certain nombre d'individus morts sont répertoriés sur le site 1 (27) et le site 3 (8), tandis que le site 2 ne présente que des individus vivants (21). Le site 1 présente une nécromasse dense de 34 $m^3 \cdot ha^{-1}$, les pins recensés étant le plus souvent contenus en totalité dans le quadrat de référence (100 m^2) (Fig. 4). Néanmoins, la nécromasse la plus élevée est contenue dans le site 3, avec une valeur de 50 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (site 2 : proche de 0 $m^3 \cdot ha^{-1}$). L'analyse visuelle de la Figure 4 permet de qualifier le site 3 de milieu ouvert, car seulement six pins sont contenus en quasi-totalité dans les limites du site. Le site 1 présente une répartition éparse de très jeunes pins, avec 11 régénérations répertoriées. Sur le site 2, 7 sont recensées, tandis que le site 3 en compte 63, dont la répartition est dense du fait de leur grand nombre (Fig. 4). Le diamètre moyen au collet le plus élevé est pour les pins du site 3 (14,7 cm), mais les différences observées ne sont pas

significatives (Test t de Student : $p > 0,05$). La strate herbacée est significativement plus haute dans le site 2, avec une moyenne de 63.0 cm, que dans les sites 1 (36.0 cm) et 3 (19,8 cm) (Test t : p_{12} et $p_{23} < 0,05$; $p_{13} =$

0,08). Seul le site 2 a une strate arborée, qui atteint en moyenne 6,2 m. Enfin, la richesse spécifique, sans prendre en compte le pin d'Alep, est similaire pour les 3 sites.

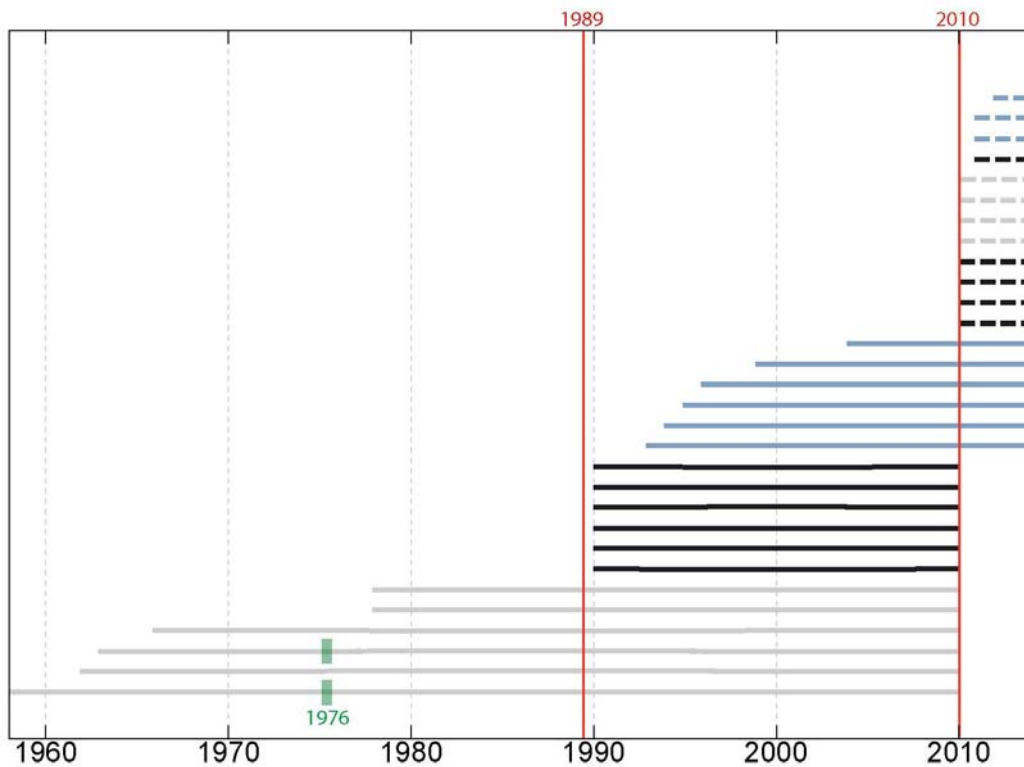


Figure 3. Profil de structure d'âge des pins échantillonnés : pins morts ou vivants (traits pleins), régénérations (traits pointillés), site 1 (noir), site 2 (bleu), site 3 (gris), cicatrices de feu (traits verts), dates de feu (traits rouges)

Table 1. Synthèse des données récoltées en fonction des sites

	Site 1	Site 2	Site 3
Nombre d'arbres morts	27	0	8
Nombre d'arbres vivants	0	21	0
Nombre de régénérations	11	8	63
Diamètre moyen au collet (cm)	10,6 ± 3,0	13,8 ± 4,4	14,7 ± 6,6
Volume de nécromasse (m ³ .ha ⁻¹)	33,5	proche de 0	50,0
Hauteur strate herbacée (cm)	36,0 ± 29,0	63,0 ± 28,5	19,8 ± 13,7
Hauteur strate arborée (cm)	–	620	–
Richesse spécifique (hors pin)	20	25	21

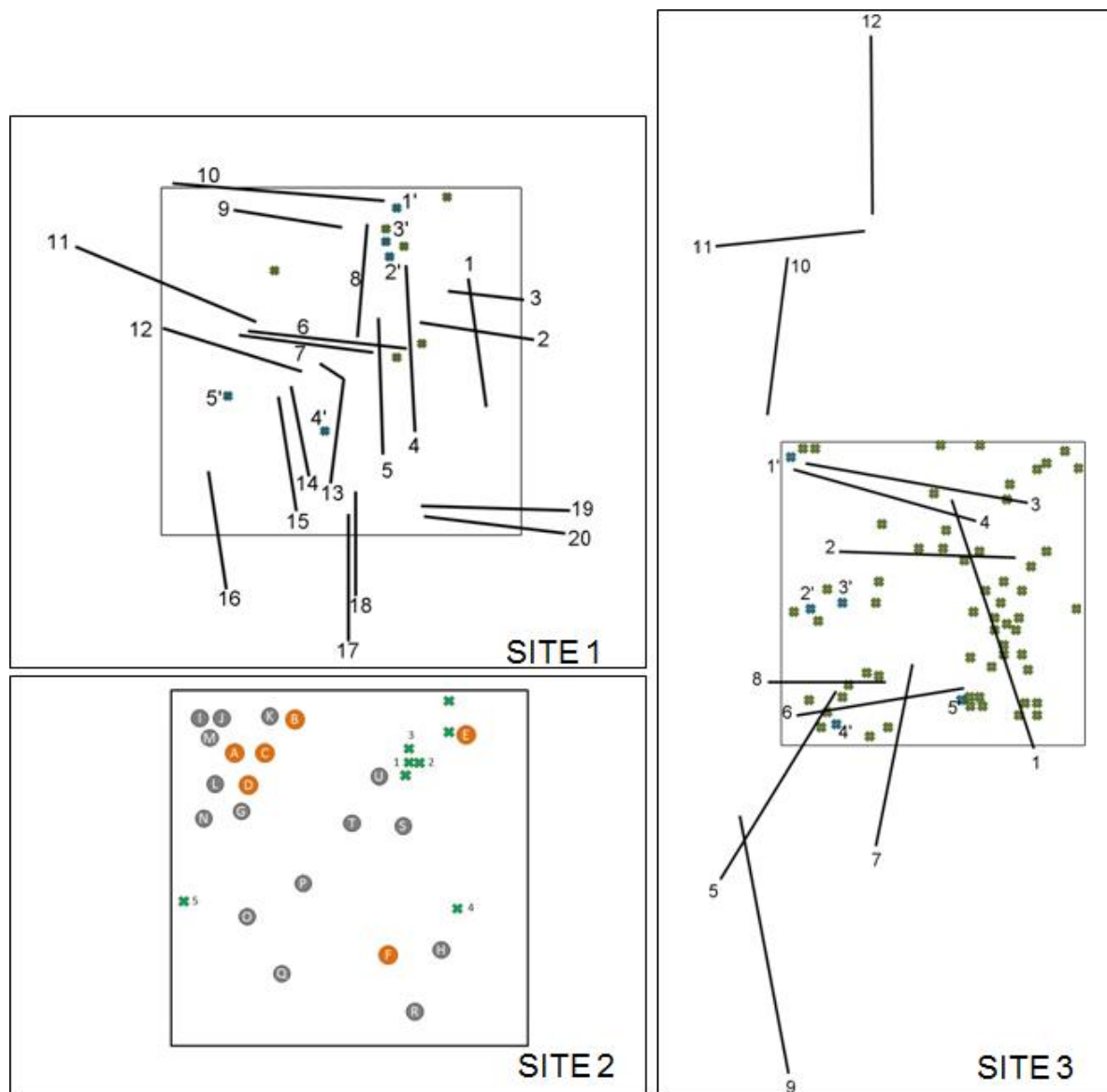


Figure 4. Vue d'ensemble des sites après mise en œuvre du protocole. Limite de la zone (carré), débris ligneux ou pins morts (traits noirs), pins vivants (cercles : oranges pour les pins carottés et gris pour les autres), régénérations (croix : bleues pour les régénérations échantillonnées et vertes pour les autres)

3- Couvert végétal

Sur le site 1, l'inventaire du couvert végétal indique la présence de vingt espèces différentes, mais la plupart sont que très peu représentées (Table 2). Les espèces majeures sont *Brachypodium retusum*, *Cistus monspeliensis* et *Quercus coccifera*. La strate basse représente plus de la moitié des espèces répertoriées sur ce site, soit 54,8 % contre 45,2 % pour la strate arbustive. Le site 2 présente une plus grande richesse (25 espèces), mais se caractérise par deux espèces majeures : *Rosmarinus officinalis* et *Phillyrea*

angustifolia. La strate intermédiaire, composée principalement d'espèces arbustives, y représente 61,3 % du quadrat. Enfin, le site 3, qui comprend 22 espèces différentes, est constitué majoritairement par la strate basse (69,7 %) et la strate intermédiaire (29,6 %). Les espèces majeures y sont *B. retusum* et *Carex* sp. pour la strate herbacée, et *R. officinalis*, *Aphyllanthes monspeliensis* et *Lotus dorycnium* (= *Dorycnium pentaphyllum*) pour la strate arbustive.

Table 2. Recensement et quantification des différentes espèces présentes sur les trois sites

		Site 1	Site 2	Site 3
	Site 1	20		
	Site 2	11	25	
	Site 3	13	13	21
Nombres d'espèces communes	Strate herbacée	<i>Brachypodium retusum</i>	<i>Brachypodium retusum</i>	<i>Brachypodium retusum</i>
				<i>Carex</i> sp.
	Strate arbustive	<i>Cistus monspeliensis</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>	<i>Lotus dorycnium</i>
			<i>Phillyrea angustifolia</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>
		<i>Quercus coccifera</i>		<i>Aphyllanthes monspeliensis</i>
Présence (fréquence à l'hectare)	Strate basse	1300	1252	2182
	Strate intermédiaire	1072	2044	928
	Strate haute	0	40	20
Pourcentage	Strate basse	54,8	37,5	69,7
	Strate intermédiaire	45,2	61,3	29,6
	Strate haute	0,0	1,2	0,6

DISCUSSION

1- Datation des feux

Le pin d'Alep étant une espèce pyrophile et par conséquent pionnière des régions méditerranéennes, le début de la croissance d'une population à une année donnée peut être un indicateur du passage d'un feu. De la même manière, la mort simultanée de nombreux individus d'une population permet également de situer un événement de feu dans le temps.

Ce processus est observé sur le site 1, où tous les arbres germent en 1990 et meurent en 2010, et sur le site 3, où tous meurent également en 2010. De plus, le site 2 possède exclusivement des arbres vivants qui présentent des dates de germination postérieures à 1990. Le nombre moyen de régénérations du site 1 et la nécromasse inférieure à celle du site 3 sont des indicateurs d'un laps de temps court entre deux feux subis (Fournier et al., 2012). Le dernier cerne des pins des sites 1 et 3, qui ne présente pas de bois final, indique que le feu aurait eu lieu dans l'été, avant la formation de ce bois. Enfin, la comparaison des volumes de

nécromasse trouvés sur les sites 1 et 3 avec ceux de Fournier et al. (2012) indique un passage de feu récent sur les sites concernés. Les informations précédentes permettent ainsi de dater les événements de feux à 1989 pour le premier feu et à l'été 2010 pour le deuxième. Ces estimations sont validées par la base de données « Prométhée », qui date les feux au 29 juillet 1989 et 31 août 2010.

La maturité des pins étant atteinte entre 15 et 20 ans (Thanos & Dask, 2000), le passage d'un feu sur de jeunes pins induit une dissémination par pyrochorie très faible (Màrcia et al., 2006b). Dans tous les cas, les jeunes pousses de pin d'Alep se développent rapidement dans des milieux ouverts où le sol est fertilisé par les cendres. Ainsi, l'année suivant un épisode de feu, un certain nombre de régénérations est attendu (Thanos et al., 1996). Le site 3, ayant subi un feu en 2010, présente un très grand nombre de ces jeunes pousses, qui indique que les pins présents étaient matures (Fournier et al., 2013). Sur le site 2, le feu ayant eu lieu en 1989, la succession écologique est déjà relativement avancée et la cohorte de pins, âgés de 10 à 20 ans, représentent les pousses ayant germées après le premier feu. Le site 1, qui témoigne

du passage des deux feux, présente 11 régénérations seulement. Ce faible nombre peut donc être dû à la jeunesse des pins lors du dernier incendie, et à une intensité de feu plus faible que celle subie par le site 3.

Les régénérations des sites 1 et 3 devraient entamer leur croissance l'année après feu. Néanmoins, leur germination a commencé la même année que le deuxième feu, en 2010. D'après les données météorologiques de cette même année (<http://www.meteofrance.com>), l'automne a été doux et le feu ayant eu lieu en août, les régénérations ont pu commencer à croître entre août et octobre. En 2009 et 2010, l'apparition des boutons floraux mâles a été observée exceptionnellement en décembre, avec 1 à 2 mois d'avance par rapport à la normale (Vennetier et al., 2001). C'est un phénomène phénologique exceptionnel, qui pourrait expliquer la croissance anticipée des régénérations cette année-là.

2- Couvert végétal

L'inventaire botanique effectué sur chacun des sites ne présente pas de différence significative en termes de richesse spécifique. Cependant, la variation des hauteurs de strate et les différentes espèces dominantes propres à chaque site révèlent des stades de succession écologique différents. La hauteur de strate du site 2 est supérieure à celles des deux autres sites. D'après la documentation et à partir du type biologique des espèces végétales recensées, l'appartenance à la strate herbacée ou arbustive est déterminée. Les sites 1 et 3, touchés par le dernier feu, sont majoritairement constitués par la strate basse. Cette proportion importante d'espèces herbacées correspond à un stade précoce de la succession écologique. Il existe tout de même une différence notable entre les trois sites au niveau des espèces présentes. Chaque site possède une flore spécifique, avec comme espèces majoritaires pour le site 1, *Brachypodium retusum*, *Cistus monspeliensis* et *Quercus coccifera*, connus pour leur faible besoin en eau et nutriments (Tison et al., 2014). Sur le site 3, on retrouve pour la strate herbacée, *B. retusum* et *Carex* sp. La strate arbustive est représentée par un grand nombre

de *Lotus dorycnium*, mais également par quelques *Rosmarinus officinalis*, qui affectionnent les sols marneux. La présence de cette espèce indique le début d'une succession, avec l'arrivée d'espèces secondaires. Les sites 1 et 3 semblent être au même stade de la succession écologique, bien que les espèces recensées soient différentes. Ceci est dû à la nature du sol (marnes calcaires), mais également à l'apport nutritif de celui-ci vis-à-vis de la quantité de nécromasse présente. Ainsi, le site 3 présente un sol plus riche que le site 1. Sur le site 2, qui semble être à un stade plus avancé de la succession écologique, la strate arbustive a fortement colonisé le milieu. L'abondance de *Rosmarinus officinalis* bloque probablement l'accès à la lumière pour la strate herbacée, très peu développée. Au niveau de la strate arbustive, on note également une forte présence de *Phillyrea angustifolia*, qui est fréquemment observée dans les garrigues. Enfin, il existe dans ce site une strate arborée majoritairement composée de *Pinus halepensis*. Seul site épargné par le feu de 2010, le site 2 constitue un témoin du rôle de cette espèce dans la datation des feux et la compréhension de la dynamique post-incendie de l'écosystème étudié.

CONCLUSION

La structure d'âge des pins d'Alep échantillonnés sur la zone d'étude a permis de dater deux incendies intervenus dans les trente dernières années, le premier le 29 juillet 1989 et le deuxième le 31 août 2010. La méthode dendrochronologique appliquée a pu être appuyée par la base de données Prométhée, qui recense les incendies depuis plusieurs décennies. La comparaison de l'intensité et de la localisation dans le temps des feux subis par les trois sites nous a permis d'établir des tendances concernant la dynamique post-incendie. En effet, la plupart des espèces recensées sur les sites sont des espèces favorisées par les incendies et l'ouverture du milieu. Ainsi, les principaux événements de recrutement d'espèces au sein de la succession écologique y sont liés. Cependant, le succès de régénération des pins dans le milieu dépend de l'intervalle de temps

entre deux épisodes de feu et de leur intensité, qui influent sur la disponibilité des semences et sur la qualité nutritive associée à l'accumulation de biomasse pendant une période sans feu. L'étude des dynamiques post-incendie pourrait être reconduite en comparant différentes espèces pionnières, notamment le Chêne vert et le Pin d'Alep, qui ont des stratégies de dispersion spécifiques.

La dendrochronologie est un outil permettant la compréhension de l'impact du passage d'un feu dans un écosystème. La limite de cette méthode, déterminée par la longévité des arbres, concerne donc les événements anciens. Néanmoins, elle peut jouer un rôle important dans le contexte actuel de réchauffement climatique, afin de mieux appréhender l'effet d'événements naturels.

RÉFÉRENCES

- Bunn A.G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26 : 115-124.
- Bunn A.G. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28 : 251-258.
- De Luis M., Grisar J., Cufar K. & Raventos J. (2007). Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. *Iawa Journal*, 28: 389-404.
- Duncan R.P. (1989). An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrydium dacrydioides*). *New Zealand Natural Sciences*, 16 : 31-37
- Ferrier M., Negri L. & Passerieux A. (2015). Cartographie de la zone du Pic Saint-Loup. *Orpalm Synthesis*, 8 : 7-18.
- Fournier T.P., Brossier B., Gauthier O. & Carcaillet C. (2012). Post-fire dynamics and spatial heterogeneity of woody debris associated with *Pinus halepensis* in an oak-pine Mediterranean ecosystem. *Ecoscience*, 19 : 356-363.
- Fournier T.P., Battipaglia G. & Brossier B. (2013). Fire-scars and polymodal age-structure provide evidence of fire-events in an Aleppo pine population in southern France. *Dendrochronologia*, 31 : 159-164.
- Lebourgeois F. & Merian P. (2012). *Principe et méthode de la dendrochronologie*. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois.
- Màrcia E., Irama V., Lloret F. & Espelta J.M. (2006b). Recruitment and growth decline in *Pinus halepensis* populations after recurrent wildfires in Catalonia (NE Iberian Peninsula). *Forest Ecology and Management*, 231 : 47-54.
- Motta R., Berretti R., Lingua E. & Piessi P. (2006). Coarse woody debris, forest structure and regeneration in the Valbona Forest Reserve, Paneveggio, Italian Alps. *Forest Ecology and Management*, 235 : 155-163.
- Polge H. (1971). *Quelques conseils pratiques pour l'entretien et l'utilisation des tarières de Pressler*. Class. Oxford 365.5.
- Retana J., Espelta J.M., Habrouk A., Ordonez J.L. & de Sola-Morales F. (2002). Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. *Écoscience*, 9 : 89-97.
- Shang B.Z., He H.S., Crow T.R. & Shifley S.R. (2004). Fuel load reductions and fire risk in central hardwood forests of the United States: A spatial simulation study. *Ecological Modelling*, 180 : 89-102.
- Schweingruber F., Eckstein D., Serre Bachet F., Braker O. (1990). Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8 : 9-38.
- Tapias R., Gil L., Fuentes-Utrilla P., Pardos J.A. (2001). Canopy seed banks in Mediterranean pines of southeastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology*, 89 : 629-638.
- Thanos C.A., Daskalidou E.N. & Nikolaidou S. (1996). Early post-fire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mount Parnis, Greece. *Journal of Vegetation Science*, 7 : 273-280.
- Thanos C.A. & Daskalidou E.N. (2000).

Reproduction in *Pinus halepensis* and *Pinus brutia*. In: G. Neeman & L. Trabaud (eds.), *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuys Publishers, Leiden, pp 79-90.

Tison J.M., Jauzein P. & Michaud H. (2014). *Flore de la France méditerranéenne continentale*. Naturalia publications, Turriers.

Vennetier M., Girard F. & Didier C. (2011). Adaptation phénologique du Pin d'Alep au changement climatique. *Forêt Méditerranéenne*, 32 : 151-167.

ACCUMULATION ET DECOMPOSITION DES FEUILLES DANS LES LITIÈRES DES LAVOGNES DU PIC SAINT-LOUP

Josselin Clo ¹, Sandra Le Bissonais ², Amandine Vallée ³

*Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

¹ josselin.clo@etud.univ-montp2.fr, ² sandra.le-bissonais@etud.univ-montp2.fr,
³ amandine.vallee@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Vincent Girard

Citation : Clo J., Le Bissonais S. & Vallee A. (2015). Accumulation et décomposition des feuilles dans les litières des lavognes du Pic-Saint-Loup. *Orpalm Synthesis*, 8 : 33-42.

Résumé : L'objectif de cette étude est de comprendre les facteurs influençant le dépôt et la décomposition des feuilles au sein des lavognes. Les abondances foliaires ont été comparées entre elles et à la végétation alentours. Les taux de décomposition de feuilles sont mis en relation avec le fonctionnement des lavognes. Ainsi, les feuilles retrouvées dans les lavognes semblent être d'origine locale, bien que certaines lavognes montrent un apport extérieur à leur environnement. Il existe des variations de décomposition entre lavognes, qui semblent provenir des propriétés physico-chimiques de ces dernières. Cette étude met en relief un biais important des études paléoenvironnementales.

Mots clés : Climat méditerranéen, taphonomie, paléobotanique, reconstitution paléoenvironnementale

Abstract: *Accumulation and decomposition of leaves in litters of Pic Saint-Loup pools.* The study aims at understanding the factors that affect deposition and decomposition of leaves. Leaf abundances were compared to each other and with the surrounding vegetation. Leaf decomposition rates are used to explain the functioning of pools. The leaves found in the pools seem to have a local origin, even if some pools show an external input. There are variations of decomposition between pools, which seem to result from the physico-chemical properties of pools. This study evidences important biases in palaeoenvironmental studies.

Keywords: Mediterranean climate, taphonomy, palaeobotany, palaeoenvironmental reconstruction

L'approche taphonomique au sens large correspond à l'ensemble des méthodes analytiques permettant d'identifier et de caractériser les différents phénomènes et agents qui interviennent lors de la formation et de la déformation des accumulations fauniques, floristiques et archéologiques, ainsi que la répercussion sur leurs fossiles (Ellis & Johnson, 2013). Identifier et comprendre les phénomènes qui influent sur la taphonomie

est nécessaire pour la reconstruction des paléoenvironnements (Thiébaud et al., 2010).

La présente étude se base sur des assemblages de feuilles retrouvées dans et autour de huit lavognes de l'Hérault, plus ou moins distantes les unes des autres et entourées d'écosystèmes représentatifs des garrigues montpelliéraines (Collectif des Garrigues, 2013). Ces lavognes sont hétérogènes, aussi bien en termes de caractéristiques géo-climatiques (surface,

profondeur, exposition au soleil, exposition au vent et végétation environnante), qu'en termes de perturbations animales (pâturage) et anthropiques (béton, mur en pierre, passage, etc.). L'intérêt de ces milieux pour la paléobotanique est lié au fait qu'ils représentent des analogues intéressants pour de possibles reconstitutions paléoenvironnementales. Les lavognes ne constituent pas des zones de sédimentation suffisamment anciennes pour que l'on puisse y retrouver de véritables fossiles, mais elles accumulent actuellement de nombreux fragments d'organismes comme du pollen ou des feuilles mortes.

Les feuilles mortes constituent des restes d'origine locale, contrairement à d'autres restes d'origine plus régionale comme le pollen. Le but de l'étude présentée est de déterminer si les assemblages de feuilles retrouvées dans les lavognes sont représentatifs de la végétation environnante, et de mettre ainsi en évidence les biais taphonomiques de cet enregistrement.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

L'étude a été réalisée sur 8 lavognes, réparties sur 3 sites différents. Les lavognes 1 à 6 se trouvent sur le terrain militaire de Viols-en-Laval, la lavogne 7 à Roussières et la lavogne 8 à Caunas, entre Viols-le-Fort et St-Martin-de-Londres. Ces mares temporaires se trouvent sur le causse de Viols-le-Fort, datant du Jurassique supérieur et composé de calcaires issus de dépôts marins. La flore de la zone d'étude est typiquement méditerranéenne, et dominée par trois espèces : *Quercus ilex*, *Q. pubescens* et *Pinus halepensis* (Ferrier et al., 2015).

2- Méthodes de terrain

Les prélèvements de feuilles de litières ont été réalisés les 22 et 23 janvier 2015 (période hivernale), aux abords des huit lavognes. L'emplacement des prélèvements a été déterminé en fonction des différents écosystèmes rencontrés en bordure des

lavognes (prairies, bois, affleurements rocheux), avec deux prélèvements pour chaque milieu (milieu homogène) : un en bord de lavogne du côté d'un milieu et un dans le milieu concerné. Cela représente donc entre 4 à 8 prélèvements par lavogne, en fonction de l'hétérogénéité des milieux. Les prélèvements ont été réalisés sur des quadras de 1 m² (25 cm² en cas de forte abondance de feuilles, notamment en forêt, extrapolés ensuite à 1 m²), dans lesquels toutes les feuilles tombées au sol ont été prélevées.

La hauteur maximale de la végétation pour chaque milieu a été calculée par trigonométrie, en utilisant un triangle rectangle isocèle positionné à hauteur des yeux et pointant au sommet de l'arbre.

3- Méthodes de laboratoire

Les feuilles de litières récoltées ont été nettoyées à l'eau et séchées sur du journal à température ambiante. Elles ont été identifiées grâce aux observations faites sur le terrain, à la phyllothèque de référence du département « Paléoenvironnements » de l'ISEM, et à l'aide de clés d'identification (Laurent & David, 1942). Les feuilles ont été triées par espèce et par milieu. Pour cette étude, les feuilles et les folioles ont été prises en compte au même niveau. Les données quantitatives et qualitatives pour chacun des quadras des huit lavognes sont couplées à des relevés phytosociologiques (Ferrier et al., 2015) et à des données géo-référencées.

Des analyses de raréfaction ont été réalisées sur l'échantillonnage des différentes espèces par milieu et par lavogne. Cette méthode permet de comparer la richesse spécifique des prélèvements, afin de vérifier si l'effort d'échantillonnage a été suffisant. Les courbes de raréfaction ont été réalisées avec le logiciel R, à l'aide du package Vegan version 2.2-1 distribué par CRAN (The Comprehensive R Archive Network).

L'abondance foliaire dans les lavognes a été comparée à celles des milieux alentours, afin de déterminer si une corrélation entre les deux abondances existe. Cette corrélation est calculée via le test de Pearson (Excel). Puis le

pourcentage des feuilles par espèce dans chaque lavogne a été comparé à l'occurrence de cette même espèce dans les relevés phytosociologiques dans le but de comprendre dans quelle mesure l'abondance foliaire est représentative de la végétation environnante.

Les feuilles ont ensuite été classées selon un gradient de dégradation, composé de 5 classes distinctes de décomposition : 0= 0-5%, 1= 5-25%, 2= 25-50%, 3= 50-75%, 4= 75-100% (Fig. 1). Le gradient de décomposition prend principalement en compte la fragmentation des feuilles, la perte de pubescence, la dégradation de la cuticule et la présence d'activité fongique. Ce genre de gradient a déjà été utilisé dans d'autres études, mais dans des contextes différents (Kjaer et al., 2011). Pour cette partie, seules les espèces représentées par plus de 30 feuilles ont été prises en compte, afin d'avoir des résultats statistiquement interprétables.

Des moyennes de décomposition par espèce et par lavogne ont été réalisées afin de vérifier si la décomposition des feuilles varie en fonction de l'espèce considérée ou en fonction de la lavogne. Des tests de Student (via Excel) ont été réalisés sur ces moyennes pour les comparer, l'hypothèse H0 étant qu'il n'y a pas de différence. Enfin, l'abondance foliaire et le taux de décomposition pour chaque lavogne ont été comparés grâce au coefficient de corrélation r , afin de voir si le nombre de feuilles influe sur la décomposition.

RESULTATS

1- Analyses de raréfaction

Les courbes de raréfaction des différents milieux étudiés, par lavogne, atteignent pour la plupart une asymptote horizontale. Pour de rares cas, l'asymptote n'est pas atteinte

(essentiellement dans les prairies). Un exemple de résultat de raréfaction est donné dans la Figure 2, pour la lavogne 5.

2- Représentation des différentes espèces au sein des assemblages foliaires

12378 (± 10) feuilles ont été échantillonnées sur l'ensemble des lavognes (Fig. 3). Ces feuilles sont issues de 14 espèces différentes, dont les représentants majoritaires, en pourcentage du total des feuilles échantillonnées, sont : *Acer monspessulanum* (6,0 %), *Phillyrea media* (3,9 %), *Pistacia terebinthus* (3,4 %), *Quercus ilex* (18,0 %), *Q. pubescens* (63,8 %) et *Rubus ulmifolius* (2,9 %). Les 8 autres espèces échantillonnées sont sous-représentées (< 1%) : *Buxus sempervirens*, *Carduus* sp./*Cirsium* sp., *Celtis australis*, *Hedera helix*, *Medicago* sp., *Ruscus aculeatus*, *Smilax aspera*, ou représentées de manière anecdotique (*Euphorbia* sp.). Dans le comptage, les feuilles de *Carduus* sp. et de *Cirsium* sp. sont regroupées dans un même ensemble, car il s'est avéré difficile de les différencier avec certitude.

Nous avons retenu, pour notre étude, les cinq espèces de Spermatophytes dont le nombre de feuilles échantillonnées était supérieur à 30 (Tab. 1), dans plus de trois sites d'échantillonnage, c'est à dire : *Acer monspessulanum*, *Quercus ilex*, *Q. pubescens*, *Phillyrea media*, *Pistacia terebinthus*. *Rubus ulmifolius* n'a pas été pris en compte dans cette sélection car il ne doit son abondance foliaire relativement importante (2,88% du total des feuilles échantillonnées) qu'à un seul site d'échantillonnage, une ronceraie de la lavogne 8. Enfin, les relevés phytosociologiques n'ayant pas pu être réalisés dans la mare 1, cette dernière ne sera pas analysée.


























	1 (0 % - 5 %)	2 (5 % - 25 %)	3 (25 % - 50 %)	4 (50 % - 75 %)	5 (+ de 75 %)
<i>Quercus pubescens</i> (9cm)					
<i>Quercus ilex</i> (5cm)					
<i>Phillyrea media</i> (3cm)					
<i>Pistacia terebinthus</i> (5cm)					
<i>Acer monspesulanum</i> (5cm)					

Figure 1. Gradient de dégradation des feuilles de litières des principales espèces étudiées

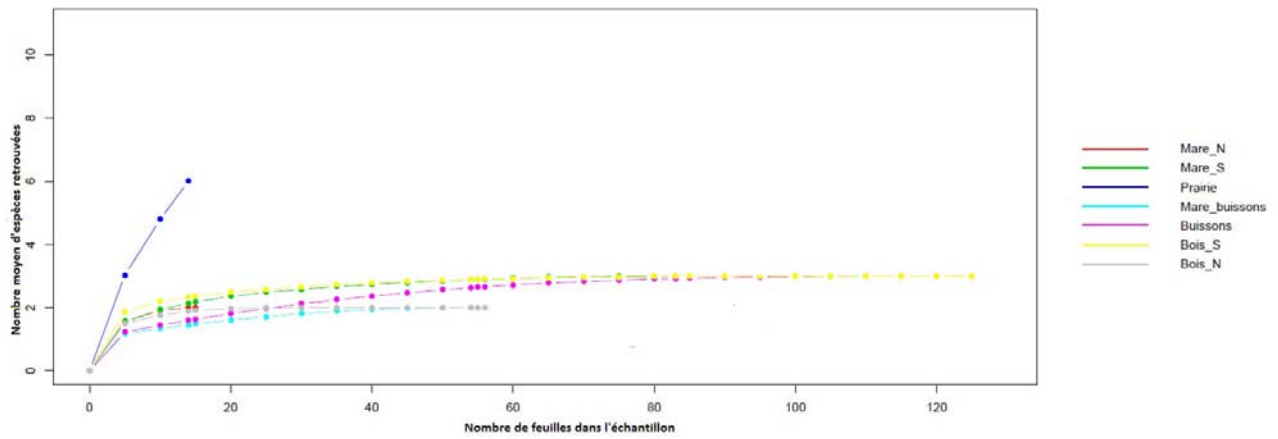


Figure 2. Courbes de raréfaction des prélèvements de la lavogne 5

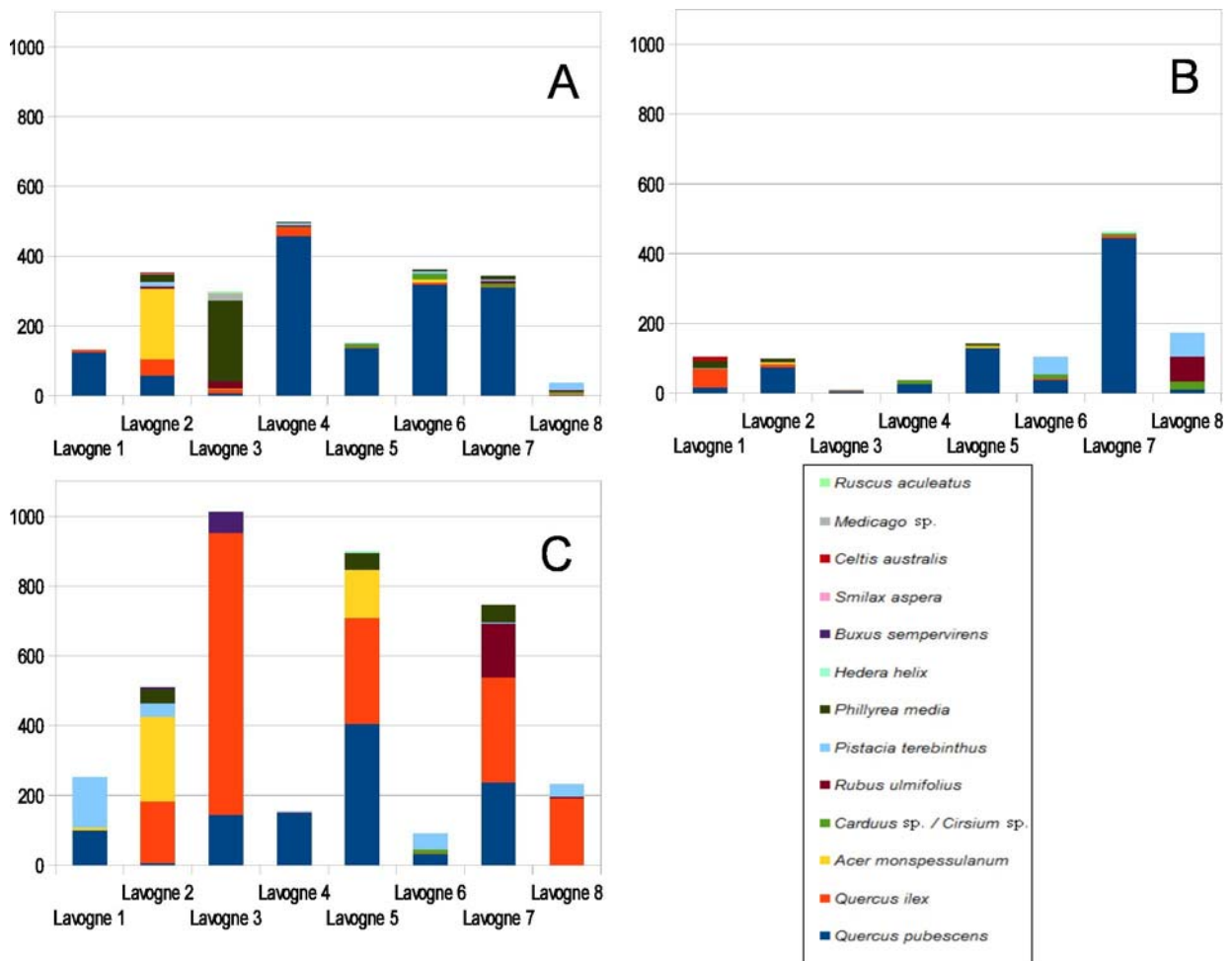


Figure 3. Abondances foliaires des espèces (en nombre de feuilles) par milieu de prélèvement. A. Lavagne ; B. Prairie ; C. Bois.

Table 1. Spermatophytes retrouvées autour des lavognes de Viols-en-Laval et inventaire des feuilles prélevées. Ab, Abondance relative dans les litières (%); Fe, Feuillage; ca, caducifolié; ma, marcescent; se, sempervirent; H, Hauteur maximale estimée (m); NS, Nombre de sites où l'espèce a été échantillonnée.

Espèces	Ab	Fe	H	NS	Feuilles échantillonnées			
					Total	Lavognes	Bois	Prairies
<i>Acer monspessulanum</i>	6,0	ca	3,0	4	568	198	370	0
<i>Phillyrea media</i>	3,9	ca	6,0	4	329	204	125	0
<i>Pistacia terebinthus</i>	3,4	ca	2,5	5	387	0	345	42
<i>Quercus ilex</i>	18,0	se	6,0	10	1870	34	1794	42
<i>Quercus pubescens</i>	63,8	ma	8,9	25	7893	1557	5795	541
Autres espèces	4,8	–	–	–	593	124	420	49

3- Corrélation entre la végétation et les assemblages foliaires

Les relevés phytosociologiques autour des sites de prélèvement ont montré la présence de 85 espèces différentes, dont 71,8 % d'herbacées (Ferrier et al., 2015). Sur l'ensemble de Spermatophytes relevées, on trouve 54,2 % de caducifoliés et 45,8 % de sempervirent. En termes d'espèces, les prélèvements (tous milieux confondus) ne sont représentatifs que de 16,5 % de la végétation.

Le test de Pearson donne de fortes corrélations entre le nombre de feuilles retrouvées dans les lavognes et l'abondance à l'extérieur de ces dernières, pour les lavognes 2, 4, 6 et 7 ($0,90 < r < 0,99$). Les corrélations sont plus faibles pour les lavognes 3, 5 et 8 ($0,01 < r < 0,56$). De plus, lorsque les occurrences sont comparées avec les relevés phytosociologiques, on remarque que pour les lavognes 2, 6, 7 et 8, les relevés phytosociologiques sont concordants avec les feuilles retrouvées dans les bois, et les feuilles retrouvées dans ces derniers se retrouvent dans les prairies et les lavognes. En revanche, dans les lavognes 3, 4 et 5, on retrouve des feuilles d'espèces non référencées dans les relevés (notamment *Acer monspessulanum* et *Pistacia terebinthus*).

4- Taux de décomposition

Les résultats de la taphonomie des feuilles sont séparables en trois échelles:

- À grande échelle (lavognes et milieux associés), plusieurs milieux ont des taux de décomposition similaires. Les lavognes 2, 6, 7 et 8 ont des taux de décomposition faibles (1,14-1,67, moyenne de 1,46), tandis que les 4 autres (1, 3, 4 et 5) ont des taux de décomposition plus élevés (1,81-2,51, moyenne de 2,00). La différence entre ces deux séries de mares est significative (test de Student; $p < 0,05$).
- À l'échelle des lavognes, bois et prairies, on retrouve ces taux de décomposition forts et faibles en associant les mêmes lavognes (respectivement 1,3,4,5 et 2,6,7, 8), comme pour les bois (1,56 pour les lavognes 2,6,7 et 8 contre 2,25 pour les autres, test de Student; $p < 0,05$), et les lavognes (1,51 pour les lavognes 2,6,7 et 8 contre 2,11 pour les autres, test de Student; $p < 0,05$). Il y a également une différence de décomposition dans les prairies (1,32 pour les lavognes 2, 6, 7 et 8 contre 1,71 pour les autres), mais elle n'est pas significative (test de Student; $p = 0,31$).
- À l'échelle des espèces, *Pistacia terebinthus* et *Phillyrea media* ont des taux de décomposition significativement plus bas (test de Student; $p << 0,05$) que les trois autres espèces. De plus, au sein d'une même espèce, le taux de décomposition est significativement différent entre les milieux à fort taux de décomposition et les autres. C'est le cas pour le chêne pubescent (moyenne de 1,43 pour les lavognes à faibles taux, contre

2,24, test de Student; $p \ll 0,05$) et le chêne vert (1,54 contre 2,10, test de Student; $p < 0,05$). Des tests sur les autres espèces n'ont pas pu être réalisés par manque de données.

Enfin, la corrélation entre abondance foliaire et taux de décomposition est faible ($r = -0,22$), et explique seulement 4,74% de la différence de décomposition ($r^2 = 0,05$).

DISCUSSION

1- Fiabilité de l'étude

Les courbes de raréfaction dans les lavognes et les bois atteignent une asymptote horizontale. L'effort d'échantillonnage est donc suffisant dans ces milieux. Au contraire, l'asymptote des courbes de raréfaction pour les prélèvements issus des prairies est rarement atteinte. Ces courbes s'expliquent par le fait que les prairies sont des milieux ouverts facilitant le transport des feuilles et non leur dépôt, et qu'on n'y retrouve pas, ou peu, de végétation caducifoliée. La méthode de prélèvement des feuilles sur 1 m² dans les différents milieux est donc suffisante pour l'étude. Cependant, l'échantillonnage le long de transects partant de la lavogne en direction des différents milieux tous les 2 m aurait peut-être été plus représentatif de l'accumulation des feuilles de manière progressive dans les lavognes.

2- Paramètres influençant la représentation des espèces au sein des litières

La plupart des plantes herbacées sont bisannuelles (hémicryptophytes) et se dégradent : elles sont sous-représentées dans les litières. Il est normal de ne pas les retrouver dans les prélèvements. Ce sont les feuilles des arbres et arbrisseaux caducifoliés qui sont majoritairement représentées. Les espèces sempervirentes sont représentées plus sporadiquement. Le type biologique et les caractéristiques foliaires des différentes espèces, permettent d'expliquer leur absence ou leur présence dans les litières. Cependant, sur les 13 espèces caducifoliées présentes

dans les relevés phytosociologiques, seules 5 espèces sont retrouvées de manière importante dans les prélèvements (Table 1). Il est possible que la hauteur de l'espèce influe sur la répartition des dépôts de feuilles. En effet, grâce à la prise au vent, un grand arbre disperse mieux ses feuilles qu'un arbrisseau en sous-bois.

3- Représentativité des assemblages foliaires

On ne retrouve pas de feuilles mortes d'espèces non référencées dans les relevés phytosociologiques dans les lavognes 2, 6, 7 et 8. Les comparaisons entre occurrences et relevés sont donc bonnes. Ceci est explicable par le fait que ces 4 lavognes sont fermées, ce qui y rend l'apport de feuilles plus difficile. En revanche, des feuilles d'espèces allochtones sont retrouvées dans les lavognes 3, 4 et 5, ce qui traduit un apport extérieur. L'ouverture plus importante de ces lavognes permet un apport de feuilles des milieux environnants. De plus, ces 3 dernières lavognes sont proches les unes des autres (Ferrier et al., 2015), et les feuilles allochtones d'une lavogne sont référencées dans les relevés d'au moins une de ses voisines : elles viennent donc probablement des bois voisins.

Ensuite, les coefficients r montrent une forte corrélation positive entre le nombre de feuilles dans les lavognes 2, 4, 6 et 7 et le nombre de feuilles aux alentours, ce qui explique entre 81 et 98 % de la distribution des feuilles dans les lavognes. Ainsi, il semble que ces 4 lavognes soient majoritairement alimentées en feuilles par les milieux environnants. Pour les lavognes 3 et 5, où il y a présence de taxons allochtones, les dépôts de feuilles semblent être influencés par des apports plus lointains. Et pour la lavogne 8, les apports semblent se faire de manière moins efficace. Ceci peut être dû à la distance trop importante entre le bois et la lavogne, qui entraîne un dépôt de feuilles moindre dans la prairie et la lavogne.

Enfin, on retrouve plus de feuilles dans les prélèvements des milieux fermés que dans les

autres. Il semble donc que ce genre de lavognes et de milieux aient une abondance foliaire plus importante dans les litières que les milieux ouverts. Ce résultat est important pour la paléobotanique, car s'il est confirmé, l'abondance foliaire retrouvée dans les assemblages de feuilles fossiles renseigne sur le degré de fermeture du milieu.

4- Origine des différences des taux de décomposition

Les résultats ont montré des taux de décomposition différents entre les lavognes, mais les données ne permettent pas de donner d'explication claire. *Pistacia terebinthus* et *Phillyrea media* apportent un nombre de feuilles équivalent dans les différents milieux (environ 16 % de l'abondance totale). Cette différence n'est donc pas due à l'abondance de feuilles mortes à faible taux de décomposition. Les tests de Pearson n'ayant pas montré de corrélation, ces différences de taux de décomposition ne sont pas non plus expliquées par l'abondance foliaire, qui aurait pu faire varier le taux de décomposeurs dans les milieux. De plus, les espèces suivent la même tendance que les lavognes avec des taux de décomposition variant selon la provenance. La décomposition des feuilles semble donc être davantage corrélée aux lavognes et à leurs propriétés physico-chimiques, plutôt qu'à l'espèce considérée.

Ainsi, plusieurs facteurs pourraient expliquer la différence de décomposition entre les deux séries de mares. D'une part, une étude (Song et al., 2013) a montré qu'une différence d'exposition aux UV-B fait varier le taux de décomposition des feuilles. Il serait intéressant de mesurer ce paramètre pour voir si dans l'environnement étudié, il y a bien une corrélation positive entre taux d'UV-B et taux de décomposition. D'autre part, des facteurs comme le pH des lavognes ou les concentrations en décomposeurs peuvent varier. L'abondance des champignons, par exemple, diffère entre lavognes (Aillaud et al., 2015). Il serait intéressant à l'avenir de vérifier ces paramètres.

CONCLUSION

L'étude réalisée sur les litières de feuilles aux alentours du Pic Saint-Loup a mis en évidence une corrélation entre les espèces présentes dans les lavognes et les relevés phytosociologiques du milieu. En effet, en termes d'abondance foliaire, il y a une corrélation entre les feuilles dans les lavognes et les feuilles dans les milieux alentours. Néanmoins, certaines lavognes montrent des taux de décomposition de feuilles plus faibles, souvent associés à une meilleure représentation de la végétation environnante.

Par ailleurs, les feuilles retrouvées ne sont représentatives que d'une part faible des espèces de la flore locale. Ceci peut être dû à la courte durée d'échantillonnage (3 jours), ainsi qu'à la période d'étude (en hiver au mois de Janvier). Ce résultat est surtout fortement influencé par le fait que les litières se forment surtout par l'apport d'un type de végétation particulier que sont les Spermatophytes caducifoliées. Ainsi, cette étude montre qu'un assemblage de feuilles fossiles est un outil important pour la reconstitution des paléoenvironnements, mais qu'il n'est pas suffisant pour en comprendre l'intégralité. L'étude taphonomique des feuilles doit être complétée, lorsque cela est possible, par des données provenant d'autres proxies, comme des relevés palynologiques (Champreux et al., 2015). Ces derniers apportent à la fois des informations sur la végétation locale et régionale, et sur la végétation absente des litières de feuilles, ce qui permet de compléter les données issues des macrorestes.

REFERENCES

- Aillaud M., Alranq B. & Besson O. (2015). Référentiel actuel des bio-indicateurs dans les mares du causse de Viols-le-Fort (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 8 : 67-79.
- Champreux A., de Laage de Meux R. & Duval M. (2015). Enregistrement pollinique des lavognes (Viols-en-Laval, Hérault) : miroir déformant de la végétation. *Orpalm Synthesis*, 8 : 53-65.
- Collectif des Garrigues (2013). *Atlas des*

- garrigues, regards croisés*. Ecologistes de l'Euzière, Prades-le-Lez, 359 p.
- Ellis B. & Johnson K.R. (2013). Comparison of leaf samples from mapped tropical and temperate forests: implications for interpretations of the diversity of fossil assemblages. *Palaios*, 28 : 163-177.
- Ferrier M., Negri L. & Passerieux A. (2015). Cartographie de la zone du Pic Saint-Loup. *Orpalm Synthesis*, 8 : 7-18.
- Kjær D.C., McKinney L.D., Nielsen L.R., Hansen L.N. & Hansen J.K. (2011). Adaptive potential of ash (*Fraxinus excelsior*) populations against the novel emerging pathogen *Hymenoscyphus pseudo-*
- albidus*. *Evolutionary Applications*, 5 : 219-228.
- Laurent L. & David R. (1942). *Arbres et arbustes de Provence, leur détermination par les feuilles*. Société forestière Le Chêne, Marseille, 91 p.
- Song X., Peng C., Jiang H., Zhu Q. & Wang W. (2013). Direct and indirect effects of UV-B exposure on litter decomposition: A meta-analysis. *Plos One*, 8(6) : e68858.
- Thiébaud C., Coumont M.P. & Averbouh A. (2010). Introduction : l'approche taphonomique, une nécessité en archéologie. *Paleo-Supplément*, 3 : 13-31.

ANNEXE 1. Taux de décomposition des feuilles par espèce dans les milieux de prélèvement

Lavogne	Lieux	Espèces	Taux de décomposition
Mare 1	Total		1,87
	Mare	<i>Quercus pubescens</i>	1,98
	Bois	<i>Quercus pubescens</i>	2,33
		<i>Quercus ilex</i>	1,95
Prairie	<i>Pistacia terebinthus</i>	1,09	
Mare 2	Total		1,67
	Mare	<i>Quercus pubescens</i>	1,34
		<i>Quercus ilex</i>	1,17
		<i>Acer monspessulanum</i>	2,38
	Bois	<i>Quercus ilex</i>	1,51
		<i>Acer monspessulanum</i>	1,85
		<i>Pistacia terebinthus</i>	1,36
Prairie	<i>Quercus pubescens</i>	1,45	
Mare 3	Total		1,83
	Mare	<i>Pistacia terebinthus</i>	1,01
	Bois	<i>Quercus pubescens</i>	2,46
		<i>Quercus ilex</i>	2,83
Fruticée	<i>Quercus ilex</i>	1,76	
Mare 4	Total		2,50
	Mare	<i>Quercus pubescens</i>	2,54
	Bois	<i>Quercus pubescens</i>	2,51
	Prairie	<i>Quercus pubescens</i>	2,32
Mare 5	Total		1,91
	Mare	<i>Quercus pubescens</i>	1,82
	Bois	<i>Quercus pubescens</i>	2,13
		<i>Quercus ilex</i>	1,99
		<i>Pistacia terebinthus</i>	0,77
		<i>Phillyrea media</i>	1,99
Mare 6	Total		1,61
	Mare	<i>Quercus pubescens</i>	1,52
	Bois	<i>Quercus pubescens</i>	1,61
		<i>Quercus ilex</i>	2,12
		<i>Acer monspessulanum</i>	1,94
	Prairie	<i>Quercus pubescens</i>	1,63
<i>Pistacia terebinthus</i>		1,11	
Mare 7	Total		1,42
	Mare	<i>Quercus pubescens</i>	1,32
	Prairie	<i>Quercus pubescens</i>	1,11
	Bois	<i>Quercus pubescens</i>	1,63
		<i>Quercus ilex</i>	1,81
		<i>Phillyrea media</i>	1,62
Mare 8	Total		1,14
	Bois	<i>Quercus ilex</i>	1,25
		<i>Pistacia terebinthus</i>	1,04

MORPHOLOGIE FOLIAIRE ET DENSITE STOMATIQUE CHEZ LE CHENE VERT (*QUERCUS ILEX L.*) DANS LA REGION DU PIC SAINT-LOUP (HERAULT, FRANCE) : DES INDICATEURS ECOLOGIQUES DE PREMIERE IMPORTANCE

Guilhem Battistella ¹, Amandine Bauller ²

*Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

¹ guilhem.battistella@etud.univ-montp2.fr, ² amandine.bauller@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Jean-Frédéric Terral et Sarah Ivorra

Citation : Battistella G. & Bauller A. (2015). Morphologie foliaire et densité stomatique chez le chêne vert (*Quercus ilex L.*) dans la région du Pic Saint-Loup (Hérault, France) : des indicateurs écologiques de première importance. *Orpalm Synthesis*, 8 : 43-54.

Résumé : Des variations édaphiques et climatiques sont observées entre les versants nord et sud du Pic Saint-Loup, induisant différentes réponses adaptatives chez les chênes. L'étude présentée s'intéresse à la plasticité foliaire, en réalisant des mesures morphométriques (longueur, largeur, aire, périmètre) et de densité stomatique sur des feuilles de chênes verts. Des différences significatives de morphologies foliaires et de densités stomatiques ont pu être établies entre les deux versants du Pic Saint-Loup. Les résultats indiquent que les paramètres de taille des feuilles sont corrélés négativement à la densité stomatique. Ces mesures sont donc des indicateurs écologiques de première importance.

Mots clés : Plasticité foliaire, morphométrie, adaptation xéromorphique, température

Abstract: *Leaf morphology and stomatal density of holm oak (Quercus ilex L.) in the Pic Saint-Loup region (Hérault, France): ecological indicators of utmost importance.* Edaphic and climatic variations are observed between the northern and southern slopes of the Pic Saint-Loup, inducing different adaptive responses in oaks. The present study focuses in leaf plasticity by realising measures of morphometry (length, width, surface area and perimeter) and the stomatal density on holm-oak leaves. Significant differences of leaf morphology and stomatal density have been established between both slopes of Pic Saint-Loup. Results show that leaf-size parameters are negatively correlated with the stomatal density. These measures are ecological indicators of utmost importance.

Keywords: Leaf plasticity, morphometry, xeromorphic adaptations, temperature

Les feuilles sont des organes sensibles aux changements environnementaux. Leur plasticité phénotypique leur permet de s'adapter aux stress abiotiques (Fei et al., 2009), ce qui fait des caractères morphologiques des indicateurs écologiques

privilegiés. Il est donc intéressant d'étudier les relations entre la morphométrie des feuilles et les paramètres abiotiques, tels que la température, l'ensoleillement, l'humidité, la nature du sol ou encore l'altitude. La variation de densité stomatique est considérée comme une adaptation xéromorphique : les stomates

permettent en effet à la plante de contrôler ses échanges hydriques avec le milieu aérien (Kadi-Bennane et al., 2005). L'étude de la plasticité stomatique permet de caractériser les réponses adaptatives du chêne vert (*Quercus ilex*) vis-à-vis des conditions climatiques. Cette espèce, qui couvre actuellement 350 000 ha en France, s'est développé dans la région méditerranéenne française à la fin du Néolithique, entre 5 000 et 4 000 cal. BP. A cette époque, les défrichements et les incendies ont dégradé les chênaies caducifoliées, dominées par le chêne pubescent (*Quercus pubescens*), favorisant ainsi le chêne vert et son cortège floristique. En conditions favorables, le chêne blanc est plus compétitif que le chêne vert. Dans les zones sèches, caractérisés par des réserves en eau réduites, le chêne vert, plus thermophile, parvient toutefois à le supplanter. Actuellement, des caractéristiques climatiques modulées par des paramètres édaphiques expliquent, en région méditerranéenne, l'étagement des chênes en fonction de l'altitude : le chêne vert caractérise l'étage bioclimatique mésoméditerranéen, tandis que le chêne blanc caractérise le supraméditerranéen. Dans la région du Pic Saint-Loup, zone géographique de notre étude, en particulier sur son versant nord, les conditions climatiques locales, auxquelles s'ajoutent la profondeur du sol et donc les ressources hydriques potentielles, entraînent une « inversion d'étages » : la bassin de Saint-Martin-de-Londres, plus frais et plus humide que les collines environnantes, est occupé par le chêne blanc, tandis que le chêne vert s'est installé sur les coteaux. De plus, les conditions climatiques sont sensiblement différentes de part et d'autre du Pic Saint-Loup. L'ensemble des caractéristiques du chêne vert et son aire de répartition font de cette espèce un bon candidat à une étude de plasticité écologique de traits morphologiques, comme la morphologie foliaire et la densité stomatique. En effet, des études ont mis en évidence une corrélation entre la morphologie foliaire et la disponibilité en eau et en lumière (Fei et al., 2009), la température et la concentration en CO₂ (Beerling & Chaloner, 1993) sur différentes espèces

(oliviers, chênes, Pistachier...) à travers le monde. Plus rarement des liens entre la densité stomatique et les conditions climatiques ont été réalisées (Kadi-Bennane et al., 2005). Dans cette optique, nous avons étudié les variations morphologiques foliaires et la densité stomatique du chêne vert, à partir de feuilles collectées sur les deux versants du Pic Saint Loup, zones caractérisées par des conditions climatiques différentes. L'objectif principal de cette étude est de qualifier et de quantifier l'influence de paramètres environnementaux locaux, notamment climatiques, sur la morphologie des feuilles et la densité stomatique du chêne vert.

MATERIEL ET METHODES

1- Contexte géographique et écologique de la zone d'étude

L'étude a été réalisée sur 4 stations situées dans la région du Pic Saint-Loup (Hérault, France) (Fig. 1). Ce relief, qui culmine à 658 m d'altitude, est situé au nord de Montpellier, à 29 km de la côte méditerranéenne. Le Pic Saint-Loup s'étire d'ouest en est sur 6 km entre les villages de Cazeville et de Saint-Mathieu-de-Trévières. Le climat de la région est de type méditerranéen avec une saisonnalité marquée, des hivers doux et des étés secs. Les périodes pluvieuses sont généralement hivernales, mais des épisodes de fortes précipitations peuvent survenir, souvent au mois d'octobre (épisodes cévenols ; Annexe 1). Du côté des températures, la zone située au nord du Pic Saint-Loup est globalement plus fraîche que la zone située au sud et ce, toute l'année (Annexe 1). Le Pic Saint-Loup forme un obstacle aux vents venant du Nord. Cet air sec et dense stagne dans la vallée, refroidissant l'environnement local et repoussant vers de plus hautes altitudes l'air moins dense qui réchauffe le versant Sud. La station Météo France la plus proche des zones de récolte "Fambétou" et "le Gardiol" est située à Saint-Martin-de-Londres : la température annuelle moyenne y est de 12.8°C et la pluviométrie annuelle de 736 mm (période 1984-2014). La station Météo France la plus proche du

versant Sud est localisée à Saint-Jean-de-Cuculles : la température annuelle moyenne y est de 13.3°C et la pluviométrie annuelle de 744 mm (période 1984-2014) (Fig. 1 ; Annexe 1). D'un point de vue phytoécologique, la zone d'étude est essentiellement représentée par des taillis de chênes méditerranéens (chênaies vertes ou chênaies mixtes

constituées de chênes pubescents et de chênes verts), des formations dégradées (matorrals, comprenant des espèces herbacées, ainsi que des zones de cultures, essentiellement des vignes ; Annexe 2).



Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage de *Quercus ilex* (étoiles). Source image : Google Maps

2- Matériel

Les prélèvements ont été réalisés sur 4 stations, à raison de 4 individus par station. Les individus similaires (taille, densité foliaire, âge) et les moins défoliés (les chênes de la station de Cazevieille ont été abondamment défoliés ainsi que, dans une moindre mesure, les arbres 3 et 4 de la station de Fambetou) en juin 2014 par la chenille du bombyx disparate (*Lymantria dispar*) ont été sélectionnés. Les stations sont réparties au nord et au sud du Pic Saint-Loup, à raison de 2 stations par versant : "Fambétou" et "Le Gardiol" sur le versant nord ; "Cazevieille" et

"Saint-Jean-de-Cuculles" sur le versant sud (Fig. 1). Les sites ont été choisis dans des environnements similaires, de type garrigue ouverte. Pour chaque site, les coordonnées GPS ont été enregistrées, un relevé floristique succinct a été effectué (Annexe 2) et les caractéristiques du sol ont été notées (Annexe 3), permettant ainsi d'identifier de potentielles différences climatiques et environnementales de part et d'autre du Pic Saint-Loup. Afin de limiter les biais morphologiques liés à la juvénilité, les feuilles jeunes ont été écartées du prélèvement, ainsi que les feuilles épineuses qui reflètent plus une adaptation à la prédation

qu'aux conditions climatiques. Les feuilles récoltées devaient être entières et saines (marge intacte principalement, les rameaux portants des feuilles courbées ou trouées n'étaient pas échantillonnés). 20 feuilles ont été récoltées par individu sur le tiers supérieur (houppier) et 20 autres sur le tiers inférieur (généralement des rejets) tout autour de l'arbre. Les feuilles ont été placées en herbier afin de les aplatir et d'assurer leur conservation, le pétiole étant préalablement retiré afin de faciliter l'étude morphométrique du limbe.

3- Méthodes

Etude morphologique des feuilles

Quarante feuilles par individu (20 pour le houppier ; 20 pour les rameaux de la base de l'arbre) ont été numérisées par planche de 10 feuilles, avec une échelle de papier millimétré. Les éventuelles ombres de contours ou de restes de pétioles ont été supprimées à l'aide du logiciel Photoshop. Chaque feuille a été détournée et mise en noir et blanc pour la rendre plus facilement utilisable par le logiciel ImageJ. Les mesures « longueur (mm) », « largeur (mm) », « périmètre (mm) », « surface (mm²) » ont été réalisées directement avec ImageJ. La circularité (indice de forme caractérisant une feuille plus ou moins ronde) des feuilles a été calculée en utilisant la formule de [Chitwood et al. \(2014\)](#) :

$$C = 4 \pi (S/P)^2$$

où C est la circularité (mm), S, la surface (mm²) et P le périmètre (mm).

Etude de la densité stomatique des feuilles

Deux individus par station ont été sélectionnés au hasard, le délai de l'expérience ne permettant pas d'étudier plus. Une première couche de vernis à ongle type « Top coat » a été appliquée sur la face inférieure, puis délicatement grattée sans altérer l'épiderme, après un court temps de séchage (une minute). Cette opération permet de retirer les nombreux trichomes. Les empreintes d'épiderme sont obtenues par

l'application d'une seconde couche de vernis transparent sur la face inférieure de la feuille. Une fois séchée (trois minutes), cette couche est enlevée délicatement à l'aide de pinces, et déposée sur une lame de verre. Sous microscope photonique (grossissement x200), six photographies par feuilles ont été réalisées sur trois zones (haut, milieu, bas) à raison de deux photos par zone à l'aide du logiciel Leica. Les contrastes et l'intensité lumineuse ont été modifiés pour rendre chaque photographie plus facilement utilisable par le logiciel de traitement d'image. Un rectangle de 500 x 400 µm (soit 0.2 mm²) a été tracé via ImageJ pour délimiter la zone de comptage où les stomates sont les plus visibles. En pointant manuellement chaque stomate sur le logiciel ImageJ, nous avons dénombré les stomates et calculé la densité stomatique (nombre de stomates par mm²).

4- Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTATS (2015.2). Les données morphométriques ("longueur", "largeur", "surface", "périmètre" et "circularité") des 640 feuilles ont été analysées grâce à une Analyse Factorielle Discriminante (AFD). Cette méthode multivariée descriptive et décisionnelle permet de réduire le nombre de dimensions originelles (de 5 à 2), de tester l'existence d'une discrimination entre les 4 stations de chêne vert (représentant 4 modalités définies a priori dans l'AFD) et de mettre en évidence les traits morphologiques ou mensurations, éventuellement responsables d'une discrimination (approche probabiliste donnant un taux de discrimination). Les moyennes de densité stomatique par site de récolte et leurs écart-types ont été calculées. Un test statistique non paramétrique (test de Mann-Whitney) de comparaison de moyenne, test adapté à des échantillons de petite taille (faibles effectifs) dont la distribution ne suit pas nécessairement une loi normale, a été utilisé afin de tester les différences pouvant exister entre les 4 stations, en terme de densité stomatique. Un test statistique non paramétrique a été utilisé (test de Kendall),

tenant compte des variations de rang, afin de réaliser une étude de corrélation entre morphologie foliaire et densité stomatique.

RESULTATS

1- Etude morphologique des feuilles

L'AFD réalisée sur la base des différents paramètres mesurés sur les 640 feuilles de chêne vert échantillonnées montre l'existence d'une forte corrélation entre les variables ("longueur", "largeur", "surface" et "périmètre") (Fig. 2.1). Ces variables, fournissant la même information de taille, expliquent la distribution des individus (feuilles) sur l'axe 1. La variable "circularité" est un indice de forme qui explique la distribution des feuilles sur l'axe 2. La répartition des points par station est concentrée autour de leur barycentre (calculé sous R), excepté pour quelques valeurs disparates. Les feuilles de Saint-Jean-de-Cuculles et de Cazevieille pour l'axe 1 tendent vers des coordonnées positives

(grande taille), à l'inverse des feuilles de "Le Gardiol", qui tendent vers des coordonnées négatives (petite taille). Les feuilles de la station de "Fambetou" occupent une position intermédiaire (Fig. 2.2). L'axe 2 (axe de forme) distingue les feuilles plus allongées des stations de Saint-Jean-de-Cuculles des feuilles plus rondes de Cazevieille et de Fambetou. Les feuilles de "Le Gardiol" ont une position intermédiaire (Fig. 2.2). La distribution des points (feuilles) dans le plan 1-2 discrimine les 4 stations. Cette discrimination est confirmée par le test de Wilk's de l'AFD, qui montre l'existence d'une différence significative de morphologie foliaire concernant certaines stations (Wilk's Lambda = 0.289, F (observée) = 83.61, ddl (1 ; 2) = 12 ; 1675, p-value < 0.0001). Le calcul des taux de discrimination confirme le test précédent, à savoir que les 4 stations se discriminent les unes des autres avec un taux de 68.6 %. Les stations associées "Cazevieille" - "Saint-Jean-de-Cuculles" se discriminent des stations "Fambetou" - "Le Gardiol" avec un taux de 85.9 % (Fig. 2.2).

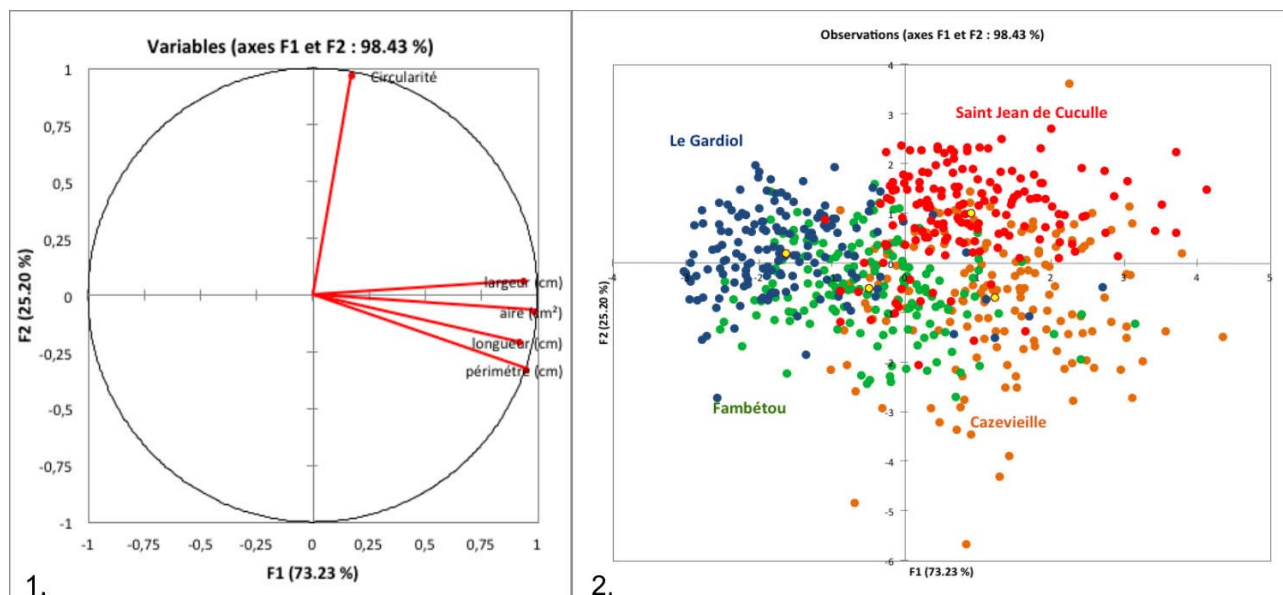


Figure 2. (1) Cercle de corrélation des paramètres de taille ("longueur", "largeur", "périmètre" et "surface") et de forme ("circularité") sur les axes discriminants 1 et 2, expliquant respectivement 73.2 et 25.2 % de la variance totale. (2) Représentation des individus (feuilles) de chaque site dans l'espace défini par les axes 1 et 2. L'axe 1 représente les paramètres de taille, et l'axe 2, la circularité. Chaque couleur représente une station d'échantillonnage. Le point jaune représente le barycentre des échantillons récoltés pour chaque zone.

2- Etude de la densité stomatique des feuilles

Un histogramme des moyennes de densité stomatique pour chaque station a été établi (Fig. 3). Cet histogramme montre des disparités confirmées par des tests de comparaison de moyenne (test de Mann-Whitney) réalisés 2 à 2 sur les feuilles des

stations de notre étude (Table 1). Il apparaît que seules les stations "Fambétou" et "Le Gardiol" (versant nord du Pic Saint-Loup) possèdent une densité stomatique similaire, plus élevée que celle des autres stations. Les autres stations sont significativement différentes en terme de densité stomatique (Fig. 3 ; Table 1).

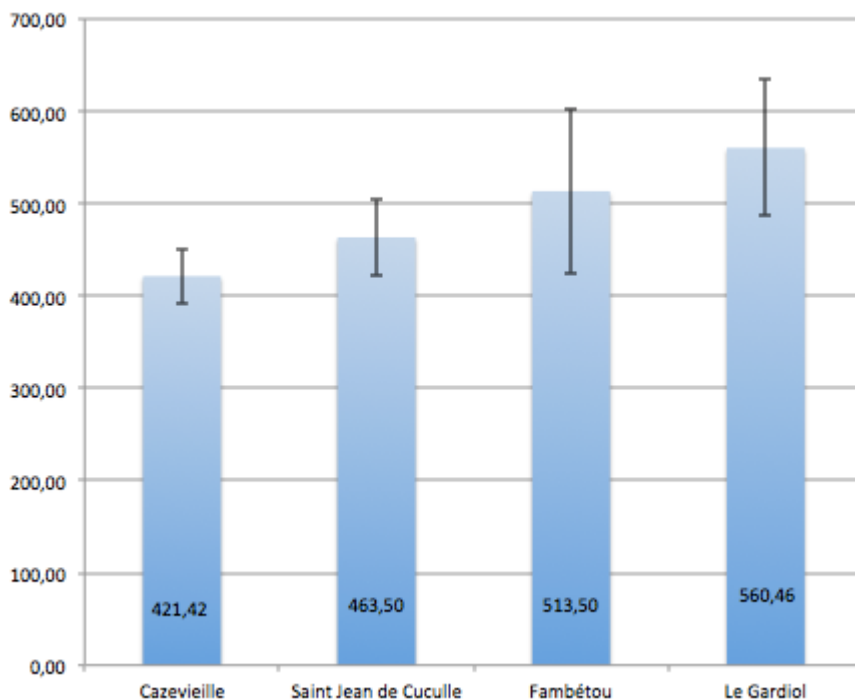


Figure 3. Moyennes (nombre de stomates / mm²) et écart-type de la densité stomatique du sous-échantillonnage de chaque site.

Table 1. Résultats des tests non paramétriques de comparaison de moyenne (2 à 2) (en haut, résultats du test de Mann-Whitney (U-test) et, en bas, probabilité associée au seuil de 0.05) réalisés sur les données de densité stomatique mesurées pour chacun des sites. La donnée de probabilité en italique indique l'absence de différence entre "Le Gardiol" et "Fambetou", en termes de densité stomatique. Toutes les autres comparaisons sont significatives.

U-test	Cazevieille	St-Jean	Fambetou	Le Gardiol
Cazevieille				
St-Jean	81.5			
Fambetou	87.5	111.0		
Le Gardiol	15.0	59.0	139.5	

Probabilité	Cazevieille	St-Jean	Fambetou	Le Gardiol
Cazevieille				
St-Jean	0.001			
Fambetou	0.002	0.017		
Le Gardiol	< 0.0001	0.000	<i>0.105</i>	

3- Relation entre morphologie foliaire et densité stomatique

Selon le test de corrélation de Kendall, la longueur, l'aire et le périmètre sont les paramètres présentant le plus de degrés de relation avec la densité stomatique, avec respectivement -0.270, -0.196 et -0.252. Une corrélation négative est observée entre la densité stomatique et les paramètres précédents, contrairement à la circularité, qui présente une très faible corrélation positive (0.108) avec la densité stomatique.

DISCUSSION

Les plantes sont sensibles à des signaux abiotiques très divers (stimuli mécaniques, chocs thermiques, chocs osmotiques, etc.), auxquels elles répondent principalement par des modifications de leur développement (racinaire, foliaire, etc.) (Norris et al., 2007). Les descripteurs quantitatifs foliaires sont déterminés par des variations environnementales, car les feuilles sont des organes sensibles aux paramètres écologiques abiotiques (Fei et al., 2009). En effet, les feuilles jouent un rôle important pour la survie et la croissance d'une plante au travers du mécanisme de la photosynthèse. Aussi, tout changement environnemental, en particulier atmosphérique (climat ou teneur en CO₂), implique une réponse des végétaux sur la morphologie foliaire et la densité stomatique (Fei et al., 2009). D'après les résultats obtenus, la plasticité morphologique foliaire est bien réelle, même à l'échelle régionale du Pic Saint-Loup. Dans notre étude, même si les caractéristiques morphologiques des feuilles sont relativement homogènes au sein de chaque station, des variations significatives de taille et de forme ont été mises en évidence entre les différents sites (taux de discrimination global de 68.6 % et taux de discrimination entre les stations du versant sud et les stations du versant nord de 85.9 %). Les résultats ne concordent pas avec les résultats de Fei et al. (2008), qui montrent que les feuilles de *Quercus acutissima* sont plus étroites en conditions de sécheresse et plus larges à l'ombre (Fei et al., 2008). Les

chênes des stations situées en versant sud ("Saint-Jean-de-Cuculles" et "Cazevieille"), où les températures sont les plus élevées (Annexe 1), possèdent les plus grandes feuilles. Or, les feuilles de taille réduite, *i.e.* à surface photosynthétique moindre, devraient théoriquement se trouver dans des sites soumis à des conditions peu favorables ou à des stress plus intenses, thermiques ou xériques, par exemple. Nos résultats suggèrent que le chêne vert trouve, en versant nord, des conditions moins favorables à son installation et à son développement (températures plus fraîches, gels hivernaux plus intenses, sol marneux au "Gardiol"...). La construction de grandes feuilles très vascularisées serait en effet trop coûteuse vis-à-vis des ressources dont dispose l'arbre (Bartholomé et al., 2013). Le versant sud représenterait au contraire un environnement plus favorable (températures élevées et sol calcaire drainant) pour le bon développement du chêne vert.

La variation de la densité stomatique est considérée comme une adaptation xéromorphique, les stomates étant un dispositif que l'évolution a conservé pour affronter le pouvoir évaporant du milieu aérien (Kadi-Bennane et al., 2005). D'après les résultats obtenus, une différence significative de densité stomatique a été observée d'une station à l'autre, excepté entre les stations de "Le Gardiol" et "Fambetou". Ces deux stations étant situées sur le versant nord, nous pouvons supposer qu'elles sont soumises à des conditions climatiques comparables, et entraînent chez les chênes des adaptations similaires. Des études supplémentaires pourraient être réalisées afin de vérifier cette hypothèse. Une moyenne de 107,32 stomates/mm² a été comptabilisée sur ce versant, contre 88.49 stomates/mm² (18 % de moins) sur le versant sud (Annexe 1). La densité stomatique est corrélée négativement avec la température annuelle moyenne. Ainsi, les feuilles portent moins de stomates dans un milieu où les températures sont élevées par rapport à un milieu où les températures sont basses (Beerling & Chaloner, 1993). Ce mécanisme permet à l'arbre de réduire la perte d'eau due à l'évapotranspiration. Il

forme des feuilles avec une conductance stomatique inférieure lorsque la disponibilité en eau et l'humidité atmosphérique sont plus faibles, limitant ainsi les pertes hydriques (Beerling & Chaloner, 1993). Les végétaux méditerranéens ont des caractères xéromorphes très marqués : les arbres ont des feuilles petites et cireuses, recouvertes d'une cuticule épaisse ou de poils, permettant de limiter l'évapotranspiration et les effets desséchants des vents (Clément, 2002). Ainsi, la réduction de la densité stomatique chez *Quercus ilex* semble correspondre à une adaptation xéromorphe. D'après le test de corrélation de Kendall, il existe une réelle relation entre la taille des feuilles et la densité stomatique. Plus la taille de la feuille augmente (une surface élevée et un périmètre grand), et moins la densité stomatique (nombre de stomates par mm²) est grande. Les feuilles les plus petites ont des densités stomatiques plus importantes du fait d'une expansion des cellules épidermiques réduite : le nombre de stomates varie en fonction de la taille de la feuille. Les feuilles des chênes du versant sud, qui se développent sous des températures plus élevées (en moyenne de 0.5°C sur l'année ; Annexe 1), sont plus grandes et présentent moins de stomates. Ce résultat est parfaitement en adéquation avec une adaptation xéromorphe (Beerling & Chaloner, 1993).

L'ensemble des résultats obtenus pourraient être davantage contrastés en élargissant la zone d'étude afin de capter des variations de plus grande amplitude. Echantillonner plus d'individus par station et des stations supplémentaires pourrait permettre d'affiner les différences morphologiques et de densité stomatique, mettant potentiellement en évidence un gradient climatique de part et d'autre du Pic Saint-Loup. Ainsi, le protocole visant à comptabiliser les stomates pourrait être amélioré. Compter directement lors de l'observation au microscope (et non sur une photographie) en faisant varier la vis micrométrique permettrait une meilleure visibilité des stomates. Réaliser un diagnostic plus poussé de la nature du sol (quantification des carbonates et des argiles, par exemple) aiderait à établir sa part d'influence dans la

morphologie foliaire. En complément, une étude plus poussée des conditions climatiques (température annuelle moyenne ou précipitations annuelles) sur les différents sites pourrait apporter des éléments sur l'influence du climat sur la plasticité foliaire. Les résultats obtenus pourraient enfin être complétés par l'étude d'autres espèces méditerranéennes présentant également une plasticité foliaire.

CONCLUSION

D'après nos résultats, une relation validée statistiquement existe entre la densité stomatique, la morphologie foliaire et les conditions climatiques. Une plasticité phénotypique des feuilles, influencée notamment par les conditions climatiques, a été mise en évidence. La taille des feuilles est corrélée négativement à la densité stomatique. Les chênes verts situés sur le versant sud, où les températures sont plus élevées, mettent en place de plus grandes feuilles avec moins de stomates, que les chênes verts situés en versant nord. Cette adaptation xéromorphique résulte d'un ensemble d'adaptations de l'appareil végétatif visant à limiter l'évapotranspiration et les effets desséchants du vent (Clément, 2002). Les paramètres morphométriques des feuilles et la densité stomatique semblent être de bons indicateurs des conditions climatiques. Etudier ces paramètres, dans le contexte actuel de changement climatique, tout en s'appuyant sur les données du passé (études paléobotaniques) devrait permettre d'expliquer et de prédire les variations biogéographiques des formations végétales. Le chêne vert est particulièrement intéressant puisqu'il est largement distribué en Méditerranée (surtout dans la partie occidentale). En France, il constitue une zone d'intergradation entre les sous-espèces *Q. ilex* subsp. *ilex* (Italie), caractérisée par des feuilles lancéolées, et *Q. ilex* subsp. *rotundifolia* (péninsule ibérique et Maghreb), possédant des feuilles arrondies (Michaud et al., 1995 ; Lumaret et al., 2002). Il serait intéressant d'étudier en parallèle la plasticité foliaire chez les deux sous-espèces le long d'un gradient latitudinal, et donc climatique.

REFERENCES

- Bartholomée O., Clochey L., Genneté L. & Torres L. (2013). Rôle de facteurs environnementaux sur la plasticité foliaire chez *Quercus ilex*, mesurée sur un échantillonnage réalisé dans la vallée du Galeizon. *ORPAL Synthesis*, 6 : 47-57.
- Berling J.D. & Chaloner G.W. (1993). The impact of atmospheric CO₂ and temperature change on stomatal density: Observations from *Quercus robur* Lammas leaves. *Annals of Botany*, 71 : 231-235.
- Chitwood D.H., Ranjan A., Martinez C.C., Headland L.R., Thiem T., Kumar R., Covington M.F., Hatcher T., Naylor D.T., Zimmerman S., Downs N., Raymundo N., Buckler E.S., Maloof J.N., Aradhya M., Prins B., Li L., Myles S. & Sinha N.R. (2014). A modern ampelography: A genetic basis for leaf shape and venation patterning in grape. *Plant Physiology*, 164 : 259-272.
- Clément V. (2002). *De la marche-frontière au pays-des-bois*. Ed. Casa de Velazquez, Madrid, 383 p.
- Fei X., Weihua G., Weihong X. & Renqing W. (2008). Habitat effects on leaf morphological plasticity in *Quercus Acutissima*. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 52 : 19-26.
- Fei X., Weihua G., Weihong X., Yinghua W. & Renqing W. (2009). Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves. *Progress in Natural Science*, 19 : 1789-1798.
- FR9101389 - Pic Saint-Loup (2014). NATURA 2000 - Formulaire standard de données. Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, <http://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9101389>
- Kadi-Bennane S., Ait-Said S. & Smail-Saadoun N. (2005). Adaptation study of three *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* populations (Ain Oussera - Messaad - Taïssa) through stomatal complex. *Options Méditerranéennes, Série A*, 63 : 365-368.
- Norris V., Ripoll C., Tafforeau M., Thellier M. & Verdus M. (2007). Mise en mémoire de stimuli abiotiques chez les plantes : rôle du calcium. *Académie d'Agriculture de France, séance 20/03/2007* : 3-4.
- Lumaret R., Mir C., Michaud H. & Raynal V. (2002). Phylogeographical variation of chloroplast DNA in holm oak (*Quercus ilex* L.). *Molecular Ecology*, 11 : 2327-2336.
- Michaud H., Toumi L., Lumaret, R., Li T.X., Romane F. & Anddigiusto F. (1995). Effect of geographical discontinuity on genetic variation in *Quercus ilex* L. (holm oak). Evidence from enzyme polymorphism. *Heredity*, 74 : 590-606.

ANNEXE 1. Données climatologiques moyennes mensuelles des stations de St-Martin-de-Londres et de St-Jean-de-Cuculles (données Météo France, période 1984-2014 ; [FR9101389 - Pic Saint-Loup, 2014](#)) : précipitations (mm), températures minimales (Tmin, °C), températures maximales (Tmax, °C) et températures moyennes (Tmoy, °C).

St-Martin-de-Londres

Données climatologiques mensuelles	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cumul (mm) / moyennes (°C)
P (mm)	68	55	71	53	57	49	29	50	75	96	63	70	736
Tmoy (°C)	4.9	6.2	7.6	11.7	15.4	18.7	21.9	21.5	18.7	13.5	8.4	5.2	12.8
Tmin (°C)	0.2	1.4	2.0	6.4	10.1	12.4	15.7	15.6	13.3	8.0	3.0	0.4	7.4
Tmax (°C)	9.5	11.0	13.2	17.0	20.6	25.0	28.1	27.4	24.0	18.9	13.7	10.0	18.2

St Jean-de-Cuculles

Données climatologiques mensuelles	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cumul (mm) / moyennes (°C)
P (mm)	70	57	74	53	55	48	28	48	76	100	65	70	744
Tmoy (°C)	5.3	6.3	9.4	12.0	15.5	19.3	22.0	21.6	18.7	14.1	9.6	6.3	13.3
Tmin (°C)	1.0	1.5	4.5	6.9	10.4	13.6	15.9	15.8	13.4	9.2	5.2	2.3	8.3
Tmax (°C)	9.7	11.2	14.4	17.2	20.7	25.1	28.2	27.5	24.1	19.1	14	10.3	18.5

ANNEXE 2. Inventaire et abondance relative, de présent (P) à très abondant (+++), des espèces ligneuses des 4 stations échantillonnées : Cazevieille (Caz), St-Jean-de-Cuculles (SJC), Fambétou (Fam) et Le Gardiol (LGa).

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Caz	SJC	Fam	LGa
<i>Amelanchier ovalis</i>	Amélanchier			++	+
<i>Arbutus unedo</i>	Arbousier				+
<i>Buxus sempervirens</i>	Buis	++		++	++
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornouiller sanguin				+
<i>Cneorum tricoccon</i>	Camélée		+		
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Frêne				+
<i>Genista scorpius</i>	Genêt scorpion	+++	+	+	+
<i>Juniperus communis</i>	Genévrier commun			+	
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Cade	++	+	++	+
<i>Juniperus phoenicea</i>	Genévrier de Phénicie			+	+
<i>cf. Malus sylvestris</i>	cf. Pommier sauvage	P			
<i>Olea europaea</i>	Olivier	+			
<i>Phillyrea angustifolia</i>	Filaire à feuilles étroites		+		
<i>Phillyrea latifolia</i>	Filaire à larges feuilles				+
<i>Phillyrea media</i>	Filaire intermédiaire	+		+	+
<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep		++		P
<i>Pistacia lentiscus</i>	Pistachier lentisque		++		
<i>Pistacia terebinthus</i>	Pistachier térébinthe	+		+	
<i>Prunus spinosa</i>	Prunellier	+			+
<i>Quercus coccifera</i>	Chêne kermès			P	
<i>Quercus ilex</i>	Chêne vert	+	++	+++	P
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne blanc		P	+	
<i>Rhamnus alaternus</i>	Nerprun		++		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romarin		++		+
<i>Thymus vulgaris</i>	Thym	+++			+
<i>Viburnum tinus</i>	Viorne tin		+		

ANNEXE 3. Coordonnées GPS de chaque arbre et type de substrat de chaque station

<i>Station</i>	<i>Coordonnées GPS de chaque arbre</i>		<i>Substrat</i>
Cazevieille	Arbre 1	N 43,77446° E 03,78863°	Calcaire
	Arbre 2	N 43.77277° E 03.78924°	
	Arbre 3	N 43.77300° E 03.78972°	
	Arbre 4	N 43.77319° E 03.78991°	
Saint-Jean-de-Cuculles	Arbre 1	N 43.75617° E 03.83495°	Calcaire
	Arbre 2	N 43.75612° E 03.83466°	
	Arbre 3	N 43.75624° E 03.83475°	
	Arbre 4	N 43.75647° E 03.83478°	
Fambetou	Arbre 1	N 43.78853° E 03.80404°	Calcaire et marne
	Arbre 2	N 43.78632° E 03.80339°	
	Arbre 3	N 43.78637° E 03.80312°	
	Arbre 4	N 43.78632° E 03.80300°	
Le Gardiol	Arbre 1	N 43.79191° E 03.79671°	Marne
	Arbre 2	N 43.79143° E 03.79625°	
	Arbre 3	N 43.79156° E 03.79624°	
	Arbre 4	N 43.79163° E 03.79598°	

ENREGISTREMENT POLLINIQUE DES LAVOGNES (VIOLS-EN-LAVAL, HÉRAULT) : MIROIR DÉFORMANT DE LA VEGETATION

Antoine Champreux ¹, Raphaël de Laage de Meux ², Marie Duval ³

Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC 061, 34095 Montpellier cedex 05

¹ antoine.champreux@gmail.com, ² raphael.de-laage-de-meux@etud.univ-montp2.fr,
³ marie.duval2@laposte.net

Encadrement : Serge Muller

Citation : Champreux A., de Laage de Meux R. & Duval M. (2015). Enregistrement pollinique des lavognes (Viols-en-Laval, Hérault) : miroir déformant de la végétation. *Orpalm Synthesis*, 8 : 55-67.

Résumé : Cette étude propose un référentiel d'interprétation des spectres polliniques sur la base de l'analyse du contenu de sédiments de surface collectés dans des lavognes (mares artificielles servant à abreuver les troupeaux). Nous avons montré que si la simple présence d'un taxon dans le spectre pollinique est synonyme de sa présence dans la végétation régionale, il demeure nécessaire de connaître son mode de pollinisation pour déterminer la distance des individus à la lavogne. On peut ainsi distinguer les taxons anémogames, qui sont généralement bien représentés dans le spectre pollinique, des taxons entomogames et/ou autogames, qui sont souvent mal représentés.

Mots clés : Palynologie, référentiel actuel, zone humide, environnement

Abstract: *Pollen record of artificial temporary pools: a distorting mirror of vegetation.* This study proposes a baseline for interpretation of pollen spectra based on the analysis of content of surface sediments collected in artificial ponds used for watering livestock, locally called *lavognes*. We have shown that if the simple presence of one taxon in the pollen spectrum is synonymous of its presence in the regional vegetation, it remains necessary to know its mode of pollination to determine distance between individuals and pool. We can distinguish wind-pollinated taxa that are well represented in pollen spectrum from insect-pollinated and/or self-pollinated taxa that are often underrepresented.

Keywords: Palynology, modern reference, wetland, environment

L'environnement d'un site comprend des contraintes et des perturbations agissant sur sa structure et sa composition. Son étude peut donc apporter des indications sur les conditions climatiques et les facteurs anthropiques qui ont contribué à le forger. Retrouver des traces des environnements passés est primordial pour reconstruire l'évolution du milieu au cours du temps. Le pollen est le

microgamétophyte des Spermatophytes, sa structure est dictée par celle de sa paroi externe, l'exine, constituée d'une substance très résistante, la sporopollénine. Cette structure diffère selon les taxons, notamment par rapport au nombre et à la forme des ouvertures, et peut être conservée sur de grandes périodes de temps (Reille, 1990). Dispersés en quantités variables par tous les Spermatophytes, les grains de pollen sont des

indicateurs de la végétation, et leur étude permet de reconstituer les végétations actuelles et fossiles. Cependant les modes de dispersion du pollen varient selon les taxons et sont responsables du fait que l'enregistrement pollinique n'est pas l'exact reflet de la végétation correspondante (par exemple, les Angiospermes entomogames sont peu susceptibles de se retrouver dans les enregistrements ; [Jacobson & Bradshaw, 1981](#)). Plusieurs autres paramètres, comme la taille des sites ([Jacobson & Bradshaw, 1981](#)) ou la structure de la végétation (phénomènes de filtration), peuvent influencer sur l'enregistrement pollinique ([Tauber, 1967](#)). Il est donc essentiel de comprendre comment sont enregistrés les différents taxons pour savoir interpréter les enregistrements du passé. Nous étudions ici les enregistrements polliniques actuels, afin de créer un référentiel pour de possibles études paléoenvironnementales futures en définissant comment la végétation actuelle s'enregistre dans le spectre pollinique. Les objectifs de ce travail sont : (1) de comparer les taxons présents dans les enregistrements polliniques aux taxons présents dans la végétation locale, (2) d'expliquer les éventuelles différences dans la composition des enregistrements entre les milieux de dépôt étudiés (dans notre cas, des lavognes, c'est-à-dire des mares artificielles), et (3) de mettre en place une clé permettant de reconstituer la végétation à partir d'un spectre pollinique issu des lavognes.

MATERIEL ET METHODES

1- Échantillonnage

Les milieux humides, tels que les mares, créent des conditions favorables à l'enregistrement de la pluie pollinique. Nous avons choisi huit mares artificielles numérotées de 1 à 8, à partir desquelles nous avons échantillonné les sédiments de surface. Ces mares, appelées lavognes, ont été bâties sur des terrains argilo-limoneux par les éleveurs pour abreuver les troupeaux, et se situent sur les communes de Viols-en-Laval et de St-Martin-de-Londres (Hérault) ([Ferrier et al., 2015](#)).

Pour connaître l'environnement végétal actuel

avoisinant les lavognes, des relevés de végétation ont été effectués à l'aide de quadrats, en adoptant la méthode de [Braun-Blanquet \(1932\)](#). Ainsi, à chaque quadrat correspond un milieu homogène, que nous avons défini au préalable, puis un indice d'abondance est attribué à chaque espèce végétale (+,1,2,3,4,5).

L'observation et l'identification du pollen sont impossibles sans un traitement des échantillons en laboratoire permettant d'isoler et de purifier le pollen. Le volume des échantillons est mesuré, puis la matière organique est détruite et éliminée au KOH (hydroxyde de potassium) et par acétolyse, tandis que la silice est éliminée au FH (acide fluorhydrique) (Annexe 1). La préparation des lames est faite à partir d'une dilution des échantillons traités à la glycérine, dont un volume constant de 25 µl est placé entre lame et lamelle. Les lames sont fixées et imperméabilisées à l'histolaque.

2- Observation des échantillons

Les échantillons ont été observés une première fois, et une liste d'environ 30 taxons à reconnaître lors des comptages a été fixée. Les grains observés que nous n'avons pas réussi à identifier ou qui étaient trop détériorés ont été référencés comme "indéterminés". Les lames ont été observées au microscope optique réglé selon la méthode de Koehler ([Reille, 1990](#)) et comptées par lignes de façon à connaître le volume total observé, en comptant au minimum 100 grains par lame. Chaque échantillon a été étudié par trois analystes différents afin de limiter les erreurs et d'obtenir des résultats homogènes. Les données produites par chaque analyste ont été comparées par rapport au nombre de grains indéterminés et à la concentration pollinique moyenne à l'aide d'un test de Student entre les concentrations polliniques évaluées par chaque analyste.

3- Traitement des données

Pour chaque échantillon, la richesse pollinique (RP) indique le nombre de taxons identifiés, et la somme pollinique (SP)

indique le nombre total de grains comptés. La concentration pollinique (CP) indique la concentration en grains de pollen par cm³ de sédiments. Pour tester l'effort d'échantillonnage, une corrélation entre RP et SP a été réalisée à l'aide du logiciel Excel (Microsoft, 2013). Le logiciel Polpal (Nalepka & Walanus, 2003) nous a permis de construire un diagramme pollinique sous forme d'histogramme.

Les indices de Davis (1984) permettent d'établir un gradient de la relation entre la présence d'un taxon sur le site et son enregistrement dans le spectre pollinique. En utilisant la présence ou l'absence des taxons dans les relevés pollinique et de végétation, on peut calculer les 3 indices correspondant aux taxons associés ($A = (B_0 \times (P_0 + P_1 + B_0)^{-1} \times 100)$), aux taxons sous représentés ($U = (P_1 \times (P_1 + B_0)^{-1} \times 100)$) et aux taxons surreprésentés ($O = (P_0 \times (P_0 + B_0)^{-1} \times 100)$). On note respectivement B₀, P₀ et P₁ les nombres d'échantillons pour lesquels : le pollen et la plante correspondante sont présents dans les relevés, le pollen est présent mais pas la plante, la plante est présente mais pas le pollen. Cela permet de distinguer les taxons fortement associés TFA (A>65%), les taxons associés TA (50%<A<65%), les taxons faiblement associés TfA (faibles valeurs de A et relativement fortes valeurs de U et O), les taxons non associés TNA (A=0 et fortes valeurs de O et U ainsi que l'ensemble des espèces trouvés dans la végétation mais pas dans le pollen), les taxons surreprésentés TS (faible valeur de A, fortes valeurs de de O et U=0), et les taxons à une seule occurrence T1 (un seul grain trouvé dans les enregistrements).

Le logiciel PAST (Hammer et al., 2001) nous a permis de réaliser un dendrogramme en suivant un algorithme UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean*) sur la base de la distance de Chord entre les compositions polliniques des sédiments de chaque mare. De plus, nous avons fait des Analyses Factorielles de Correspondance (AFC) avec la même distance de Chord. Dans ces analyses, nous avons pris en compte l'abondance et la diversité pollinique en

enlevant les espèces à une seule occurrence, qui risquaient d'avoir un poids trop lourd dans les données, alors que leur présence est susceptible d'être due au hasard.

RESULTATS

1- Effet de l'analyste

Les analystes 1, 2, et 3 ont tous observé le même nombre de taxons, mais deux tiers des taxons ont été observés par tous (Annexe 2). De plus, la proportion de grains de pollen indéterminés est plutôt faible et identique pour tous les analystes (8,3 % au maximum dans l'échantillon 1). Un test de Student appliqué aux concentrations polliniques moyennes des analystes donne une p-value toujours supérieure à 0,05 (1-2 : p-value=0,488 ; 1-3 : p-value=0,280 ; 2-3 : p-value=0,238).

2- Effort d'échantillonnage

Une faible corrélation entre RP et SP (Table 1) ($R^2=0,48$) et non significative (p-value=0,06) est enregistrée. L'effort d'échantillonnage semble donc légèrement insuffisant : nous n'avons pas tout à fait atteint le pallier où l'apport de nouveaux grains ne contribue plus à l'apport d'une nouvelle espèce.

3- Spectre pollinique actuel dans chaque mare

Les enregistrements de chaque site ne sont pas très différents les uns des autres, mais les proportions des taxons sont inégales (Fig. 1). On peut considérer cinq classes de taxons. La première classe est celle des taxons majoritaires dans toutes les mares (>5%) : *Quercus ilex* est très présent, plus que *Q. pubescens* ou le genre *Pinus* et à un degré moindre *Phillyrea* et les Poaceae. La deuxième comprend les taxons présents dans toutes les mares mais non majoritaires (<5% dans la majorité des mares) : Cupressaceae (10% sur la mare 8), Apiaceae, Asteroideae, Cichorioideae, *Plantago* et *Xanthium*.

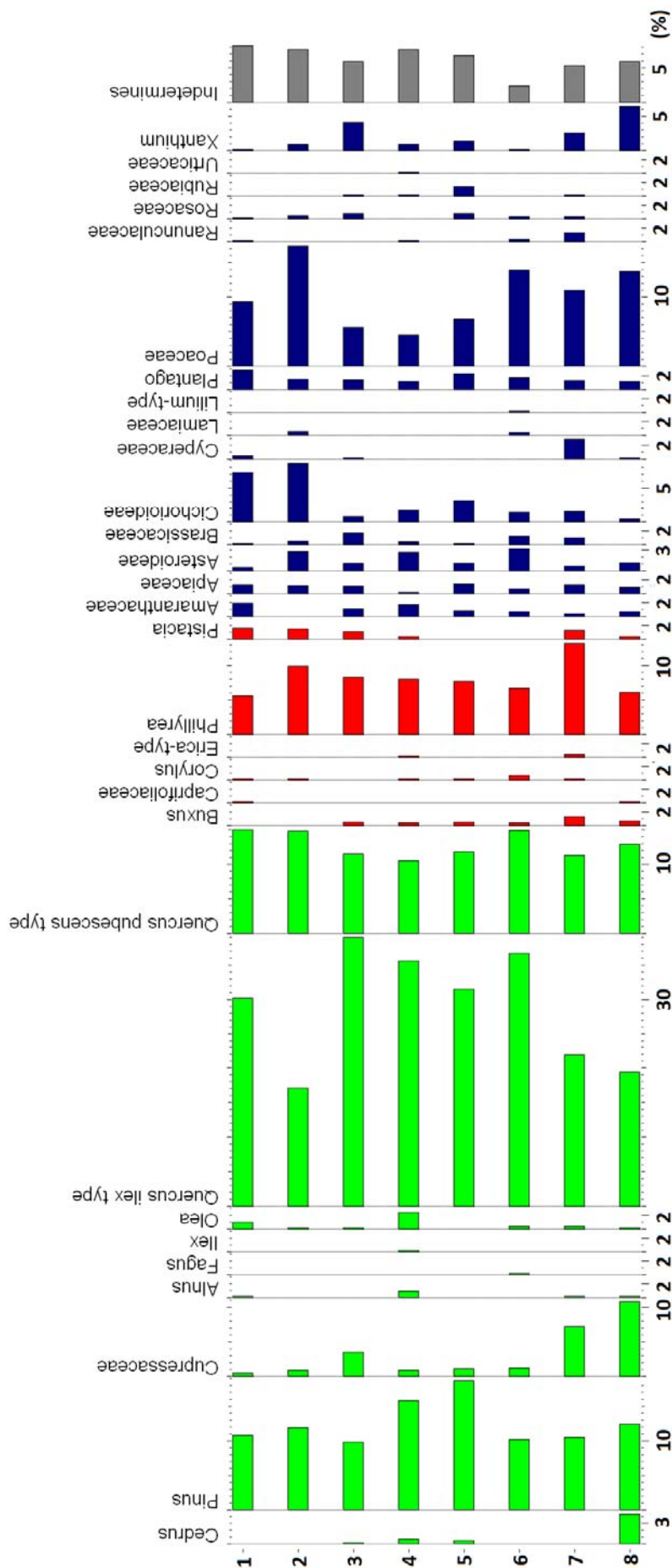


Figure 1. Spectres polliniques actuels en pourcentage des lavognes de Viols-en-Laval (Hérault). En vert, les taxons arboréens ; en rouge, les taxons arbustifs ; en bleu, les taxons herbacés ; en gris, les grains de pollen indéterminés.

La troisième comprend les taxons présents dans plus de 50% des mares mais en faible proportions : *Olea*, *Buxus*, *Corylus*, *Pistacia*, *Amaranthaceae* et *Rosaceae*. La quatrième concerne les espèces présentes dans 50% ou moins de 50% des mares et en faibles proportions : *Cedrus*, *Alnus*, *Fagus*, *Ilex*, *Caprifoliaceae*, *Erica*-type, *Cyperaceae*, *Lamiaceae*, *Lilium*-type, *Ranunculaceae*, *Rubiaceae* et *Urticaceae*. Enfin, la cinquième présente les grains de pollen indéterminés :

taux moyen faible (~ 5.5 %).

La richesse pollinique (RP) est comparable pour toutes les mares, mais varie de 17 (mare 2) à 24 taxons (mare 4) (Table 1). La concentration pollinique (CP) est très variable (Table 1), mais 2 groupes de mares semblent se dégager : celles ayant une concentration de l'ordre 10^4 grains/cm³ (1, 2, 3, 8) et celles de l'ordre de 10^5 grains/cm³ (4, 5, 6, 7).

Table 1. Richesses polliniques (RP, en nombre de taxons), sommes polliniques (SP, en nombre de grains) et concentrations polliniques (CP, en nombre de grains par cm³ de sédiments) des échantillons de surface des lavagnes étudiées (1 à 8).

Mare	1	2	3	4	5	6	7	8
RP	21	17	20	24	18	21	23	19
SP	350	309	335	395	335	399	369	385
CP	35412	30620	176823	100652	32427	114380	136003	32330

4- Comparaison de présence des taxons dans les enregistrements polliniques et la végétation

La Table 2 présente les indices de Davis, calculés pour les différents taxons observés. On retrouve des taxons dans toutes les catégories, la majorité étant classée dans les taxons non-associés.

5- Comparaison des sites étudiés sur la base des enregistrements polliniques

D'après le dendrogramme (Fig. 2), on peut distinguer deux groupes de mares : d'un côté les mares 1, 3, 4, 5, 6, et de l'autre 2, 7 et 8 ; la mare 2 forme presque un troisième groupe à elle seule.

Dans l'AFC (Fig. 3), on retrouve trois groupes peu différents de ceux du dendrogramme. Les mares 7 et 8 sont du côté négatif de l'axe 1, associées aux *Cupressaceae*, *Cyperaceae*, *Cedrus* et *Xanthium*. Les mares 1, 2, 4, 5 et 6 sont du côté positif, et les mares 1 et 2 se distinguent en étant clairement associées aux *Lamiaceae* et aux *Cichorioideae*. Enfin, la mare 3 est en position

intermédiaire. Aucun taxon n'est spécifiquement associé à une mare. Ainsi, les principales différences entre le dendrogramme et l'AFC résident dans le rapprochement des mares 1 et 2, et l'éloignement de la mare 2 par rapport aux mares 7 et 8 dans l'AFC.

DISCUSSION

1- Préalable méthodologique

Les différences entre les données produites par les trois analystes ne sont pas significatives. Cela indique qu'il n'y a pas eu de problème d'identification, et donc *a priori* pas de biais dans les comptages.

Au mois de janvier, l'ensemble de la végétation n'est pas représenté : la plupart des thérophytes, comme les *Urticaceae*, ainsi que certaines géophytes, comme *Lilium*-type, ne sont pas encore visibles, bien que leur pollen soient présent dans les sédiments (Fig. 1). Un autre biais peut donc venir de la période à laquelle nous avons réalisé les relevés phytosociologiques.

Table 2. Indices de *Davis (1984)* calculés en prenant en compte la présence ou l'absence de chaque taxon dans l'enregistrement pollinique et les relevés de végétation de chaque mare. TFA, Taxons Fortement Associés ; TA, Taxons Associés ; Tfa, Taxons faiblement Associés ; TNA, Taxons Non Associés ; TS, Taxons surreprésentés ; T1, Taxons à une seule occurrence.

	Taxons	P0	P1	B0	A	U	O
TFA	Asteroidae, Cichorioideae, <i>Xanthium</i> , <i>Phillyrea</i> , Cupressaceae, Poaceae	0	0	8	100,0	0	0
	<i>Quercus ilex</i> -type, <i>Quercus pubescens</i> -type, Apiaceae, <i>Plantago</i>	1	0	7	87,5	0	12,5
	<i>Buxus</i> , Rosaceae	0	2	6	75,0	25,0	0
	Brassicaceae	1	1	6	75,0	14,3	14,3
	<i>Pistacia</i>	1	1	5	71,4	16,7	16,7
TA	Cyperaceae	0	4	4	50,0	50,0	0
	Ranunculaceae	1	3	4	50,0	42,9	20,0
Tfa	Rubiaceae	1	4	3	37,5	57,1	25,0
	Lamiaceae	0	6	2	25,0	75,0	0
TNA	Caprifoliaceae	2	2	0	0	100,0	100,0
	Taxons présents dans les relevés, mais absents des enregistrements polliniques	0	8	0	0	100,0	0
TS	<i>Cedrus</i> , <i>Alnus</i>	4	0	0	0	0	100,0
	<i>Pinus</i>	8	0	0	0	0	100,0
	<i>Olea</i> , Amaranthaceae	7	0	0	0	0	100,0
	<i>Corylus</i>	5	0	0	0	0	100,0
	<i>Erica</i> type	2	0	0	0	0	100,0
T1	<i>Lilium</i> -type, Urticaceae, <i>Fagus</i> , <i>Ilex</i>	1	0	0	0	0	100,0

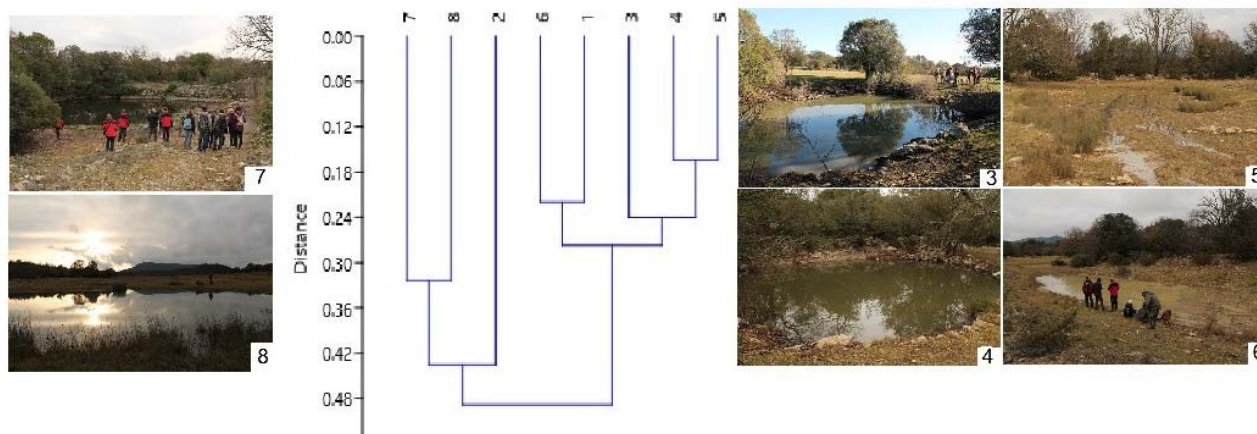


Figure 2. Dendrogramme (UPGMA, distance de Chord) permettant de classer les 8 mares étudiées sur la base des enregistrements polliniques

2- Spectre pollinique actuel des mares

Jacobson & Bradshaw (1981) définissent le pollen local comme produit par des plantes poussant à moins de 20 m des sites d'enregistrement. Le pollen extra-local provient de plantes poussant entre 20 et 100 m des sites, et le pollen régional provient de distances supérieures à 100 m.

Dans cette étude, certains taxons sont présents à faibles fréquences (<2 % de moyenne) dans les enregistrements polliniques, absents de nos relevés botaniques, mais présents dans la végétation régionale (catégories TS et T1 ; Table 2) : c'est le cas de *Alnus*, *Corylus*, *Erica*-type, *Fagus*, *Ilex* et *Olea* (Fig. 1). L'olivier est en particulier cultivé dans l'Hérault. Ces taxons ont une capacité de

dispersion à longue distance principalement liée à leur anémogamie. Il en est de même pour *Pinus*, que l'on retrouve pourtant à une fréquence moyenne plus élevée (10 %) dans les mares. Heim (1970) note que le pollen de *Pinus* est fidèlement représenté dans les pinèdes, mais qu'il est surreprésenté en dehors de ces formations. Nos observations corroborent cette surreprésentation, car

aucune des mares étudiées ne se trouve aux abords d'une pinède. De même, *Cedrus* atteint une fréquence pollinique maximale de 4 % sur la mare 8, qui traduit la présence d'une plantation de cèdres non loin du site d'enregistrement. Tous ces grains sont donc très probablement des apports plus ou moins lointains, et peuvent être classés dans la catégorie du pollen régional.

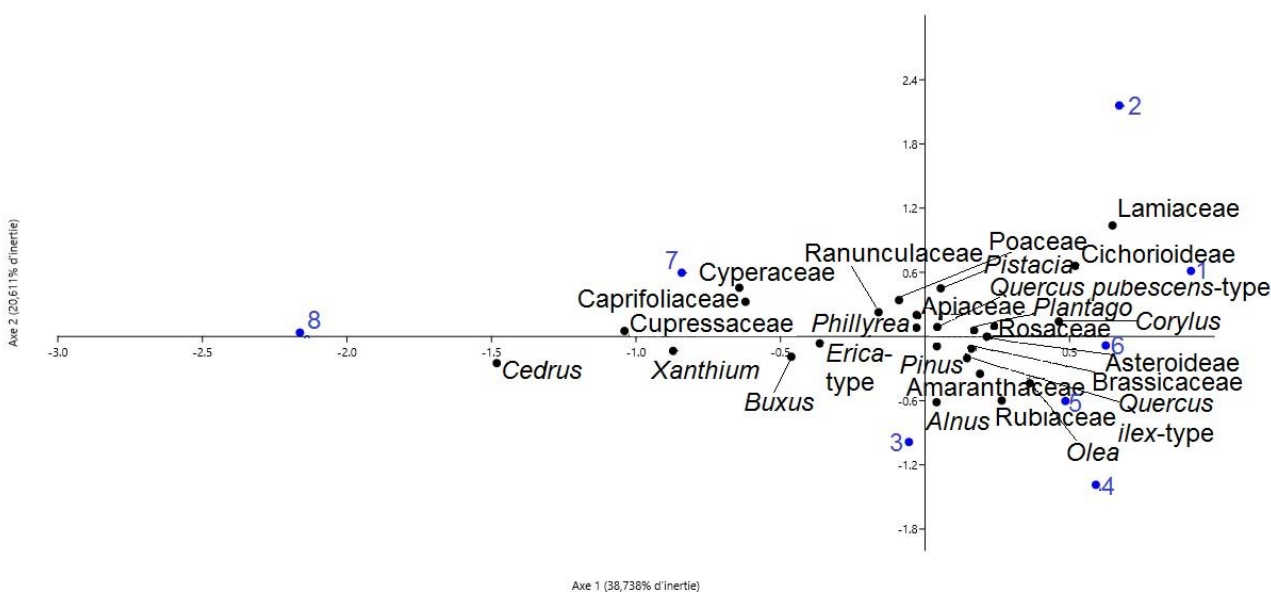


Figure 3. Plan factoriel 1/2 de l'AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) réalisée sur la base des enregistrements polliniques des mares étudiées. Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 38,7 et 20,6 %.

Buxus est présent dans la végétation entre 20 et 100 m des mares, mais on le retrouve dans des fréquences polliniques inférieures à 2% sur l'ensemble des mares (TFA ; Table 2). Il présente donc une faible capacité de dispersion pollinique, vraisemblablement due à son mode de pollinisation entomogame. Il est le seul taxon classé dans le pollen extra-local.

Enfin, plusieurs taxons sont présents dans les relevés phytosociologiques aux abords des mares, ainsi que dans les enregistrements polliniques. *Quercus ilex*, l'essence majoritaire s'avère d'ailleurs très bien représentée (20-40 %) et dans des fréquences plus importantes que celles de *Quercus pubescens* (10-15 %). Les Poaceae et

Plantago, qui présentent respectivement des fréquences polliniques de 5-20 % et de 1-3 %, caractérisent les milieux ouverts. Les Cupressaceae ont un pollen fragile et difficile à identifier, mais les grains de pollen que nous avons comptés appartiennent très probablement à *Juniperus oxycedrus*, et les mares où il est enregistré (3, 7 et 8) sont bien celles où il était le plus abondant. *Phillyrea* est également bien représenté, avec des fréquences moyennes de 8 % sur l'ensemble des mares. Nous avons enregistré le pollen de *Pistacia* sur toutes les mares, excepté les mares 5 et 6, où ces occurrences polliniques sont inférieures ou égales à 2%. Cette régularité dans le spectre pollinique est à mettre en relation avec l'anémogamie et l'abondance régionale de *Pistacia terebinthus*

(TFA ; [Table 2](#)). D'autres taxons sont présents irrégulièrement, à de faibles fréquences et sont répartis dans TFA, TfA et TI ([Table 2](#)) : c'est le cas des Caprifoliaceae (<1 % sur les mares 1 et 8), des Apiaceae (<2 % sur l'ensemble des mares), des Brassicaceae, des Lamiaceae, des Rosaceae et des Rubiaceae. Or, ce sont tous des taxons entomogames ou autogames. Les Cyperaceae, les Ranunculaceae et *Xanthium* sont bien enregistrés (TFA et TA ; [Table 2](#)), mais seulement dans les mares 7 et 8, ce qui explique pourquoi les mares 7 et 8 se détachent nettement des autres mares sur le dendrogramme et l'AFC ([Figs. 2 et 3](#)). Ces trois taxons correspondent à des plantes se développant localement, au sein ou sur le bord des lavognes (notamment, *Eleocharis palustris*, *Ranunculus baudotii*, *Xanthium strumarium*). Enfin, les mares 1 et 2 sont les mares où l'on a dénombré le plus de Cichorioideae (TFA ; [Table 2](#)). Ces mares présentent également de faibles concentrations polliniques, et il s'avère que ce sont les mares les plus perturbées par les troupeaux. La présence en grandes proportions de Cichorioideae, pollen très résistant, associée à une faible concentration pollinique, traduit une dégradation importante des autres grains de pollen et révèle la présence de sédiments oxiques ([Bottema, 1982](#)). L'ensemble de ces taxons appartient donc au pollen dit local.

Sur un plan plus général, la présence dans tous les spectres réalisés de types polliniques arboréens et non arboréens caractérise un paysage semi-ouvert et en mosaïque. De plus, *Plantago*, qui est un marqueur du pâturage ([Behre, 1981](#)), indique que le paysage est anthropisé.

3- Comparaison des sites étudiés sur la base des enregistrements polliniques

Les mares 1, 2, 5 et 8 présentent les concentrations polliniques les plus faibles, et les mares 3, 4, 6 et 7, les concentrations les plus élevées. Un des postulats de la palynologie implique que la pluie pollinique est homogène dans un lieu donné (S. Muller, comm. pers.) Les mares 3, 4, 6 et 7 présentent

également une surface plus importante que les autres. Nous pouvons supposer que d'autres facteurs peuvent entrer en jeu dans l'enregistrement de la pluie pollinique. Une mare de grande taille sera un plus grand "piège" à pollen, et pourra donc piéger un plus grand nombre de grains. Cependant, la mare 8, également d'un diamètre important, est caractérisée par une faible concentration pollinique. Un prélèvement de sédiment réalisé en bordure (et non au milieu de la mare, là où le pollen est en théorie le plus concentré ; S. Muller, comm. pers.) pourrait être évoqué. De plus, il est possible que le taux de sédimentation ait pu influencer l'enregistrement pollinique. Un apport important de matières minérales fait en effet chuter la concentration pollinique.

Les mares 7 et 8 se distinguent des autres par la composition taxonomique de leurs spectres polliniques. Elles ont également une superficie plus importante ([Ferrier et al., 2015](#)) et sont plus profondes. Elles s'assèchent donc peut-être moins en période estivale par rapport aux autres mares. La morphologie des mares peut donc être un critère important expliquant des disparités d'abondance pollinique. La mare 2 est une mare particulièrement exploitée par les troupeaux. Elle est régulièrement piétinée et bioturbée, ce qui peut entraîner le développement de bactéries ou de champignons aérobies susceptibles de dégrader le pollen déposé (S. Muller, comm. pers.). Les mares 3, 7 et 8, isolées sur le pôle négatif de l'axe 1 de l'AFC ([Fig. 3](#)), sont associées aux Ranunculaceae, Cyperaceae et *Xanthium*, qui sont des taxons regroupant des espèces hydrophiles, parmi lesquelles certaines étaient présentes exclusivement dans ces mares sur le terrain. Il s'agit aussi de trois mares difficiles d'accès pour les troupeaux, soit par leur distance aux pâturages (7 et 8), soit parce qu'entourées d'obstacles (fortes pentes, rochers autour de la mare 3). L'axe 1 représente donc probablement un gradient de perturbation des mares, depuis des mares peu perturbées (présence de plantes hydrophytiques) jusqu'à des mares fortement perturbées (abondance des Cichorioideae). Ces facteurs pouvant modifier fortement les compositions

polliniques des sédiments, ils peuvent aussi expliquer les différences observées quant aux regroupements des mares. En effet, la dégradation des enregistrements de la mare 2 peut l'exclure du groupe formé par les mares 1, 2, 4, 5, et 6 dans l'AFC, au point de la rapprocher des mares 7 et 8 dans le dendrogramme. De plus, l'importante diversité des diatomées dans les mares 2 et 7 les distingue également des autres mares (Aillaud et al., 2015). Ceci confirme que des facteurs internes à ces mares varient et peuvent aussi être responsables de modifications des spectres polliniques.

CONCLUSION

Le principe de base de la palynologie est que la présence d'un taxon dans un spectre pollinique indique sa présence dans la végétation régionale. Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'être plus précis : la connaissance des modes de dispersion de chaque taxon renseigne sur la distance des individus au lieu d'enregistrement. Ils permettent de distinguer deux catégories de taxons : (1) des taxons anémogames présents localement (<100 m) si leurs proportions dans le spectre pollinique sont supérieures à 5 % ; (2) des taxons entomogames et/ou autogames, qui sont présents localement dès lors qu'on les trouve dans les spectres, même en proportions très faibles (<3 %), leur absence ne donnant aucune indication de présence ou d'absence dans la végétation locale. Cette dernière catégorie présente au moins deux exceptions : (1) les Cichorioideae qui atteignent des proportions plus élevées (>3 %) lorsque le milieu est perturbé (par exemple par piétinement ou assèchement) ; (2) les taxons hydrophytiques (par exemple, *Xanthium* et Cyperaceae), qui peuvent atteindre des proportions supérieures à 3 % si ils sont présents localement.

Ces résultats peuvent être utilisés en tant que références pour l'étude d'enregistrements polliniques passés de milieux comparables, comme des mares naturelles. À condition de connaître les modes de pollinisation, les proportions de chaque taxon devraient suivre le modèle décrit précédemment. Il serait

cependant intéressant de comparer ces résultats à ceux d'études menées sur d'autres milieux favorables aux enregistrements polliniques (comme les lacs ou les tourbières), afin de savoir à quel point il est possible généraliser cette clé.

REFERENCES

- Aillaud M., Alranq B. & Besson O. (2015). Référentiel actuel des bio-indicateurs dans les mares du causse de Viols-le-Fort (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 8 : 67-79.
- Behre K.E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23 (2) : 225-245.
- Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. In: B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, J. Wiley & Sons, Chichester, pp. 455-484.
- Bottema S. (1982). Palynological investigations in Greece with special reference to pollen as an indicator of Human activity. *Paleohistoria*, 24 : 257-289.
- Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community*. McGraw Hill Book, New York, 432 p.
- Davis O.K. (1984). Pollen frequencies reflect vegetation patterns in a Great Basin (U.S.A) mountain range. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 40 : 295-315.
- Ferrier M., Negri L. & Passerieux A. (2015). Cartographie de la zone du Pic Saint-Loup. *Orpalm Synthesis*, 8 : 7-18.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). Paleontological Statistics Software: Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 9.
- Heim J. (1970). *Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale*. Thèse, Laboratoire de palynologie et de phytosociologie, Université de Louvain, 181 p.
- Jackobson G.L. & Bradshaw R.H.W. (1981). The selection of sites for paleovegetational

- studies. *Quaternary Research*, 16 : 80-96.
- Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.
- Reille M. (1990). *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. Ed. CNRS, Paris, 206 p.
- Tauber H. (1967). Differential pollen dispersion and filtration. *In*: E.J. Cushing & H.E. Wright (eds.), *Quaternary Palaeoecology*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, pp. 131-140.

ANNEXE 1. Protocole d'extraction du pollen utilisé (d'après Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986).

1^{er} jour

1. Mesure du volume des échantillons.
 - . Mettre exactement 10 ml d'eau distillée dans des éprouvettes graduées (25 ml) ;
 - . Ajouter les échantillons de sédiment et mélanger ;
 - . Mesurer le volume par déplacement d'eau ;
 - . Transférer le culot dans des tubes en polypropylène ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.
2. Elimination des carbonates (acide chlorhydrique : HCl 20%). A froid.
 - . Ajouter 10 ml d'HCl et agiter ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.
3. Rinçage à l'eau distillée.
 - . Ajouter 8-10 ml d'eau distillée et agiter ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.
4. Défloculation (hydroxyde de potassium : KOH 10%). A chaud.
 - . Ajouter 10 ml de KOH et agiter ;
 - . Chauffer 20 min à 100 °C ; agiter régulièrement, surtout dans le cas de sédiments compacts (argile, gyttja) ;
 - . Vider dans un tamis métallique posé sur un bécher de 50 ml.
5. Tamisage et rinçages
 - . A l'aide de jets d'eau distillés, à travers un tamis métallique posé sur un bécher de 50 ml, récupérer tout le matériel fin possible. Conserver les sables pour pesage et les macrorestes pour examen ;
 - . Centrifugations (2 200 tours/min pendant 5 min), suivies de l'élimination du surnageant (récupéré dans le bac "KOH" pour les premières). Répéter KOH à chaud + rinçages eau jusqu'à obtention d'un culot clair.

6. Élimination de la silice (acide fluorhydrique : HF 70%). A froid, 12 h minimum.
 - . Ajouter 5-8 ml de HF ; agiter et déposer les spatules dans un bécher d'eau distillée ;
 - . Laisser reposer 12 ou 36 heures (à tester) minimum (la nuit) ;

2^e jour

- . Le lendemain matin, diluer le tube avec de l'eau distillée et agiter ;
- . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant (récupéré dans le bac "HF").
7. Transfert du culot dans des tubes en verre (à fond rond) et rinçage à l'eau distillée.
8. Élimination des fluosilicates et acidification (acide chlorhydrique : HCl 20%). A chaud.
 - . Ajouter 8-10 ml d'HCl et agiter ;
 - . Chauffer 10 min à 100°C ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant
Répéter cette étape deux fois (et plus si nécessaire) pour éliminer complètement les éventuels gels de fluosilicates formés à la suite du traitement au FH.
9. Liqueur dense (chlorure de zinc) : 2 bains successifs (2 fois le volume du culot), au cours desquels les surnageants sont récupérés dans des tubes en polypropylène à l'aide d'HCl 20%.
 - . Centrifugation (1000 tours/min pendant 5 min), suivie de la récupération du surnageant.
10. Récupération des culots (réduction de la densité du liquide).
 - . Ajouter 8-10 ml d'HCl 20% et agiter ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.

11. Déshydratation (acide acétique : CH_3COOH).
 - . Ajouter 8-10 ml de CH_3COOH et agiter ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant
12. Élimination de la cellulose par acétolyse (anhydride acétique : $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ 97% ; acide sulfurique concentré : H_2SO_4 96%). A chaud.

L'acétolyse est une hydrolyse acide qui permet d'éliminer la cellulose que renferment les débris végétaux contenus dans les sédiments.

 - . Pour 8 tubes, préparer 50 ml de liquide acétolysant dans une éprouvette graduée : 45 ml d'anhydride acétique ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ 97%), auxquels on ajoute 5 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4 98 %).
 - . Ajouter 5-8 ml de liquide acétolysant dans chaque tube ;
 - . Chauffer à 100°C pendant 2 min, en agitant en continu ;
 - . Ajouter de l'acide acétique dans le liquide acétolysant afin de stopper la réaction. Lorsque celui-ci est suffisamment dilué, il est conseillé de rajouter un peu d'eau froide pour neutraliser complètement l'anhydride acétique ;
- . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant
13. Rinçage à l'eau distillée.
 - . Ajouter 8-10 ml d'eau distillée et agiter ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.
14. Rinçage à l'alcool.
 - . Ajouter 8-10 ml d'alcool et agiter ;
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.
15. Transfert du matériel pollinique dans les piluliers.
 - . Le transfert se fait avec une Pipetman 1000 μl , ce qui permet de récupérer la totalité du pollen.
 - . Centrifugation (2 200 tours/min pendant 5 min), suivie de l'élimination du surnageant.
 - . Séchage du pilulier à l'envers, pendant quelques min.
16. Montage dans la glycérine.
 - . Ajouter quelques gouttes de glycérine dans chaque pilulier.

ANNEXE 2. Taxons non identifiés par tous les analystes. n : non-observé ; o : observé.

Analyste	1	2	3	Total
Nombre de taxons reconnus	25	25	25	30
<i>Buxus</i>	o	n	o	16
Caprifoliaceae	n	o	n	2
Cyperaceae	o	o	n	15
<i>Erica-type</i>	o	o	n	3
<i>Fagus</i>	n	n	o	1
<i>Ilex</i>	o	n	n	1
Lamiaceae	n	o	o	4
<i>Lilium</i>	n	n	o	1
Ranunculaceae	n	o	o	9
Urticaceae	o	n	n	1
CP moyenne (en nombre de grains / cm ³)	95 069	96 038	75 146	82 331

REFERENTIEL ACTUEL DES BIO-INDICATEURS DANS LES MARES DU CAUSSE DE VIOLS-LE-FORT (HERAULT)

Mégane Aillaud¹, Bruna Alranq², Oriane Besson³

*Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (UMR 5554)
Institut de Botanique, 163 Rue Auguste Broussonet, 34090 Montpellier, France*

¹ megane.aillaud@etud.univ-montp2.fr, ² bruna.alranq@etud.univ-montp2.fr,
³ oriane.besson@etud.univ-montp2.fr

Encadrement : Laurent Brémond

Citation : Aillaud M., Alranq B. & Besson O. (2015). Référentiel actuel des bio-indicateurs dans les mares du causse de Viols-le-Fort (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 8 : 69-81.

Résumé : Dans le département de l'Hérault, peu de référentiels actuels de mares sont répertoriés. Notre étude essaie de répondre à ce manque en analysant des prélèvements d'eau et de sédiments dans 8 mares temporaires et permanentes du causse de Viols-le-Fort. Ces analyses portent sur les bio-indicateurs de type champignons, animaux et végétaux, ces derniers intégrant les diatomées. Les analyses quantitatives portant l'abondance et la diversité ont permis de mettre en évidence l'influence du milieu environnant sur l'enregistrement paléoécologique.

Mots clés : Microfossiles, diatomées, champignons, zone humide méditerranéenne

Abstract: *Modern repository of bio-indicators in ponds of Viols-le-Fort limestone plateau (Hérault).* In the French department of Hérault, few modern repositories are listed. Our study tries to answer this lack by analysing water and sediment samples from 8 temporary and permanent ponds, located on the limestone plateau of Viols-le-Fort. These analyses focus on bio-indicators such as fungi, animals, and plants including diatoms. Quantitative analyses carried on abundance and diversity revealed the influence of the surrounding environment on the palaeoecological record.

Keywords: Microfossil, diatom, fungi, Mediterranean wetland

Les mares temporaires méditerranéennes sont des biotopes complexes, diversifiés et liés aux conditions environnementales et climatiques. Abritant des populations souvent réduites et dont l'habitat est extrêmement fragmenté, elles représentent un matériel idéal pour analyser l'impact des conditions sur les processus adaptatifs et présentent une importance conservatoire majeure (Grillas et al., 2004).

Leur état actuel est le résultat de modifications provoquées à la fois par les activités anthropiques et par les facteurs

naturels. Les études paléoenvironnementales permettent d'apporter un recul temporel à la compréhension des écosystèmes actuels. Elles permettent de reconstituer les dynamiques environnementales, en évaluant la vitesse et la durée des changements, et d'en comprendre les changements et leurs conséquences sur le vivant. Les sédiments des zones humides, et les restes végétaux et animaux qu'ils contiennent, peuvent être utilisés dans le registre fossile comme indicateurs environnementaux.

Dans la région de l'Hérault, il n'existe peu ou pas de référentiels actuels des assemblages

biologiques des zones humides. Notre étude vise à réaliser un tel référentiel actuel sur la base de l'étude de 8 mares (lavognes) situées sur les communes de Viols-en-Laval et St-Martin-de-Londres. Pour cela, nous avons échantillonné des sédiments et de l'eau, en parallèle de la réalisation de relevés phytosociologiques.

MATERIEL ET METHODES

1. Présentation du site

La zone d'étude est située sur les communes de Viols-en-Laval et de St-Martin-de-Londres, près du Pic St-Loup et de l'Hortus. Ces deux reliefs calcaires sont situés à environ 20 km au nord de Montpellier. Le Pic St-Loup, d'âge jurassique, est le plus impor-

sant relief de la région. L'Hortus, qui se présente comme une grande falaise de calcaire face au Pic St-Loup, est constitué de calcaires du Crétacé inférieur. Ces deux reliefs se sont érigés à la suite d'un chevauchement qui a amené les strates de calcaire à la verticale (pendage de 90°).

Les 8 mares étudiées (Table 1 ; Ferrier et al., 2015) sont situées sur le plateau karstique de Viols-le-Fort, d'âge jurassique. Les sols sont peu profonds et fortement calcaires. L'eau est confinée en profondeur, ce qui est problématique pour les plantes et les troupeaux. Les mares sont des points d'eau à fond naturel (argile) ou pavé, appelés localement lavognes, qui ont été créés et sont entretenus depuis le Néolithique pour abreuver les troupeaux.

Table 1. Caractéristiques des mares étudiées

Mare	Hydrologie	Environnement	Profondeur	Substrat	Localisation GPS
1	Permanente	Pâturée, bois, rochers	Forte	Vase	758950,07 ; 6294749,44
2	Temporaire	Pâturée, bois	Faible	Vase	758936,25 ; 6294708,76
3	Semi-permanente	Pâturée, bois	Forte	Roche	758926,87 ; 6294639,63
4	Permanente	Pâturée, bois	Forte	Pavé	758784,21 ; 6294371,42
5	Temporaire	Pâturée, semi-ouverte	Faible	Vase	758748,84 ; 6294288,67
6	Permanente	Pâturée, prairies	Faible	Vase	758450,02 ; 6294302,78
7	Permanente	Mur et arbres	Faible	Vase	757616,48 ; 6295139,28
8	Permanente	Pâturée, prairies	Forte	Vase	758191,28 ; 6296924,84

2. Relevés et prélèvements

La végétation des mares a été caractérisée par la méthode phytosociologique, qui permet d'en décrire les unités élémentaires. Un prélèvement de sédiment a en outre été réalisé dans chacune des mares, si possible sous les profondeurs d'eau les plus importantes. La quantité du prélèvement était aléatoire. Deux prélèvements d'eau ont enfin été effectués, dans chaque mare, à l'aide de bocaux en plastique. La quantité d'eau prélevée n'était pas définie.

3. Etude des diatomées

Le sédiment de chaque mare recueilli dans les sachets a été homogénéisé, puis réparti dans 8 tubes. Les tubes ont été centrifugés à 3000

tours/mn (RPM) pendant 3 minutes. Le prélèvement de la mare 4 contenait trop de débris de feuilles et pas assez de sédiment : il a donc fallu filtrer les feuilles afin de récupérer le sédiment présent sur ces dernières. 2 cm³ de sédiments ont été prélevés et pesés humides (masse M1) et secs, après passage à l'étuve pendant une nuit (masse M2) (Annexe 1). Les 8 lames correspondant aux 8 mares ont été montées avec 5 µL de sédiment et une goutte d'eau, puis fixées au Naphrax. Enfin, pour chaque lame, les diatomées ont été identifiées à l'aide des atlas de Germain (1981) et Lavoie et al. (2008) et de la clé des diatomées de rivière du Royaume-Uni (<http://craticula.ncl.ac.uk>), et dénombrées au microscope optique.

4. Etude des autres restes (végétaux, animaux et champignons)

Chaque prélèvement d'eau (2 par mare et 3 pour la mare 7) a été placé dans une boîte de pétri pour être observé à la loupe binoculaire. Les plus petits objets ont été observés au microscope afin de les déterminer à l'aide des travaux de Van Geel (1976, 1978, 1980, 1986), Warner (1990), Van Geel et al. (2003, 2006) et Prager et al. (2006). Des sédiments ayant subi un traitement d'extraction du pollen (Champreux et al., 2015) ont également été observés au microscope optique, dans le but de rechercher des bio-indicateurs invisibles à l'œil nu. Les dénombrements ont été quantifiés sous forme de classes d'abondance : 1: 0-5% ; 2: 5-40% ; 3: 40-75% ; 4: 75-100%.

5. Analyse statistique des données

Des diagrammes ont réalisés avec le logiciel POLPAL, à partir des données de l'eau, des sédiments et de la diversité des diatomées, afin de mettre en évidence la diversité en bio-indicateurs relevés par les trois méthodes. Des courbes de raréfaction ont été réalisées à partir du logiciel R, afin de déterminer si l'effort de comptage a été suffisant ou non. La raréfaction est aussi une technique pour

évaluer la richesse en espèces, à partir des résultats de l'échantillonnage.

Enfin, une ACP a été réalisée avec le logiciel PAST pour déterminer la répartition des mares en fonction des dix genres de diatomées les plus représentés, afin de mieux comprendre leur distribution entre les échantillons. Ce même logiciel a été utilisé pour réaliser des classifications hiérarchiques ascendantes (distance euclidienne), afin d'observer les relations entre les mares en fonction des quantités de bio-indicateurs.

RESULTATS

1. Composition en diatomées

Le diagramme d'abondance des diatomées (Fig. 1) présente les assemblages pour chaque mare échantillonnée. Dix principaux genres de diatomées ont été identifiés (Annexe 2), avec des différences importantes d'abondance entre les différentes mares (0 à 60 %). La composition en diatomées diffère fortement selon les mares : les mares 1, 4 et 8 sont caractérisées par une forte abondance de *Navicula*, qui domine les autres genres ; les mares 6 et 7 présentent une diversité plus importante, avec 7 genres principaux ; et les mares 4 et 5 ont une plus faible diversité, avec seulement 4 genres principaux.

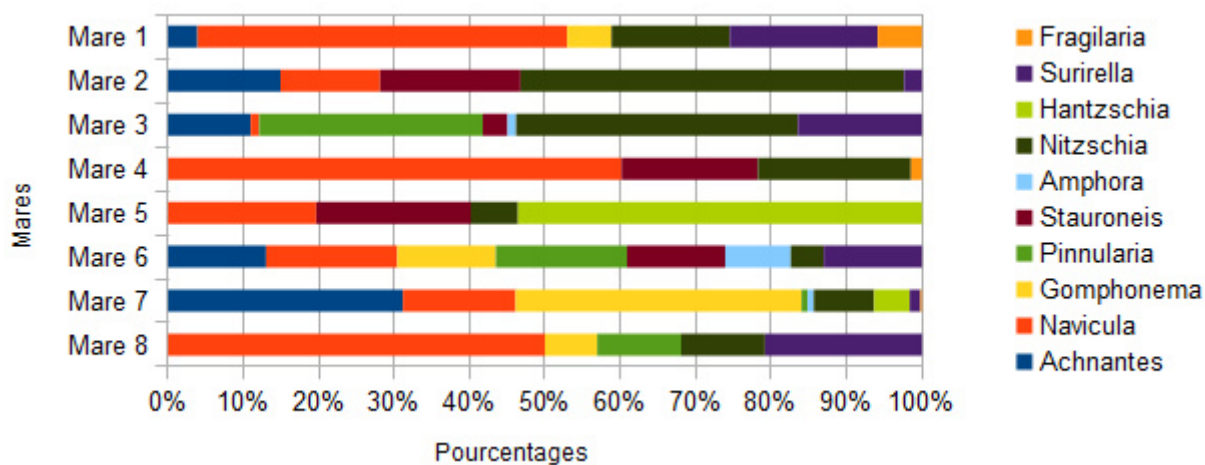


Figure 1. Variation de l'abondance moyenne des principaux genres de diatomées

Afin de tester la validité statistique des comptages de diatomées, nous avons réalisé des courbes de raréfaction (Annexe 3). Celles-ci représentent l'effort de comptage effectué lors des analyses de chacune des mares, d'après le nombre d'individus comptés par échantillon en fonction du nombre de taxons. Lorsque le nombre de taxons atteint un palier, le maximum de diversité est observé et l'effort de comptage a été suffisant. Les plateaux sont atteints pour les mares 2, 4 et 7, et le sont presque pour les mares 1, 3 et 8. L'effort de comptage y a donc été suffisant, et des analyses statistiques peuvent être réalisées. En revanche, nous n'avons pas atteint le plateau pour la mare 6, ce qui indique que l'effort de comptage était

insuffisant, et que les analyses sur cette mare risquent d'être biaisées.

La **Table 2** représente les ratios de diatomées comptées par ligne sur chaque lame. Le diagramme de la composition des mares en espèces de diatomées présente les 103 espèces de diatomées identifiées (Annexe 4). Les espèces majoritaires des différentes mares sont :

- mare 1 : *Parlibellus cruciculus* (28 %)
- mare 2 : *Nitzschia* sp. (35 %)
- mare 3 : *Pinnularia major* (18 %)
- mare 4 : *Navicula* sp. (26 %)
- mare 5 : *Hantzchia* sp. (41 %)
- mare 6 : *Diatoma* sp. (18 %)
- mare 7 : *Navicula minima* de type 1 (12 %) et *Gomphonema gracile* (10 %)
- mare 8 : *Navicula* sp. (36 %)

Table 2. Analyse quantitative des diatomées

Mares	Total dénombré	Richesse taxonomique	Nombre de lignes comptées	Ratio diatomées/lignes
Mare 1	142	21	19	7,47
Mare 2	428	13	21	20,38
Mare 3	133	17	32	4,16
Mare 4	315	14	13	24,23
Mare 5	306	9	16	19,13
Mare 6	42	17	14	3,00
Mare 7	1199	47	12	99,92
Mare 8	99	11	15	6,60

La **Figure 2** présente les résultats de l'ACP sur les assemblages des 10 principaux genres de diatomées comptés pour les 8 mares. Les assemblages entre les mares sont très similaires, excepté pour les mares 2 et 7, qui présentent une plus forte diversité en diatomées que les autres mares.

2. Étude des bio-indicateurs

Les diatomées sont clairement les bio-indicateurs les plus diversifiés (**Fig. 3**). Les mares pérennes présentent des diversités plus importantes, autant pour les diatomées, que pour les débris végétaux, animaux et

fongiques (ascospores, hyphes...) (**Fig. 3** ; Annexe 5).

La classification hiérarchique ascendante (**Fig. 4**) représente les relations entre les mares en fonction des bio-indicateurs présents, sans tenir compte de leur position géographique. On peut observer, sur le cladogramme de gauche, trois ensembles de mares : 2-5, 6-8 et 1-4. Les mares 3 et 7 se distinguent des autres, la mare 7 étant la plus originale. Sur le cladogramme de droite, qui exclut les diatomées, les paires 2-5 et 1-4 sont maintenues, tandis que les mares 6 et 8 ne sont plus appariées. La mare 7 est toujours éloignée des autres.

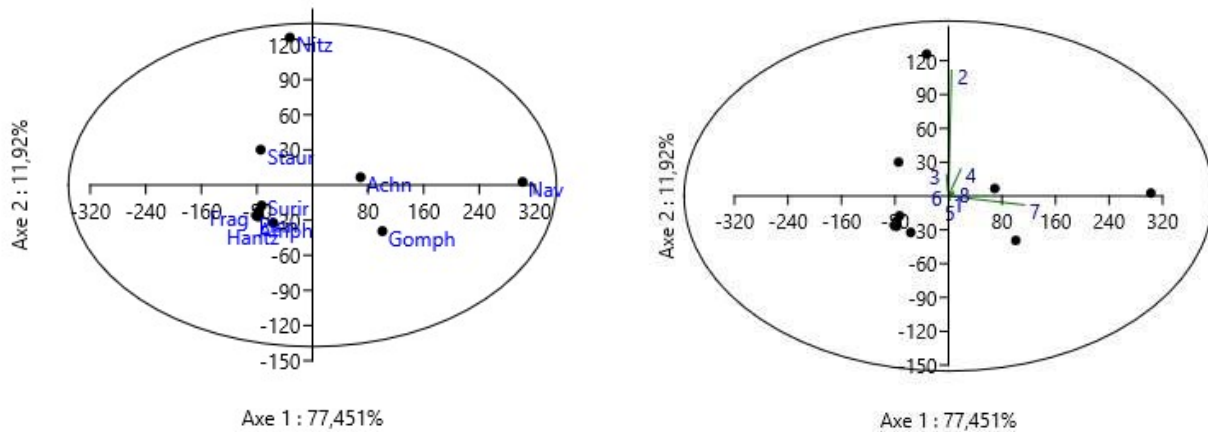


Figure 2. Axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les 10 principaux genres de diatomées. A gauche, graphe des diatomées ; à droite, graphe des mares.

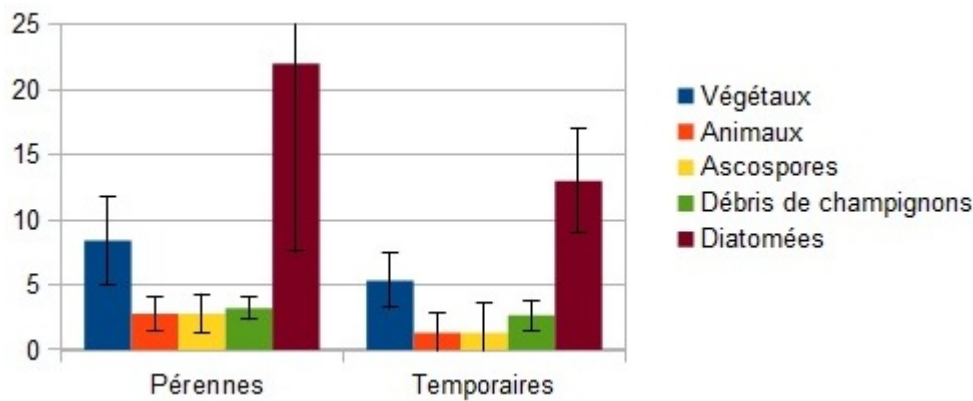


Figure 3. Diversité des bio-indicateurs en fonction du type de mare (permanente ou temporaire)

DISCUSSION

1- Les assemblages de diatomées

Les courbes de raréfaction montrent que le comptage de la mare 6 est insuffisant. Nous nous sommes alors posé la question de savoir s'il y avait un lien entre la productivité du milieu et l'effort de comptage nécessaire. Des différences importantes d'abondances des diatomées sont observées entre les mares (Tab. 2), notamment entre la mare 6, qui a le ratio le plus bas avec 3 diatomées par ligne, et la mare 7, qui a le ratio le plus élevé avec environ 100 diatomées par ligne. Ces différences pourraient être expliquées par les

lieux de prélèvements. Les mares étant de profondeurs différentes, il n'a en effet pas toujours été possible de prélever les sédiments au milieu de la mare, lieu où l'accumulation est théoriquement la plus importante. Les prélèvements réalisés au centre sont donc peut être plus représentatifs de la diversité. On observe sur l'ACP (Fig. 2) que les mares les plus différentes sont les mares 2 et 7, et que les genres de diatomées qui différencient le plus les mares sont *Navicula*, *Nitzschia*, et, dans une moindre mesure, *Gomphonema*. Ces observations sont confirmées par les analyses, car la mare 2 est principalement composée de *Nitzschia*, et la mare 7 de *Navicula* et *Gomphonema*. Les genres *Navicula* et

Nitzschia font parties des diatomées mobiles, qui présentent généralement une faible résilience face aux perturbations (Berthon et al., 2011). Le genre *Nitzschia* caractérise fortement l'axe 1 de l'ACP (Fig. 2). Son écologie halophile (Berthon et al., 2011) suggère que l'axe 1 pourrait correspondre à un gradient de salinité de l'eau. Ce résultat est surprenant au vu de la localisation des mares, et demanderait à être vérifié par des mesures

de salinité des eaux. Ce sel pourrait peut-être provenir d'apports pour les troupeaux ou le gibier. Au contraire de la mare 7, la mare 2 est fortement perturbée par le passage des moutons et l'assèchement régulier. Le fait que le genre *Navicula* soit nitrophile (Robert et al., 1981) permet d'interpréter l'axe 2 de l'ACP (Fig. 2) comme un gradient d'eutrophisation, lié au degré de fréquentation des mares par les troupeaux.

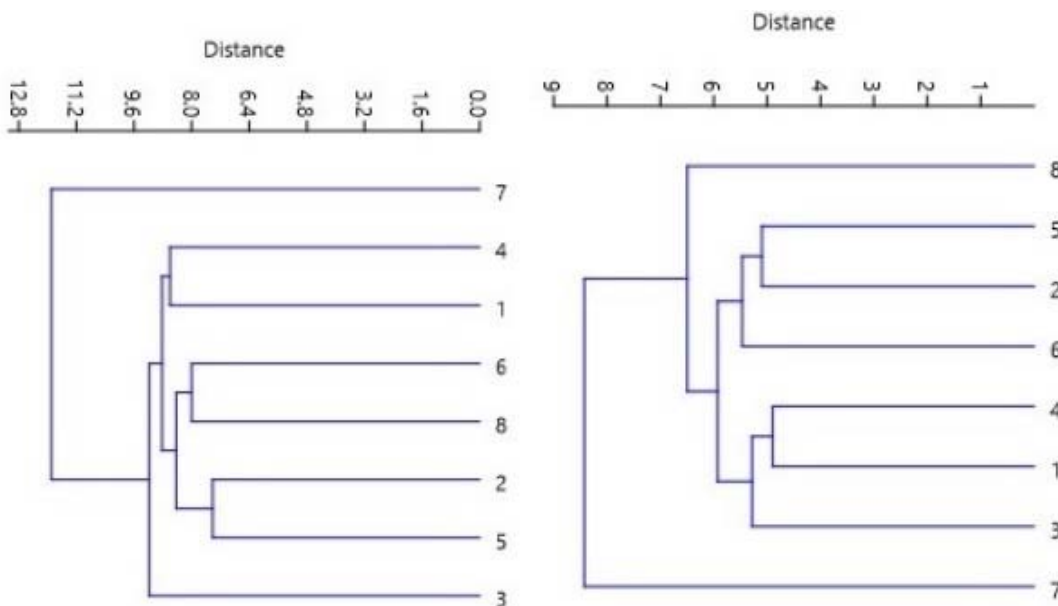


Figure 4. Classifications hiérarchiques ascendantes (distance euclidienne) de l'ensemble des bio-indicateurs (à gauche) et des bio-indicateurs autres que les diatomées (à droite)

2- Les bio-indicateurs végétaux

Les bio-indicateurs sont plus diversifiés dans les mares permanentes (Fig. 3), probablement en raison d'une accumulation à l'échelle de l'année, à la différence des mares temporaires qui ne fonctionnent qu'en hiver et au printemps. Ces mares, toujours en eau, peuvent accumuler et préserver une plus grande diversité de bio-indicateurs grâce au maintien d'un milieu anoxique moins propice à la dégradation de la matière organique. Dans les mares temporaires, au contraire, l'assèchement, qui dure parfois pour plusieurs mois, entraîne une oxygénation du substrat susceptible d'engendrer une dégradation rapide des bio-indicateurs. Les différences que nous observons entre la mare temporaire

2 et la mare permanente 7 (Fig. 2) se retrouvent également dans les enregistrements polliniques (Champreux et al., 2015), ce qui confirme cette dégradation des assemblages subfossiles lors des assèchements périodiques dans les mares temporaires.

Les cladogrammes (Fig. 4) illustrent les similarités entre mares sur la base des assemblages de bio-indicateurs (Annexe 6), sans tenir compte de leur position géographique. Afin d'expliquer les résultats obtenus, nous nous sommes posées la question de l'influence du milieu environnant et des caractéristiques des mares. Deux paires de mares (2-5, 1-4) se retrouvent à la fois sur le cladogramme total et sur le cladogramme excluant les diatomées, ce qui souligne leur similitude à la fois pour les assemblages de

diatomées et pour les autres bio-indicateurs. Les mares 2 et 5 sont deux mares temporaires très peu profondes (de l'ordre du centimètre) et très perturbées (Tab. 1). Ces mares ont en commun la présence de *Navicula*, *Hippodonta* et *Stauroneis*, et contiennent des débris de feuilles, d'hyphes fongiques et d'amas de cellules de champignon. Les mares 1 et 4, qui sont deux mares permanentes et artificielles, contiennent *Navicula* et *Nitzschia*, ainsi que des débris de feuilles, des hyphes fongiques, des amas de cellules de champignon et des arthropodes. Les mares 6 et 8 sont en revanche regroupées sur le cladogramme réalisé à partir de l'ensemble des bio-indicateurs, mais pas sur le cladogramme excluant les diatomées, ce qui révèle seulement des assemblages de diatomées similaires entre les deux mares. Elles se rapprochent également par leur structure et leur environnement, car ce sont des mares permanentes, très ouvertes et situées dans des milieux ouverts.

CONCLUSION

L'étude réalisée a permis de caractériser 8 mares du causse de Viols-le-Fort, en analysant les bio-indicateurs accumulés dans les sédiments. Elle a également permis la mise en place d'un référentiel actuel. Toutefois, les analyses quantitatives réalisées sur les bio-indicateurs sont peut-être biaisées, en raison de l'imprécision des classes utilisées. Seules les diatomées ont été dénombrées, et les résultats les concernant paraissent plus représentatifs. Il aurait été intéressant de mesurer les paramètres physico-chimiques des mares afin d'obtenir plus d'éléments de comparaison avec l'écologie des diatomées.

D'autres études, comme la palynologie (e.g., Champreux et al., 2015), permettent d'identifier la végétation environnante et de mieux interpréter les restes végétaux retrouvés dans les mares. En revanche, l'étude des macrorestes apporte des précisions taxonomiques plus précises, susceptibles d'affiner les données polliniques. L'objectif ultime des études actuelles, comme celle que nous avons menée, est de fournir des éléments

d'interprétation pour les enregistrements fossiles, qui pourraient être obtenus à partir de carottages. Ce type d'étude permettrait une analyse à long terme de la dynamique de la végétation, et de l'influence des perturbations.

RÉFÉRENCES

- Berthon V., Bouchez A. & Rimet F. (2011). Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south-eastern France. *Hydrobiologia*, 673 : 259-271.
- Champreux A., de Laage de Meux R. & Duval M. (2015). Enregistrement pollinique des lavognes (Viols-en-Laval, Hérault) : miroir déformant de la végétation. *Orpalm Synthesis*, 8 : 53-65.
- Ferrier M., Negri L. & Passerieux A. (2015). Cartographie de la zone du Pic Saint-Loup. *Orpalm Synthesis*, 8 : 7-18.
- Germain H. (1981). *Flore des diatomées des eaux douces et saumâtres*. Ed. Boubée, Paris, 444 p.
- Grillas P., Gauthier P., Yavercovski N. & Perennou C. (2004). *Les mares temporaires méditerranéennes*. Tour du Valat, Arles, 120p.
- Lavoie I., Hamilton B.P., Campeau S., Grenier M. & Dillon J.P. (2008). *Guide d'identification des diatomées des rivières de l'est du Canada*. Presses de l'Université du Québec, Québec, 241 p.
- Prager A., Barthelmes A., Theuerkauf M. & Joosten H. (2006). Non-pollen palynomorphs from modern alder carrs and their potential for interpreting microfossil data from peat. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141 : 7-31.
- Robert J.-M., Maestrini S., Heral M. & Zanette Y. (1981). Production des microalgues des claires ostréicoles en relation avec l'azote organique dissous excrété par les huitres. In: Actes du Symposium International sur les lagunes côtières, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, pp 389-395.
- Van Geel B. (1976). Fossil spores of Zygnemataceae in ditches of a prehistoric

- settlement in Hoogkarspel (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 22 : 337-344.
- Van Geel B. (1978). A palaeoecological study of holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 : 1-120.
- Van Geel B. (1980). A palaeoecological study of an upper Late Glacial and Holocene sequence from "De Bochert", The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 31 : 367-448.
- Van Geel B. (1986). Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. In: B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. J. Wiley & Sons, Chichester, pp. 231-246.
- Van Geel B., Buurman J., Brinkkemper O., Schelvis J., Aptroot A., Van Reenen G. & Hakbijl T. (2003). Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science*, 30 : 873-883.
- Van Geel B., Aptroot A. & Mauquoy D. (2006). Sub-fossil evidence for fungal hyperparasitism (*Isthmospora spinosa* on *Meliola ellisii*, on *Calluna vulgaris*) in a Holocene intermediate ombrotrophic bog in northern-England. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141 : 121-126.
- Warner B.G. (1990). *Methods in Quaternary Ecology*. Geoscience Canada Reprints Series 5, Geological Association of Canada.

ANNEXE 1. Masse des échantillons de sédiment avant et après passage à l'étuve, en gramme. M1 : masse humide, M2 : masse sèche.

Mares	M1	M2
Mare 1	3,1463	2,2898
Mare 2	3,0712	2,0956
Mare 3	3,3408	2,4295
Mare 4	2,0531	1,1014
Mare 5	2,9755	2,1891
Mare 6	3,0185	2,1770
Mare 7	2,2116	1,1494
Mare 8	3,6512	3,0419

ANNEXE 2. Principales diatomées identifiées dans les mares du causse de Viols-le-Fort



Achnantes



Cymbella



Minima



Nitzschia

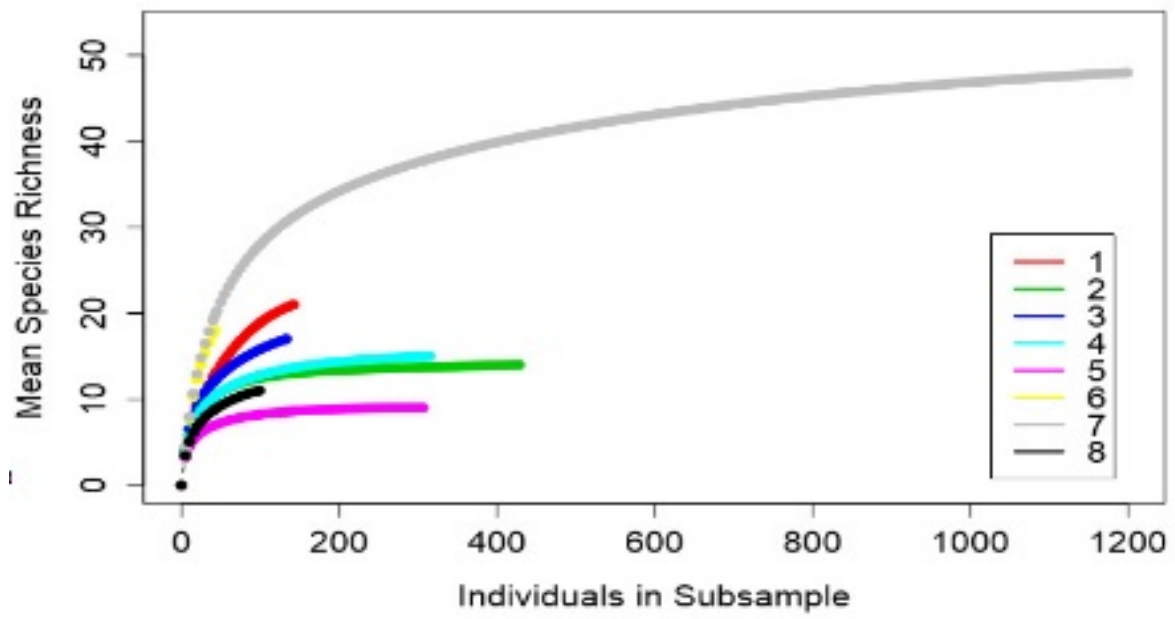


Navicula

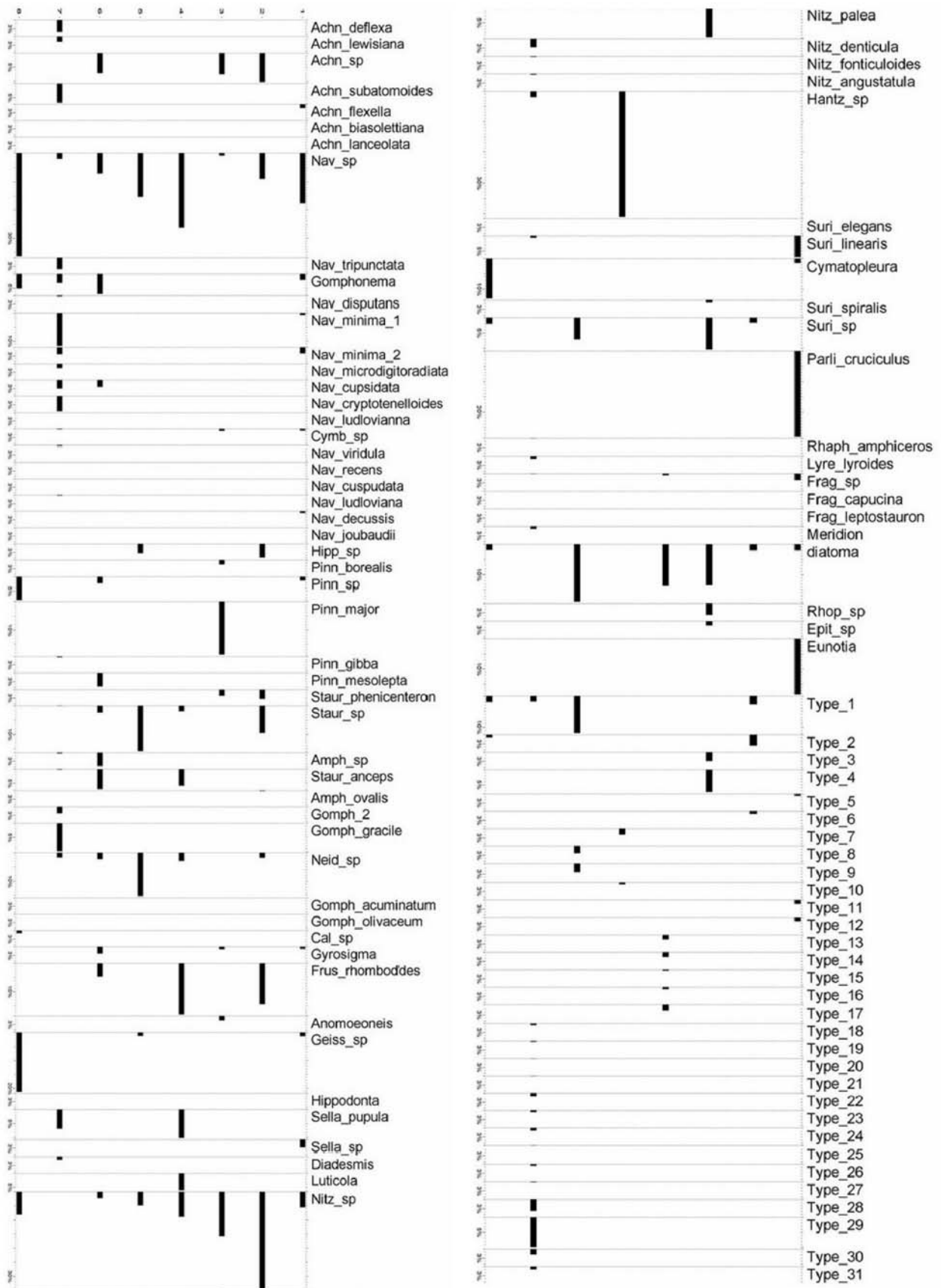


Sellaphora

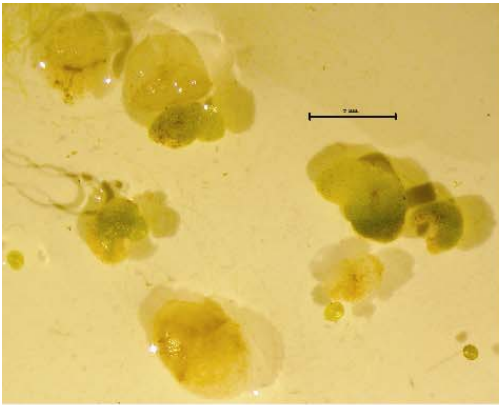
ANNEXE 3. Courbes de raréfaction



ANNEXE 4. Diagramme des diatomées dans les sédiments de surface des 8 mares étudiées



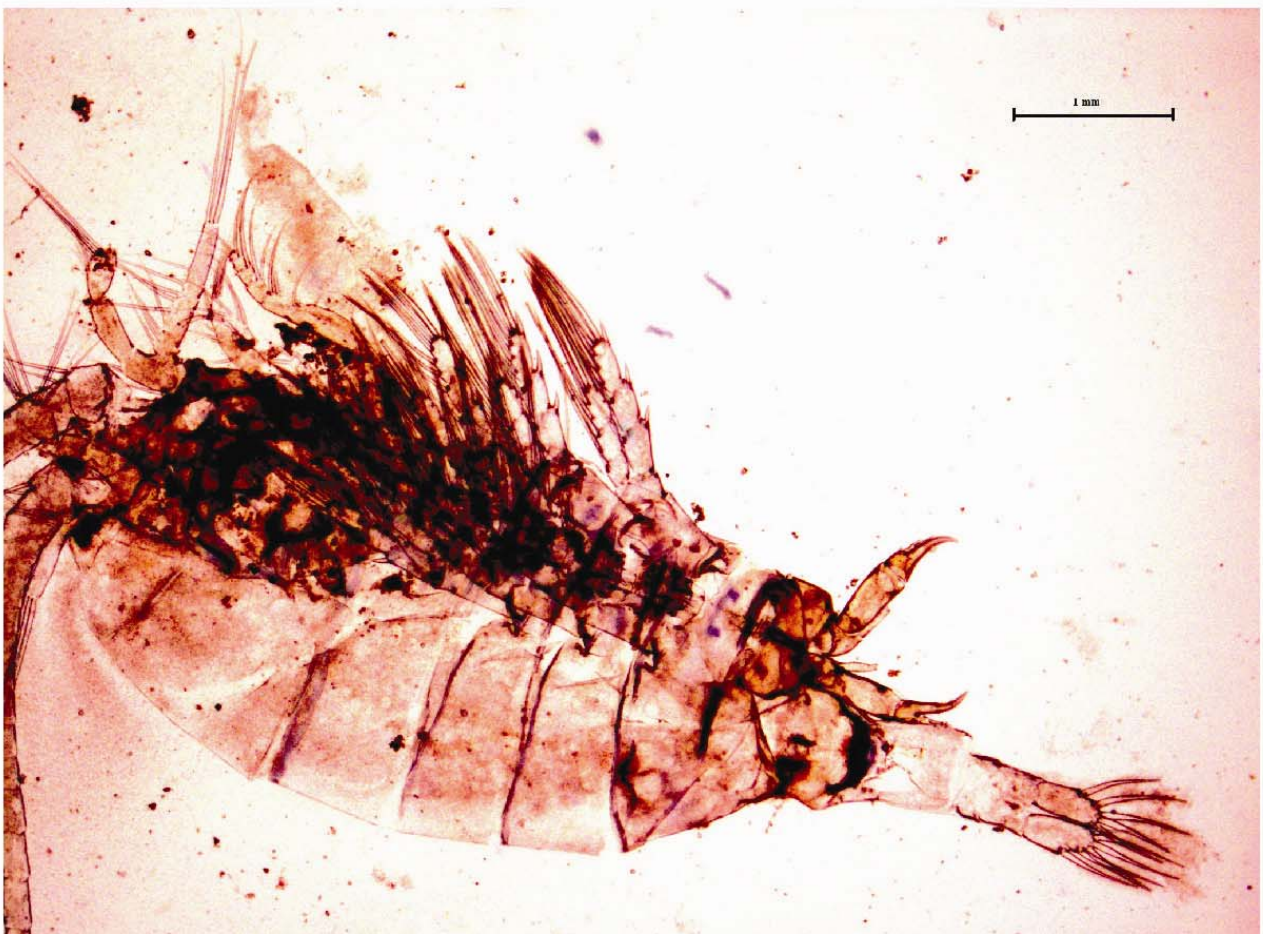
ANNEXE 5. Quelques autres bio-indicateurs des mares du causse de Viols-le-Fort



Lentilles



Algue filamenteuse



Copépode

ANNEXE 6. Diagramme des bio-indicateurs (diatomées exclues)

