

Orpalm

Synthesis

2016 - No 9 (2)



Littoral (1)



ORPALM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléocéologie
n°9 (2) - Année 2016

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

Editeurs associés
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
Coralie BARBIER, Maximilien
COSME, Chloé CORNIC, Wylia
DOLESON, Anaïs DORTEL,
Mareva DUBOIS, Marion
ESCUDIÉ, Justine INGHILLERI,
Nicolas LACHAUX, Alexandre
LAVERRE, Flore LIRON, Quentin
MAILLY, Lucie REIXACH, Mary
ROBLES

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
3^e trimestre 2016
Université de Montpellier

ORPAL 2016 : Entre mer et terre : des Aresquiers à la Gardiole (Hérault)

Six kilomètres tout au plus séparent les deux extrémités du transect couvert par l'école de terrain ORPAL du 21 au 23 janvier 2016. Malgré l'étroitesse de notre champ d'action, c'est une très grande diversité d'habitats naturels d'intérêt pour la biodiversité qui ont été visités et dont certains ont fait l'objet de relevés et/ou d'échantillonnages : terrains limoneux colonisés par la sansouire, prés ou steppes salé(e)s, mares et étangs saumâtres, mares temporaires sur calcaires marneux, pelouses calcicoles, garrigues à lentisque, kermès ou cade et pinèdes naturelles ou de reboisement...

De par les nombreuses pressions anthropiques, en particulier l'urbanisation du littoral, le conservatoire du littoral acquiert en 1982, entre Vic-la-Gardiole et Frontignan, 85,2 ha de terrains situés au cœur des lagunes. Désormais, le site du *bois des Aresquiers* fait l'objet d'actions visant à préserver et à restaurer les milieux sensibles et uniques, à l'interface entre la mer, les lagunes et la terre.

La montagne de la Gardiole n'est pas moins intéressante d'un point de vue écologique, car elle présente une diversité étonnante d'habitats liée à des facteurs locaux disparates (variations édaphologiques, géomorphologie, occupation du sol, perturbations...). Cette zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF) est caractérisée par une végétation méditerranéenne dominée par des garrigues, des reboisements de conifères (pin pignon, cyprès d'Arizona et Cèdres de l'Atlas) et des pelouses sèches à brachypode. Comme les Aresquiers, la montagne de la Gardiole est cernée par des zones urbaines et les axes qui les relient. Ainsi, les enjeux de préservation et de conservation des habitats et de la biodiversité n'en sont pas moins importants.

De cette succession et mosaïque de milieux, les groupes constitués se sont attachés à extraire et à valoriser des données géographiques et des marqueurs / *proxies* écologiques mobilisables pour des approches paléocéologiques, paléobiologiques ou paléoethnologiques, comme les mesures de diversité biologique, l'enregistrement pollinique et dendrochronologique, l'identification et la

quantification d'ostracodes et de bois. Nous remercions particulièrement Tiphaine Salel pour l'aide apportée à l'identification des ostracodes.

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

L'équipe pédagogique était cette année constituée de : Laurent Bremond, Benoît Brossier, Vincent Girard, Sarah Ivorra, Serge Müller, Laure Paradis, Ingeborg Soulié-Märsche et Jean-Frédéric Terral.

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



Un troupeau d'ORPALIENS semi-sauvages dans leur habitat naturel, entourés des manadiers de l'UM

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

ORPAL & ORPAM en bref

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

Contenu pédagogique

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

Apport pour les étudiants

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

Organisation des modules

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

Déroulement d'ORPAL-ORPAM

Etape 1/5 : Briefing méthodologique

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

Etape 2/5 : Stage de terrain

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

Etape 3/5 : Stage en laboratoire

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

Etape 4/5 : Rédaction et présentation orale

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

Etape 5/5 : Evaluation et publication

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

Mise en garde : Les articles présentés dans cette revue, bien que corrigés par les équipes pédagogiques, sont des travaux réalisés par des étudiants de 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 rebaptisée en prévision de l'intégration, en 2015-2016, des travaux de l'UE ORPAM.

ORPAL 2015-2016

Littoral, Hérault

Escudié M. & Inghilleri J. : <i>Influence de l'occupation du sol sur la végétation des milieux littoraux méditerranéens: étude d'un transect côtier, des Aresquiers à la Gardiole (Hérault)</i>	9
Dortel A., Dubois M. & Mailly Q. : <i>Richesse spécifique et concentration des ostracodes dans les sédiments de surface lagunaire des étangs de Palavas (Hérault, France) : corrélation avec la salinité et le couvert végétal</i>	27
Barbier C., Cornic C. & Reixach L. : <i>Etude de bois flottés du littoral de la région de Montpellier (Hérault)</i>	37
Doleson W., Laverré A. & Liron F. : <i>Dynamique post-chablis d'un peuplement côtier de pin d'Alep (Pinus halepensis) dans le bois des Aresquiers (Hérault, France)</i>	45
Cosme M., Lachaux N. & Robles M. : <i>Référentiel pollinique actuel de la végétation du littoral méditerranéen (Palavas, Hérault)</i>	57



Lamprothamnium papulosum, une Characeae rare des milieux saumâtres littoraux (photo : S. Muller)

INFLUENCE DE L'OCCUPATION DU SOL SUR LA VEGETATION DES MILIEUX LITTORAUX MEDITERRANEENS: ETUDE D'UN TRANSECT COTIER, DES ARESQUIERS A LA GARDIOLE (HERAULT)

Marion Escudié ¹, Justine Inghilleri ²

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

¹ marion.escudie@etu.umontpellier.fr, ² justine.inghilleri@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Laure Paradis, Serge Muller

Citation : Escudié M. & Inghilleri J. (2016). Influence de l'occupation du sol sur la végétation des milieux littoraux méditerranéens: étude d'un transect côtier, des Aresquiers à la Gardiole (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 9-25.

Résumé : La plaine littorale méditerranéenne du Languedoc est aujourd'hui essentiellement couverte de sansouïres et de dunes dégradées. La dynamique d'occupation des sols et les facteurs de distribution des espèces végétales depuis la colline de la Gardiole jusqu'à la dune des Aresquiers (littoral ouest-montpelliérain) ont été définies grâce à l'association d'études phytosociologiques et cartographiques diachroniques. Ainsi, depuis 1954, l'urbanisation et la déprise agricole ont marqué le paysage, avec notamment le développement des communes de Vic-la-Gardiole et de Mireval. Les zones naturelles semblent assez stables, mais l'homogénéité de la flore et l'absence d'espèce rare dans les milieux étudiés révèle de fortes perturbations anthropiques passées. Ce littoral autrefois structuré par une succession de dunes a vu sa diversité végétale diminuer drastiquement depuis environ un siècle, conduisant à des changements importants dans la dynamique écologique côtière.

Mots clés : Cartographie, phytosociologie, conservation, étude diachronique

Abstract: *Influence of land use on the vegetation of Mediterranean coastal habitats: study of a transect from "les Aresquiers" to "la Gardiole" (Hérault).* Nowadays, the French Mediterranean coastal plain is mostly covered by salt marshes and degraded dunes. We used a combination of diachronic cartography and phytosociological studies to determine the land-use dynamics and the key factors of the distribution of vegetation from the Gardiole hill to the Aresquiers dune, on the west coast of Montpellier. We found that since 1954, urbanisation and the decline of agriculture has shaped the landscape, with notably the expansion of Vic-la-Gardiole and Mireval cities. The natural areas seem quite unchanged, but the absence of rare species within the studied habitats reflects strong past anthropogenic disturbances. This shoreline formerly composed of a succession of dunes underwent a drastic reduction of its floral diversity in the last century, leading to important changes in the coastal ecological dynamic.

Keywords: Conservation, cartography, phytosociology, diachronic study

La zone d'étude de l'unité d'enseignement ORPAL 2016 se situe sur les côtes du Golfe du Lion, entre le Massif de la Gardiole et la plage des Aresquiers, sur la commune de Vic-la-Gardiole (34). Le littoral est constitué de plusieurs étangs séparés de la mer par un lido dunaire. La salinité des sols est très largement influencée par le climat méditerranéen caractérisé par une saisonnalité marquée (hivers doux et déficit hydrique estival important).

Les terrains de la zone littorale sont calcaires, argileux et sableux. La proximité de l'agglomération montpelliéraine, la présence de stations balnéaires et le développement d'activités agricoles intensives (en particulier, viticulture et pâturages) génèrent d'importantes perturbations pour les milieux naturels (DOCOB Natura 2000, 2015a, 2015b). Pour ces raisons, de nombreuses zones humides littorales bénéficient de statuts de protection. Parmi elles, le site des étangs palavasiens est classé en zone Natura 2000 au titre des directives oiseaux et habitats (SIEL, 2006), et les terrains côtiers bénéficient de la gestion et de la protection du Conservatoire du Littoral.

La végétation de ces étangs littoraux a été étudiée par Corre (1985). Cet auteur décrit les gradients de végétation le long du littoral du Golfe du Lion. Il identifie et hiérarchise les facteurs déterminant la structure des prés salés (appelées localement sansouïres). La phytosociologie (Braun-Blanquet, 1932) étudie la composition des formations végétales et leurs relations avec leur biotope. Elle se fonde sur le concept d'association végétale (Clements, 1916), définie comme un habitat homogène. L'étude de la dynamique de ces habitats permet de comprendre l'évolution des milieux selon une approche historique.

La cartographie végétale est un outil essentiel à la compréhension de l'évolution des paysages et à la prédiction des impacts de l'activité de l'Homme (Corre, 1985). L'étude cartographique diachronique s'effectue en général à partir d'images aériennes ou

satellites rectifiées géométriquement et pouvant être géoréférencées. Des bases de données complètes couvrent la zone littorale de l'Hérault. Les cartes de Cassini, les cartes de végétation du CNRS et les cartes géologiques en sont des exemples (Annexe 1).

A travers l'association des ces deux méthodes, la phytosociologie et la cartographie diachronique, notre travail a pour objectifs de (1) préciser le cadre géographique (cartographie à l'aide d'un SIG), (2) déterminer le contexte écologique (phytosociologie), et (3) reconstituer les dynamiques paysagères afin d'identifier les principales menaces et conséquences de l'activité humaine.

MATERIEL ET METHODES

En plus de nos travaux de cartographie et de phytosociologie, différentes méthodes ont été mises en œuvre par les autres groupes (Annexe 2) dans le cadre de cette école de terrain pour reconstituer les dynamiques récentes des milieux et réaliser des référentiels actuels (palynologie, dendroécologie, dendrochronologie, sédimentologie et étude des ostracodes).

1- Phytosociologie

Relevés de terrain

Les relevés phytosociologiques ont été réalisés selon la méthode de Braun-Blanquet (1932) :

- Identification des différentes unités de végétation homogènes, qui font chacune l'objet d'un relevé. Nous avons déterminé 13 zones d'aspect homogène sur différents milieux (dunaire et arrière-dunaire, jonçaises, sansouïres, pinèdes, fruticées, mares temporaires) de la plage des Aresquiers jusqu'à la colline de la Gardiole, à 6,5 km dans les terres (Fig. 1).
- Calcul de l'aire minimale. Il s'agit de définir « une surface suffisamment grande pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes sur l'individu d'association » (Guinochet, 1973). Cette surface varie selon la nature du peuplement étudié. Pour cela, nous commençons par noter toutes

les espèces présentes dans un premier carré de 1m sur 1m. Après avoir agrandi la largeur de ce carré pour qu'il mesure le double (2m sur 1m), nous notons les nouvelles espèces observées. On étend ensuite la longueur de ce rectangle pour obtenir un carré de 2m sur 2m et on note les nouvelles espèces observées. L'agrandissement du carré se poursuit côté par côté, on estime que l'aire minimale est atteinte lorsque les relevés ne présentent plus de nouvelles espèces.

- Evaluation de l'abondance relative de chaque espèce selon l'échelle d'abondance-dominance suivante, adaptée de [Braun-Blanquet \(1932\)](#): +, individus rares ; 1, < 5% de recouvrement ; 2, 5-25 % ; 3, 25-50 % ; 4, 50-75 % ; 5, 75-100 %.

Traitement des données

Les données phytosociologiques récoltées ont été reportées sous forme de tableau (Annexe 3) afin de pouvoir les traiter à l'aide de méthodes statistiques, notamment des analyses multivariées à l'aide du logiciel Past2 ([Hammer et al., 2001](#)). Nous avons utilisé une classification hiérarchique ascendante (CHA) qui regroupe les différentes zones d'échantillonnage sous forme d'un dendrogramme. La CHA met en évidence les relations de proximité entre les différentes zones en fonction des espèces qui y vivent. La distance utilisée ici est celle de Chord.

Ce logiciel de traitement statistique nous a aussi permis d'effectuer une analyse factorielle des correspondances (AFC). Ce traitement de données discontinues permet de répartir les milieux et les espèces dans l'espace et de les regrouper selon les axes qui expliquent la meilleure variance possible entre ces échantillons. Le nombre d'axes factoriels, autrement dit le nombre de dimensions de cet espace, correspondant ici à « nombre de zones étudiées – 1 » est de 12, car il y a moins de zones étudiées que d'espèces relevées. Les axes sont significatifs si leur valeur propre est supérieure à : $1/12 \times 1.5 = 12.5\%$ (valeur-propre des axes en

cas de distribution aléatoire des variables $\times 1,5$). Cette méthode permet la détermination de facteurs de distribution des échantillons et les relations entre ces facteurs, en plus de mettre en évidence les groupes de milieux qui peuvent apparaître sur le dendrogramme. Les espèces présentes dans une seule zone, ne jouant pas un rôle significatif dans les écosystèmes, n'ont pas été prises en considération pour permettre un regroupement ou une différenciation plus forte des différents milieux, basés sur les espèces récurrentes et leur abondance.

2- Cartographie

Afin d'étudier à une plus large échelle l'évolution de l'occupation du sol lors des 60 dernières années sur la zone choisie ([Fig. 1](#)), nous avons utilisé des photographies historiques aériennes localisées sur les communes de Vic-la-Gardiole, Frontignan, Fabrègues et Mireval et incluant nos 13 points de relevés botaniques. Le téléchargement des photographies a été fait à partir du site « Géoportail ». Les clichés ont été obtenus à partir de la version avancée de l'application « Données » et de l'outil « Consulter les données historiques ». Ces ressources nous ont permis d'étudier l'évolution sur un pas de temps d'environ 15 ans (années 1954, 1968, 1982, 1996 et 2012). Les clichés scannés et proposés au téléchargement format image (.jp2) ont été géoréférencés dans le système de coordonnées Lambert 93 avec l'outil « Géoréférencement » du logiciel de cartographie « QGIS ».

Les bordures des clichés obtenus étant souvent déformées, nous les avons découpées à l'aide du logiciel « Irfanview », pour éviter tout biais lors du géoréférencement. Ce dernier s'effectue en repérant des points fixes dans le paysage, que l'on retrouve à la fois sur les photos actuelles (ici, des clichés de 2012) déjà référencées et sur le cliché que l'on souhaite géoréférencer. Les images sélectionnées pour chaque année sont à une échelle comprise entre 1/15000 et 1/30000, afin de limiter les erreurs. Plus la photo est grande plus le nombre de points choisis doit être important. Nous avons utilisé une

quinzaine de points pour chaque photo. Le résidu obtenu a permis d'évaluer la pertinence des points et d'optimiser ainsi la qualité du géoréférencement.

La cartographie de la zone se fait ensuite par photo-interprétation des images obtenues. La zone d'étude s'étendant sur 2580 hectares, nous avons utilisé une échelle parcellaire pour simplifier le travail de caractérisation des différents milieux. Nous n'avons pas modifié

les tracés des parcelles (outils de numérisation graphique), mais uniquement les données de la table attributaire de la couche vecteur du découpage parcellaire (base de données parcellaire de l'IGN). Au vu de la basse qualité de certaines prises de vues, nous avons défini une typologie par grands groupes de couverts végétaux : pinèdes et garrigues, marais et prés salés, zones agricoles, zones urbanisées et milieux d'eau libre.

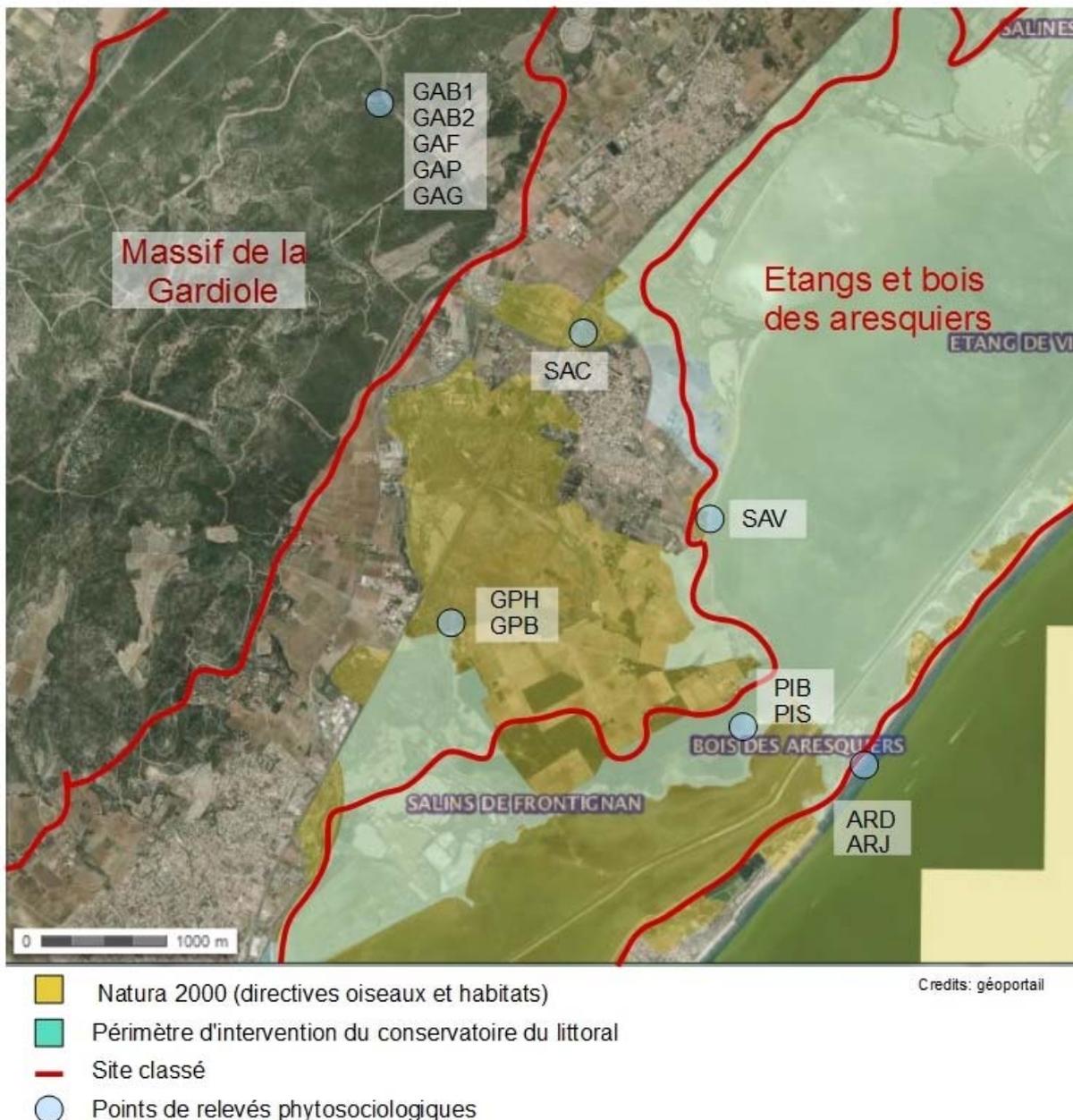


Figure 1. Localisation des relevés phytosociologiques et statuts de protection de la zone

Les parcelles ont ainsi été caractérisées sur les clichés de 2012. Les années précédentes ont ensuite été traitées par superposition avec la couche parcellaire précédemment obtenue. La superficie de chacun des milieux a été calculée pour chaque année grâce à l'outil « *Calculatrice de champs* ». L'évolution des types de milieux a ensuite été calculée sur la base des variations de surface occupée à chaque pas de temps (en ha) en utilisant la jointure attributaire. Le tableur Excel nous a finalement permis de mettre en forme nos résultats et de les convertir en pourcentages.

RESULTATS

1- Phytosociologie

Classification hiérarchique ascendante

Le dendrogramme obtenu par CHA sur la base des relevés phytosociologiques (Fig. 2) permet de distinguer deux groupes, traduisant un gradient altitudinal ou d'éloignement à la mer : (1) milieux de plaine (salés) comprenant la dune et la jonçaie des Aresquiers, les trois sansouïres et les jonçaies de la Grande Palude, (2) l'intérieur des terres, relevés principalement effectués sur la colline de la Gardiole (58 m d'altitude). Ce groupe comprend les deux pinèdes, les zones à fruticées, les mares temporaires et, fait intéressant, la pinède des Aresquiers pourtant située en zone de « plaine », proche de la mer.

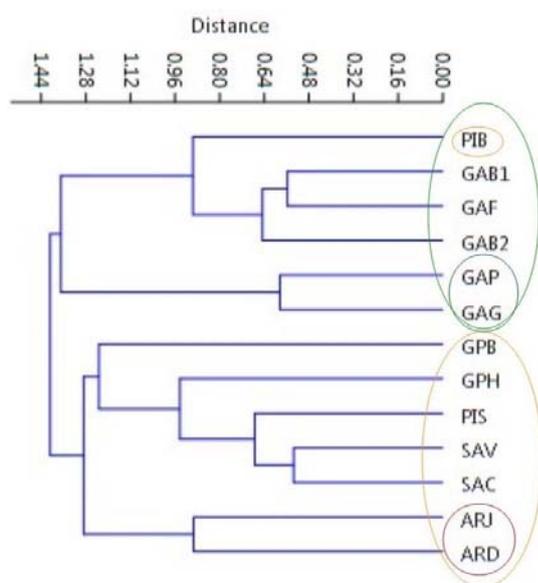


Figure 2. Classification hiérarchique ascendante (CHA) des relevés phytosociologiques

Au sein du premier groupe, on peut distinguer un sous-groupe « jonçaie et dune des Aresquiers ». Au sein du second groupe, les deux mares temporaires forment également un sous-groupe frère de celui formé par les bois, la fruticée et la pinède.

Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'axe 1 de l'AFC (Fig. 3) reprend les deux groupes mis en évidence par le dendrogramme, à savoir les milieux situés sur la colline de la Gardiole d'une part et ceux situés dans la plaine et sur la dune d'autre part (Fig. 3). On obtient ainsi une nette séparation avec, à gauche, un groupe « plaine/sel », et, à droite un groupe « colline/non salé » contenant à nouveau le bois des Aresquiers (PIB). L'axe 2 de la Figure 3 a apporté des précisions parmi les milieux du groupe « colline/non salé » : il distingue les mares temporaires des pinèdes et de la fruticée. Il met en évidence les espèces caractéristiques des différentes communautés (Braun-Blanquet, 1932). Dans la garrigue, on retrouve entre autres le Cade (*Juniperus oxycedrus*) et le Brachypode rameux (*Brachypodium retusum*), et dans les mares temporaires la Menthe pouliot (*Mentha pulegium*) et le Scirpe-jonc (*Scirpoides holoschoenus*).

L'axe 3 de la Figure 3b met en évidence 3 communautés distinctes parmi le groupe « plaine/littoral » :

- Les milieux dunaires (dune et jonçaie des Aresquiers) abritant l'Obione faux pourpier (*Halimione portulacoides*),
- Les sansouïres (incluant la Grande Palude haute: GPH) caractérisées par des espèces halophiles telle que la Salicorne en buisson (*Sarcocornia fruticosa*),
- Les marais à héliophytes, incluant la Grande Palude basse (GPB).

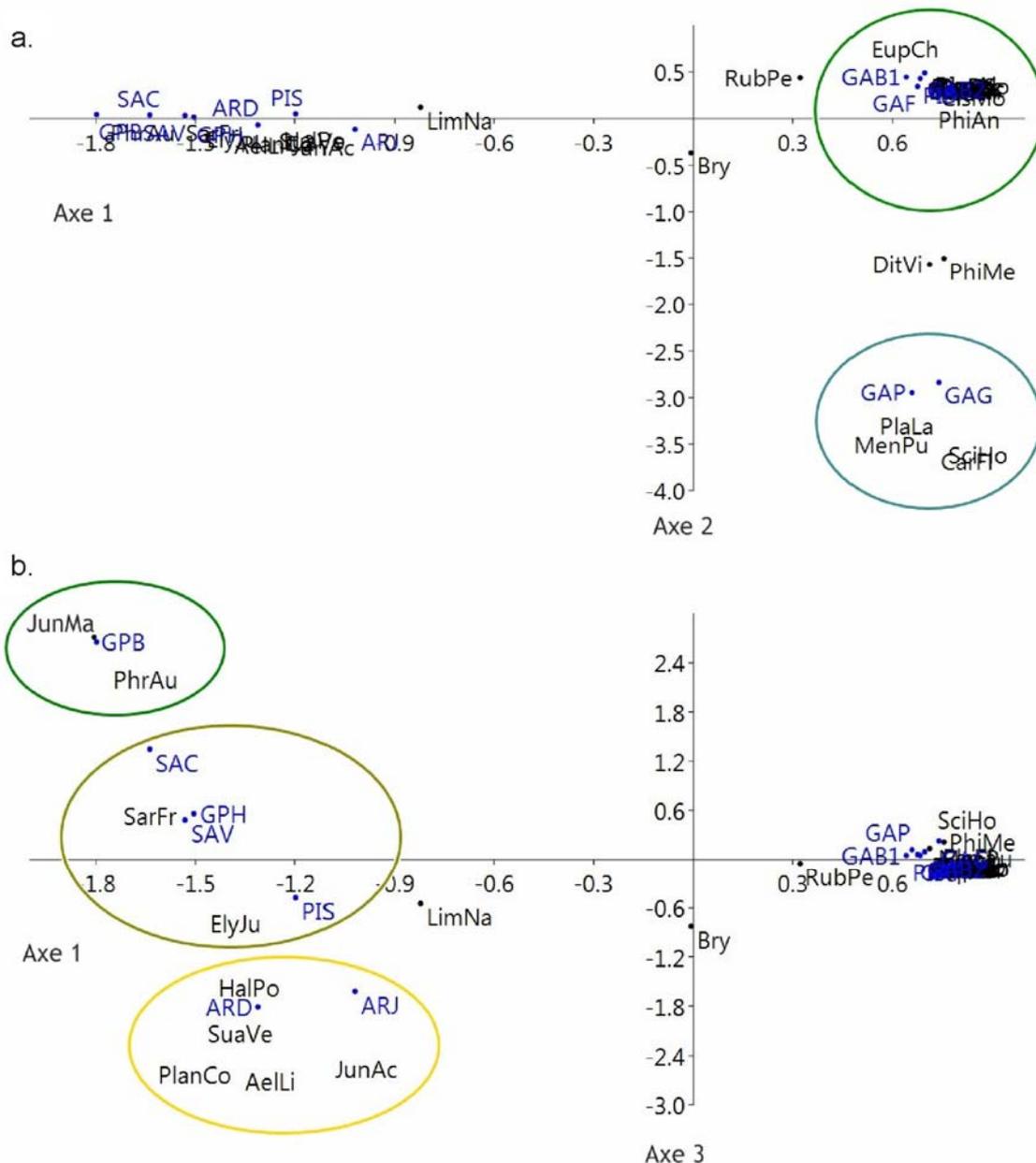


Figure 3. Distribution des 13 milieux étudiés selon l'analyse factorielle des correspondances (AFC) : a, axe 1 en abscisses, axe 2 en ordonnées ; b, axes 1 en abscisses et axe 3 en ordonnées. Les points bleus représentent les espèces végétales et les points noirs les zones de relevés.

2- Cartographie

Les pourcentages exprimés ci-dessous se rapportent à la surface totale de la zone étudiée qui compte 2580 ha. En 1954, point

de départ de notre étude, cette zone est occupée par 42 % de terres agricoles, 23 % de bois et garrigues, 18 % de zones d'eau, 15 % de prés salés et 2 % d'urbain (Fig. 4).

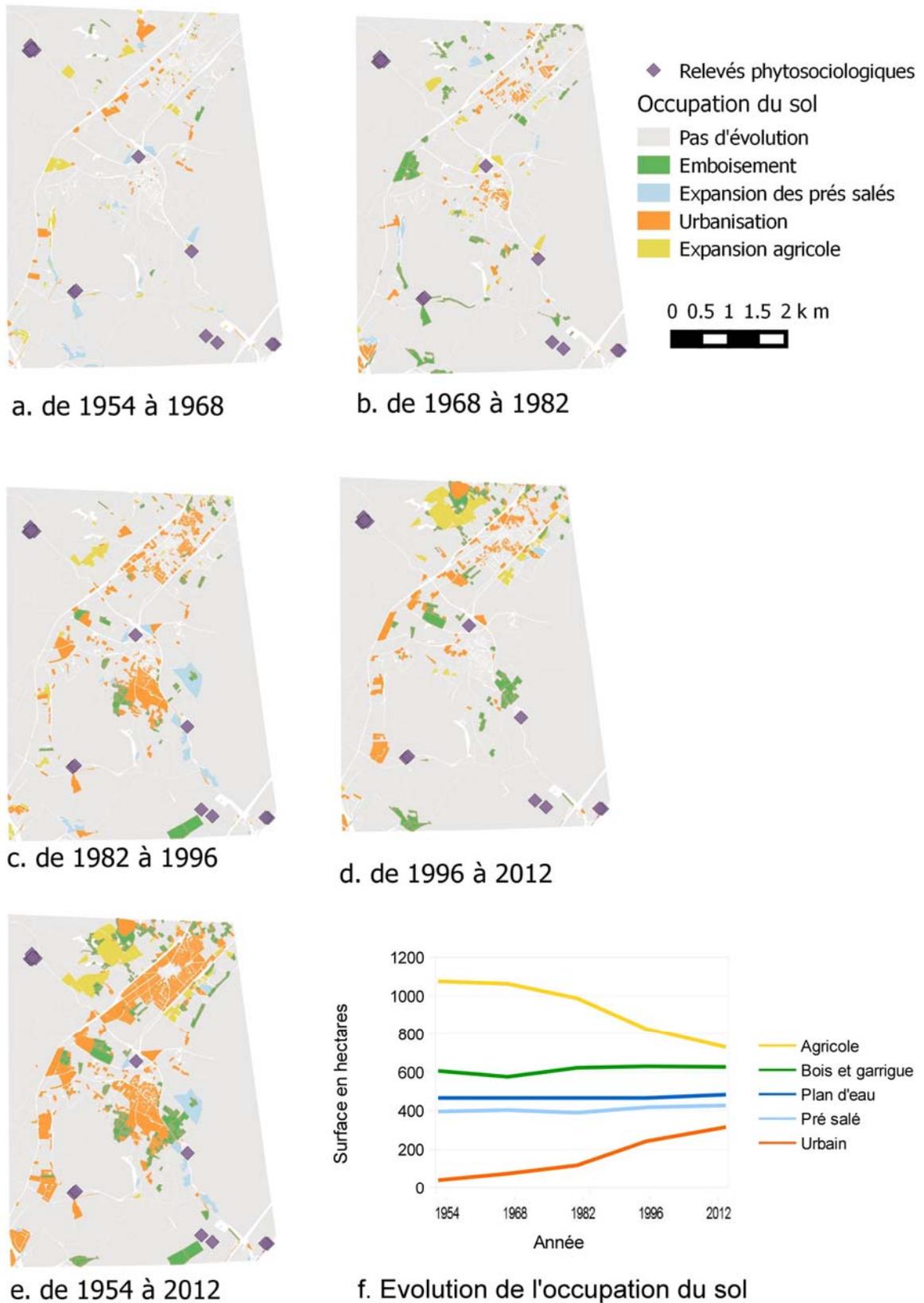


Figure 4. Cartes d'évolution de l'occupation du sol sur la zone d'étude : (a) de 1954 à 1968 ; (b) de 1968 à 1982 ; (c) de 1982 à 1996 ; (d) de 1996 à 2012 ; et (e) de 1954 et 2012. f : Progression des différents milieux en hectares. Source : BD parcellaire de l'IGN.

- a. Entre 1954 et 1968, le paysage subit peu d'évolution. On observe une légère expansion urbaine (moins de 2 %) et un recul des bois et garrigues d'environ 1 % qui deviennent des parcelles agricoles.
- b. La période 1968-1982 marque une diminution de 3 % de l'espace agricole (malgré la mise en culture de certaines parcelles), qui s'accompagne d'un accroissement d'environ 2 % de la surface de bois et garrigues. L'urbanisation concerne l'agrandissement des villages de Mireval (nord est de la carte), Vic-la-Gardiole (centre de la carte) et Frontignan (village au sud ouest, non visible sur la carte), mais peu de parcelles isolées sont concernées.
- c. De 1982 à 1996, le recul des zones agricoles s'accroît, avec une perte de 6% de terres au profit de l'urbanisation. Celle-ci progresse de 5%, toujours en périphérie des villages. Les zones de bois et garrigues et de prés salés connaissent également une légère augmentation, gagnée sur les anciennes terres cultivées.
- d. Entre 1996 et 2012, la conversion de quelques parcelles en parcelles agricoles au nord de Mireval semble compenser la *déprise* générale. En effet, le recul des zones agricoles durant cette période ne dépasse pas les 4 %. L'urbanisation continue d'augmenter, mais avec une expansion moins marquée qu'avant 1996. On note environ 3% d'expansion urbaine, qui s'étend désormais autour de la route départementale.
- e. Sur la totalité de la période étudiée, entre 1954 et 2012, deux phénomènes majeurs s'expriment, qui sont illustrés par la carte e et le graphique f (Fig. 4). Il s'agit d'une importante réduction de la surface agricole (-13 %), associée à l'augmentation marquée de l'urbanisation (+10 %). Ces changements s'accompagnent d'un léger accroissement des zones de bois et garrigues, concentré entre 1968 et 1982.

En 2012, suite à ces évolutions, l'occupation des sols est composée à 28 % de zones agricoles, 24 % de bois et garrigues, 18 % de

zones d'eau, 16 % de prés salés et 12 % de zones urbaines.

DISCUSSION

1- Facteurs contrôlant la répartition de la végétation

Nous avons pu réaliser une étude phytosociologique suivant la méthode d'évaluation de l'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1932), car les paysages étudiés se découpent en milieux homogènes aux limites nettes qui traduisent une influence de l'Homme. Les relevés botaniques ont été faits uniquement dans des zones naturelles (bois et garrigue, dune ou prés salés), l'analyse des résultats renseigne sur l'écologie de ces différents milieux. Tout d'abord, on observe que ni la CHA ni l'AFC ne font apparaître les impacts anthropiques comme déterminants pour la distribution des végétaux, ce qui confirme que les milieux étudiés sont relativement préservés. L'influence du littoral joue le principal rôle écologique en combinant divers facteurs (salinité, substrat, aridité). Les milieux sont donc répartis selon un gradient naturel d'éloignement à la mer, l'AFC et la CHA formant deux groupes « plaine » et « colline de la Gardiole ». Dans le groupe de plaine, la CHA met en évidence un sous-groupe « dune et jonçaille des Aresquiers » qui est plus soumis aux influences maritimes que les sansouires et autres jonçailles. On observe que malgré sa proximité au littoral, la pinède des Aresquiers est placée dans le second groupe, car sa composition floristique est proche des pinèdes et fruticées de la Gardiole. Au sein de ce second groupe, les deux mares temporaires forment un sous-groupe car elles présentent une végétation hydrophile, mais non halophile. Entre ces deux milieux (« mares » et « bois/pinède/fruticée ») séparés par l'axe 2 de l'AFC, on peut noter la présence d'espèces transgressives : espèces inféodées à un ensemble végétal, mais se trouvant dans un ensemble de distribution géographique différente. Ces espèces se développent par exemple sur les écotones. Les Bryophytes se retrouvent dans tous les milieux observés et

apparaissent au milieu du graphe (taxons généralistes), mais en relevant les espèces et non l'embranchement (Bryophyta), nous aurions probablement identifié des mousses propres à chaque milieu. Nos résultats confirment ceux de [Corre \(1985\)](#), qui montrent que la salinité et l'humidité seraient les principaux facteurs déterminant la répartition des espèces végétales sur le littoral du Golfe du Lion.

2- Dynamique paysagère depuis 1954

Les résultats de l'étude cartographique indiquent que les modifications du paysage entre 1954 et 2012 concernent surtout le développement urbain, certainement lié à l'essor du tourisme balnéaire. Par ailleurs, la progression inégale des villages de Vic et de Mireval traduit des différences de politiques locales. On remarque en effet une expansion brutale de Vic entre 1982 et 1996, tandis qu'elle est progressive pour Mireval durant toute la période étudiée. Ces différences seront certainement atténuées à l'avenir par l'entrée en vigueur des "Schéma de Cohérence Territoriale" qui préconisent une cohérence en matière d'environnement et de paysage. Cette expansion urbaine se fait au détriment des zones agricoles. En effet, avec l'abandon de pratiques agricoles, les zones de cultures et de pâturages reculent considérablement, laissant place aux habitations ou s'enfrichant progressivement pour finalement se reboiser ([Escarré et al., 1983](#)). Les zones naturelles sont relativement stables au cours des 60 ans étudiés. Les bois et garrigues d'abord un peu entamés par l'ouverture de champs sur le massif de la Gardiole reprennent vite du terrain en plaine suite à la déprise agricole. Il en va de même pour les prés salés. Ce maintien des espaces naturels peut être attribué aux nombreux statuts de protection des milieux de cette zone ([SIEL, 2006](#) ; [Conservatoire du Littoral, 2014](#)). On remarque en effet deux sites classés, l'un sur le massif de la Gardiole, l'autre sur les étangs et le bois des Aresquiers. De plus, la majeure partie du littoral est gérée par le Conservatoire du Littoral qui lutte contre l'artificialisation et l'urbanisation des

côtes françaises en acquérant des terres. Enfin, la présence d'une zone Natura 2000 entraîne des mesures de gestion et de protection qui expliquent également le peu de perturbations anthropiques ayant touché la zone d'étude.

3- Enjeux de conservation

Au sein des zones naturelles observées lors de nos travaux cartographiques, les relevés floristiques donnent une information plus précise sur leur état de conservation. Ainsi, la zone étudiée abrite plusieurs habitats d'intérêt communautaire. Les plus menacés sont les mares temporaires méditerranéennes, qui présentent des communautés biologiques remarquables ([Quézel, 1998](#)). Deux mares d'eau douce, appelées localement lavognes, sont présentes sur la Gardiole. Ces mares, développées sur substrat calcaire, abritent régionalement quelques espèces végétales protégées (*Gratiola officinalis*, *Mentha cervina* ; S.D. Muller, comm. pers.), et constituent des habitats pour de nombreux amphibiens et macrocrustacés ([Grillas et al., 2004](#)). La période du stage (janvier) et l'assèchement des mares ne nous a pas permis de vérifier la présence de ces différentes espèces, qui se développent au cours du printemps et au début d'été.

Plusieurs mares saumâtres sont également présentes au sein des sansouïres ou en bordure des étangs. Nous avons pu observer en bordure de l'étang de Vic une espèce rare de Characeae, *Lamprothamnium papulosum* (identification : S.D. Muller et I. Soulié-Märsche), qui se développe en France uniquement sur les littoraux, dans des milieux temporaires saumâtres ([Mouronval et al., 2015](#)). Les sédiments de la mare de la pinède ont en outre livré une importante quantité de gyrogonites (oospores calcifiées) de cette espèce. Malgré l'apparente préservation de ces milieux et le peu de perturbations mises en évidence par l'étude cartographique diachronique, les relevés botaniques nous indiquent qu'ils abritent surtout des espèces communes sans enjeux de protection particuliers. Cette banalisation des milieux traduit l'impact des activités humaines sur le

cordon littoral. Les sansouïres, par exemple, bien qu'étant des sites précieux pour la faune (halte migratoire et nidification de l'avifaune), peuvent signaler une salinisation artificielle du sol d'origine agricole. Les bois des Aresquiers et de la Gardiole reflètent également cette artificialisation du paysage. Ils sont en effet le fruit d'une gestion forestière par l'ONF comprenant entre autres des plantations de résineux non indigènes (*Cedrus atlantica*, *Pinus nigra*, *Pinus pinea*). Ces activités ont profondément modifié les paysages. En théorie, le profil d'un transect littoral devrait voir se succéder une dune embryonnaire, une dune vive, une lette (affleurement d'eau douce arrière dunaire) puis une dune fixée boisée (Annexe 4). Aujourd'hui, ce type de profil ne se retrouve nulle part sur les côtes méditerranéennes françaises. En effet, au cours du 19^e siècle, d'imposants travaux d'assainissement des marais et lagunes ont touché tout le littoral afin de lutter contre le paludisme et de gagner des terres cultivables. Les nombreuses opérations de drainage et l'endiguement des cours d'eau ont eu raison de ces milieux inhospitaliers et de leur richesse écologique. Seule relique française de cet habitat, la réserve naturelle intégrale de Camargue abrite un bois d'arrière-dune à genévriers rouges du littoral (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*) (Tallon, 1950). Depuis quelques années, en revanche, les inondations à répétition mènent à une prise de conscience politique des effets néfastes de l'artificialisation du littoral. Aux constructions de défense contre la mer s'ajoutent donc de nombreuses opérations de gestion visant à restaurer les dunes pour redonner au trait de côte sa dynamique naturelle et préserver du même coup les activités humaines.

CONCLUSION

L'étude phytosociologique de nos relevés a permis de mettre en évidence différentes associations végétales réparties selon un gradient d'éloignement à la mer. Parmi les communautés de « plaine » et celles de « colline » les espèces sont de nouveau graduellement réparties selon la salinité ou l'hydrologie, qui peuvent donc être

considérées comme les principaux facteurs de répartition des végétaux du site. La répartition et l'évolution de ces différents milieux a été précisée par notre étude cartographique diachronique. Celle-ci apporte une représentation de l'occupation du sol depuis environ 60 ans.

Ainsi, nous avons pu constater que malgré l'expansion de l'urbanisation, les milieux dans lesquels nous avons fait nos prélèvements demeurent inchangés grâce aux nombreux statuts de protection dont ils bénéficient. Cependant, ces milieux sont aujourd'hui principalement composés d'espèces communes ou encore d'espèces introduites, et peuvent localement résulter de perturbations anthropiques passées. Certains restent toutefois fragiles et menacés dans leur ensemble comme les mares temporaires. L'usage mutuel de la phytosociologie et de la cartographie diachronique permet de mettre en commun des informations nécessaires à la compréhension de l'écologie actuelle des milieux et à leur conservation à différentes échelles.

REFERENCES

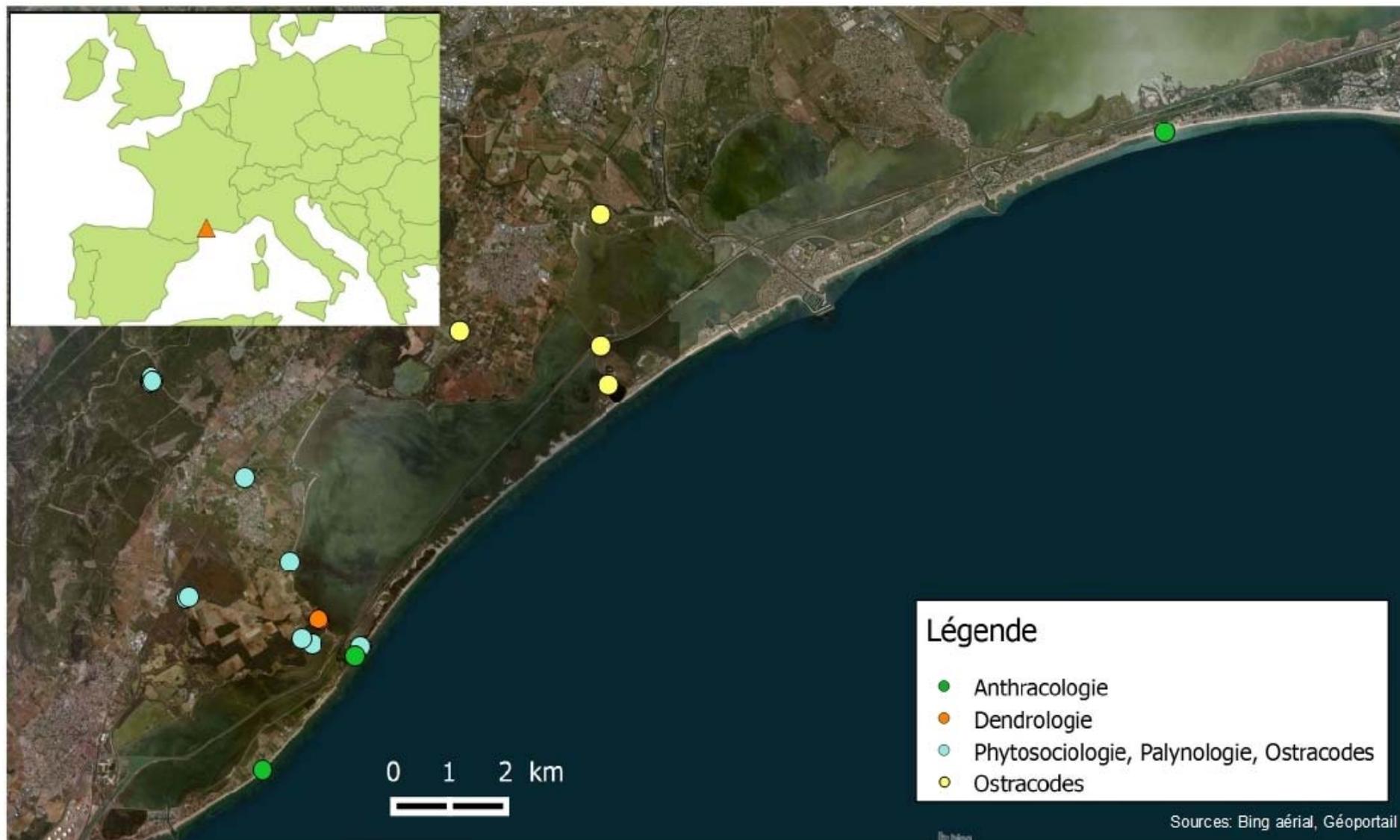
- Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology* (Transl. G.D. Fuller and H.S. Conrad). McGraw-Hill, New York, 539 p.
- Corre J.J. (1985). Environmental structures and variations in coastal vegetation of the Golfe du Lion (France). *Plant ecology*, 61 : 15-22.
- Clements F.E. (1916). *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*, No. 242. Carnegie Institution, Washington.
- Conservatoire du littoral (2014). Plan de gestion du bois des Aresquiers.
- DOCOB Natura 2000 (2015a). *Directive « Oiseaux ». Document d'objectifs du site Natura 2000 FR9110042 « Etangs palavasiens et étang de l'Estagnol »*. Syndicat Mixte des Etangs Littoraux, Frontignan.
- DOCOB Natura 2000 (2015b). *Directive « Habitats, faune, flore ». Document d'objectifs du site Natura 2000*

- FR9101410 « *Etangs palavasiens* ». Syndicat Mixte des Etangs Littoraux, Frontignan.
- Escarre J., Houssard C., Debussche M. & Lepart J. (1983). Evolution de la végétation et du sol après abandon cultural en région méditerranéenne: étude de succession dans les Garrigues du Montpelliérais (France). *Acta Oecologica*, 18 : 221-239.
- Grillas P., Gauthier P., Yavercovski N., & Perennou C. (2004). *Les mares temporaires méditerranéennes (vol. 1): Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion*. Station biologique de la Tour du Valat, Le Sambuc, 120 p.
- Guinochet M. (1973). *Phytosociologie (vol. 1)*. Masson, Paris, 227 p.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 1-9.
- Quézel P. (1998). La végétation des mares transitoires à *Isoetes* en région méditerranéenne, intérêt patrimonial et conservation. *Ecologia Mediterranea*, 24(2) : 111-117.
- SIEL (2006). *Inventaire détaillé des zones humides périphériques des étangs palavasiens. Tome 1 : Rapport*. Syndicat Mixte des Etangs Littoraux, Frontignan, 56 p.
- Tallon G. (1950). Observations botaniques. *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)*, 5 : 255-264.

ANNEXE 1. Données bibliographiques disponibles pour l'étude cartographique depuis la colline de la Gardiole jusqu'à la plage des Aresquiers (du Nord au Sud), et depuis l'étang de Vic jusqu'à la route départementale 612 (d'Est en Ouest).

	Document	Année	Nom	Type de donnée	Couvre la zone étudiée ?	Commentaire	Extension
Géologie/ Pédologie	Carte historique	1876	1876_arrondMontpel_carte-geologique-de-Rouville	Tracé Nature des sols, type de terrains et gisements	Oui	couvre toute la zone, peu d'infos	Raster (.jpg)
	Pédologie	1999	synthèse des pédopaysages de l'hérault	Tracé Grandes unités géologiques	Oui	très peu précis, légende incomplète	Raster (.jpg)
	Géologie	2010	Onegeology_littoral34_193	Nature du sol, age géologique des grandes unités	Oui	très peu précis. peut-on l'afficher mieux?	Vecteur (.shp)
Végétation	BDForet	1992	BD_Foret_V1_Dep34_1992	Unités de vegetation forestière, Données IGN (légende en pdf)	Oui	Peu d'info sur les végétations autres que forêt	Vecteur (.shp)
	BDForet	2002	BD_Foret_V1_Dep34_2002	Unités de vegetation forestière, Données IGN	Oui	Peu d'info sur les végétations autres que forêt	Vecteur (.shp)
	Carte_veget_CNRS	1973	73_Montpellier_cut	Tracé Unités de vegetation dominantes, Données CNRS	Oui	Peu précis	Raster (.jpg)
Photo satellite	Orthophoto	2009	sete_frontignan_ortho09	Photos aériennes: routes, cultures, forêts, habitations, etc...	Non:	Manque Colline gardiole	Raster (.jpg)
	Orthophoto	2011	vic_ortholitto2011	Idem	Non:	Manque un bout de la Gardiole	Raster (.tif)
	Orthophoto	2012	Vic_LaGardiole_2012	Idem	Oui		Raster (.ecw)
	Orthophoto (Geoportail)	1977-2009		Photos aériennes scannées	Oui		
Topographie	carte_historique	1891	1891_montpel_environ	Tracé routes, trait de cote, canal	Oui	grossier, infos sur l'aménagement du littoral/ évolution du trait de côte	Raster (.jpg)
	OcSOI_projet_SigLR	1999	V1_1_OCSOL_34_BATI_1999		Oui	Document incompris	Vecteur (.shp)
	OcSOI_projet_SigLR	2006	V1_1_OCSOL_34_BATI_2006		Oui	Document incompris	Vecteur (.shp)
	OcSOI_projet_SigLR	1999-2006	V1_1_OCSOL_34_EVOL_9906	Différence d'occupation des sols entre 1999 et 2006	Oui	Affichage des données difficile	Vecteur (.shp)
	OcSOI_projet_SigLR	1999	V1_1_OCSOL_34_POLY_1999	Occupation des sols	oui Oui	Indication sur les cultures, zones naturelles, bâti	Vecteur (.shp)
	OcSOI_projet_SigLR	2006	V1_1_OCSOL_34_POLY_2006	Occupation des sols	Oui	Peu de changement avec 1999	Vecteur (.shp)
Autres	carte_historique	1744	1744_carte-littoLR	Tracé routes, trait de cote, frontières, absence d'accès à la plage	Oui	grossier, infos sur l'aménagement du littoral/ évolution du trait de côte	Raster (.jpg)
	feu_incendie	1962-1971	feu1962_1976_dept34	incendies	Oui	Incendies du côté de la grande palude et de la colline, à compléter	Raster (.jpg)
	BDParcellaire	2010	PARCELLE_VicLaGardiole	Limites des parcelles sur la zone d'étude (communes: Frontignan, Vic la Gardiole, Mireval, Fabregues) IGN	Oui	Pas d'indication sur l'usage des parcelles	Vecteur (.shp)
	Scan25_cartetopoIGN		scan25IGN_Gardiole_193	Carte IGN précise	Oui		Raster (.jpg)

ANNEXE 2. Localisation des zones de relevés ORPAL 2016



ANNEXE 3. Relevés phytosociologiques réalisés selon la méthode de Braun-Blanquet (1932).

A. Abondance des espèces relevées sur au moins deux sites

		ARD	ARJ	GPB	GPH	PIS	PIB	SAV	SAC	GAB1	GAB2	GAF	GAP	GAG
Bryopsida	Bry		2.3		+		1			1		1	1	
<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.	AelLi	2	2.3											
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	AspAc						1			1	2	1		
<i>Brachypodium retusum</i> (Pers.) P.Beauv.	BraRe									5	5	3		
<i>Bupleurum rigidum</i> L.	BupRi									1		1		
<i>Carex flacca</i> Schreb.	CarFl												2	1.2
<i>Carex halleriana</i> Asso	CarHa									1	1	1		
<i>Cistus albidus</i> L.	CisAl									2		1		
<i>Cistus monspeliensis</i> L.	CisMo										2	1		+
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter	DitVi											1	1	
<i>Elytrigia juncea</i> (L.) Nevski	ElyJu	2	1		4									
<i>Euphorbia characias</i> L.	EupCh										1	+		
<i>Fumana ericoides</i> (Cav.) Gand.	FumEr									1		1		
<i>Fumana thymifolia</i> (L.) Spach ex Webb	FumTh									+		+		
<i>Genista scorpius</i> (L.) DC.	GenSc									+	1	1		
<i>Halimione portulacoides</i> (L.) Aellen	HalPo	2	3			3		+						
<i>Juncus acutus</i> L.	JunAc	+	4											
<i>Juncus maritimus</i> Lam.	JunMa			5	2				3					
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	JunOx									2	1	3		
<i>Limonium narbonense</i> Mill.	LimNa		1		1	1				1				
<i>Mentha pulegium</i> L.	MenPu												3	1.2
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	PhiAn						2			3	2	2		1
<i>Phillyrea media</i> L.	PhiMe											+		+
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	PhrAu			1	1									
<i>Pinus</i> spp. (<i>P. halepensis</i> , <i>P. pinea</i>)	Pinus						5			5	5	1		
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	PisLe						4			2	1	2		+
<i>Plantago coronopus</i> L.	PlanCo	1	+											
<i>Plantago lanceolata</i> L.	PlaLa											+	1	1
<i>Quercus coccifera</i> L.	QueCo						3			2	5	2		
<i>Rhamnus alaternus</i> L.	RhaAl						2			1	1			
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	RosOf									4	2	2		
<i>Rubia peregrina</i> L.	RubPe					1				1	2	1		
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J.Scott	SarFr		1		3	5		5	5					
<i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soják	SciHo												1.2	2
<i>Smilax aspera</i> L.	SmiAs						1			1	1	1		
<i>Staehelina dubia</i> L.	StaDu									2		1		
<i>Suaeda vera</i> Forssk. ex J.F.Gmel.	SuaVe	1	1			1								

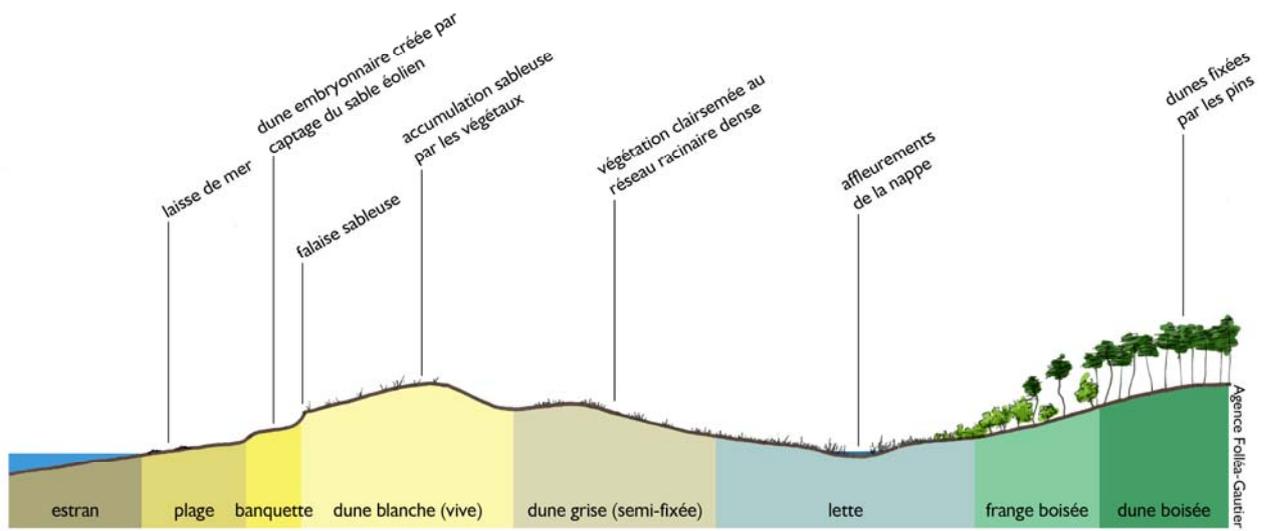
B. Identification et description des sites de relevés

Nom zone	ID zone	Latitude Y	Longitude X	Sol nu (%)	Substrat
Zone 1: Aresquiers dune	ARD	43.4640	3.8230	40	Sable et galets
Zone 2: Joncaie aresquiers	ARJ	43.4641	3.8225	5	Sable et galets
Zone 3: Grande palude joncaie basse	GPB	43.4725	3.7805	0	Sable
Zone 4: Grande palude joncaie haute	GPH	43.4727	3.7810	0	Sable
Zone 5: Pinède Aresquiers sansouire	PIS	43.4644	3.8109	0	Sable, eau
Zone 6: Pinède Aresquiers bois	PIB	43.4655	3.8085	0	Sol organique, litière développée
Zone 7: Sansouire étang de Vic	SAV	43.4788	3.8056	0	sableux
Zone 8: sansouire Carrefour	SAC	43.4936	3.7945	0	eau:30cm
Zone 9: Gardiole Bois 1	GAB1	43.5104	3.7714	40	Sol calcaire, litière fine
Zone 10: Gardiole Bois 2	GAB2	43.5111	3.7718	25	Sol calcaire, litière fine
Zone 11: Gardiole Fruticée (garrigue)	GAF	43.5103	3.7718	40	Cailloux calcaire, pas de litière
Zone 12: Mare temporaire 1 (petite)	GAP	43.5104	3.7726	60	Sédiments argileux, calcaire
Zone 13: Mare temporaire 2 (grande)	GAG	43.5106	3.7720	75	Sédiments argileux, calcaire

C. Espèces non utilisées pour l'étude car présentes sur un seul site.

		ARD	ARJ	GPB	GPH	PIS	PIB	SAV	SAC	GAB1	GAB2	GAF	GAP	GAG
<i>Achillea millefolium</i> L.	AchMi											+		
<i>Anagallis arvensis</i> L.	AnaAr												+	
<i>Anthemis maritima</i> L.	AntMa	1												
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.	AphMo									1				
<i>Arbutus unedo</i> L.	ArbUn											+		
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moric.) K.Koch	ArtMa				1									
<i>Bituminaria bituminosa</i> (L.) C.H.Stirt.	BitBi											+		
<i>Brachypodium phoenicoides</i> (L.) Roem. & Schult	BraPh													1
<i>Bupleurum fruticosum</i> L.	BupFr						1							
<i>Cakile maritima</i> Scop.	CakMa	1												
<i>Carex humilis</i> Leyss.	CarHu											1		
<i>Centaurium erythraea</i> Rafn	CenEr												1	
<i>Clematis flammula</i> L.	CleFl						1							
<i>Coris monspeliensis</i> L.	CorMo											+		
<i>Coronilla valentina</i> L.	CorVa												1	
<i>Crepis</i> sp.	CreSp											+		
<i>Crithmum maritimum</i> L.	CriMa	1												
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	CynDa												2	
<i>Dorycnium hirsutum</i> (L.) Ser	DorHi											+		
<i>Euphorbia paralias</i> L.	EupPa	+												
<i>Galium aparine</i> L.	GalAp	+												
<i>Helianthemum apenninum</i> (L.) Mill.	HelAp											+		
<i>Hieracium</i> sp.	HieSp											+		
<i>Limbarda crithmoides</i> L. Dumort.	LimCr				2									
<i>Limonium echiodides</i> (L.) Mill.	LimEc		4											
<i>Lonicera implexa</i> Aiton	LonIm												1	
<i>Matthiola sinuata</i> L.	MatSi	1												
<i>Odontites luteus</i> (L.) Clairv.	OdoLu												1	
<i>Ononis minutissima</i> L.	OnoMi									+				
<i>Phillyrea latifolia</i> L.	PhiLa												1	
<i>Pilosella officinarum</i> F.W.Schultz & Sch.Bip.	PilOf									+				
<i>Pinus pinea</i> L.	PinPi										5			
<i>Plantago maritima</i> L.	PlaMa		1.2											
<i>Polygonum maritimum</i> L.	PolMa	1												
<i>Poterium sanguisorba</i> L.	PotSa											+		
<i>Prunella vulgaris</i> L.	PruVu													1
<i>Quercus ilex</i> L.	Quell						1							
<i>Ranunculus baudotii</i> Godr.	RanPe													1
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	RusAc										2			
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	RusAc						1							
<i>Salsola kali</i> L.	SalKa	1												
<i>Schoenus nigricans</i> L.	SchNi				1									
<i>Scolymus hispanicus</i> L.	ScoHi	+												
<i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau	SedSe											+		
<i>Sonchus</i> sp.	Son	1												
<i>Spergula marina</i> (L.) Bartl. & H.L.Wendl.	SpeSa	1												
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	SteMe	1												
<i>Tamarix gallica</i> L.	TamGa	4												
<i>Teucrium polium</i> L.	TeuPo												1	
<i>Thymus vulgaris</i> L.	ThyVu												1	
<i>Triglochin bulbosa</i> L.	TriBu		+											
<i>Ulmus minor</i> Mill.	UlmMi													2
<i>Viburnum tinus</i> L.	VibTi						3							

ANNEXE 4. Transect dunaire théorique. Source : Atlas des paysages de Gironde



RICHESSSE SPECIFIQUE ET CONCENTRATION DES OSTRACODES DANS LES SEDIMENTS DE SURFACE LAGUNAIRE DES ETANGS DE PALAVAS (HERAULT, FRANCE): CORRELATION AVEC LA SALINITE ET LE COUVERT VEGETAL

Anais Dortel ¹, Mareva Dubois ², Quentin Mailly ³

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

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ anais.dortel@etu.umontpellier.fr, ² mareva.dubois@etu.umontpellier.fr,

³ quentin.mailly@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Laurent Brémond, Vincent Girard

Citation : Dortel A., Dubois M. & Mailly Q. (2016). Richesse spécifique et concentration des ostracodes dans les sédiments de surface lagunaire des étangs de Palavas (Hérault, France): corrélation avec la salinité et le couvert végétal. *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 27-36.

Résumé : Le complexe lagunaire de Palavas est caractérisé par un assemblage faunique spécifique, dont les ostracodes font partie. Ces crustacés sont présents dans tous les milieux aquatiques et sont sensibles aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau. L'objectif de cette étude est de vérifier si la richesse spécifique et la concentration des ostracodes sont corrélées à la salinité des lagunes et au couvert végétal. Nos résultats montrent que ni la richesse spécifique, ni la concentration des ostracodes ne sont corrélés à la salinité. Le couvert végétal ne semble pas non plus jouer de rôle.

Mots clés : Bio-indicateur, référentiel actuel, *Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica*

Abstract: *Species richness and ostracod concentration in lagoonal surface sediments for Palavas lagoon (Herault, France): Correlation with salinity and plant coverage.* The Palavas lagoon complex is characterized by a specific faunistic assemblage including ostracods. These Crustaceans are present in all aquatic environments and are sensitive to physico-chemical characteristics of water. This study aims to test whether the species richness and ostracod concentration are correlated with water salinity or plant coverage. Our results show that neither species richness nor ostracod concentration is related to salinity. The plant coverage does not appear to influence the species richness and concentration.

Keywords: Bio-proxy, modern reference, *Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica*

Les côtes méditerranéennes sont jalonnées de nombreuses lagunes. Ce sont des milieux paraliques, c'est-à-dire des zones de transition entre milieu marin et milieu continental, séparées de la mer par un cordon littoral ou lido (Castaings, 2008). De ce fait, la

composition abiotique de ces milieux (salinité, composition chimique de l'eau) varie en fonction des saisons et/ou des conditions climatiques. Il en résulte des assemblages fauniques et floristiques spécifiques et souvent composés à la fois d'espèces marines et dulçaquicoles (Bodergat et al.,

1991). De plus, les lagunes côtières sont des milieux où les sédiments sont bien préservés, permettant ainsi de reconstruire les paléoenvironnements (Ferrer, 2010). La palynologie, par exemple, rend compte de cette instabilité dynamique et permet d'esquisser l'évolution de la végétation côtière (Court-Picon et al., 2010). D'autres outils, comme les ostracodes sont également utilisés en tant que bioindicateurs des variations ou des perturbations environnementales (Park et al., 2003). Ces organismes sont des micro-crustacés présents dans tous les milieux aquatiques et sensibles aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Mezquita et al., 2005).

Dans le golfe du Lion, seules quelques études portent sur les ostracodes et tentent de mettre en place un référentiel des environnements actuels et/ou passés (Bruneton et al., 2001 ; Bassetti et al., 2010 ; Fanget et al., 2013). Cependant aucune n'a mis en évidence de relation entre indicateurs de biodiversité et salinité dans la région. L'objectif ici est de vérifier si la richesse spécifique et la concentration des ostracodes sont en relation avec la salinité des lagunes et le couvert végétal. Ainsi, si une corrélation significative apparaît, cela pourrait permettre d'établir un référentiel actuel qui pourrait être appliqué à la reconstitution des paléoenvironnements. Nous sommes partis du postulat que la richesse spécifique des ostracodes diminuait avec l'augmentation de la salinité en milieu continental (Williams et al., 1990). Treize lagunes et points d'eau naturels ou anthropiques du complexe lagunaire de Palavas (Hérault, France) ont été échantillonnés suivant deux transects : l'un depuis la mer jusqu'au massif de la Gardiole, et l'autre le long du trait côtier (plage des Aresquiers jusqu'à la rivière de la Mosson).

MATERIEL ET METHODES

1- Matériel biologique étudié : les ostracodes

Les ostracodes sont des microcrustacés (Maxillopodes) apparus dès le Paléozoïque inférieur (Yamaguchi & Endo, 2003) et encore présents de nos jours. Ces organismes,

à la métamérisation non apparente, s'entourent d'une carapace ou coquille constituée de deux valves articulées dorsalement (Holmes, 2001). Ces carapaces, généralement calcaires, ont une taille moyenne de 0,1 mm (Martens et al., 2008). Ils sont retrouvés dans tous les milieux, marins et d'eau douce, depuis les sources jusqu'aux sédiments profonds (Martens et al., 2008). Ces crustacés sont majoritairement benthiques, mais peuvent également être fouisseurs ou plus rarement pélagiques. Les ostracodes possèdent des appendices utiles à leurs déplacements, à leur nutrition et à leur reproduction (Holmes, 2001). Certaines espèces, sur les 7 000 actuellement décrites, sont utilisées comme indicateurs de leur environnement actuel ou passé (Viehberg, 2006).

2- Présentation du site

Le complexe lagunaire de Palavas est une vaste zone humide constitué de plusieurs étangs. A l'origine, il n'y avait qu'une seule lagune qui s'est progressivement comblée sous l'influence des apports sédimentaires naturels et des aménagements anthropiques. Ces lagunes sont alimentées notamment par le Lez, la Mosson et par le Canal du Rhône à Sète. Certaines communiquent encore avec la mer Méditerranée par des estuaires (Bec et al., 2012).

3- Protocole d'échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués le 21 janvier 2015 sur deux transects : l'un depuis la rivière de la Mosson jusqu'à la plage des Aresquiers, l'autre depuis le massif de la Gardiole jusqu'à la mer Méditerranée (Fig. 1). Les échantillons ont été prélevés dans les sédiments de surface des différentes zones (mares/étangs/mer) à l'aide d'un filet à plancton. Ces échantillons ont ensuite été conservés dans des tubes à prélèvement afin d'être par la suite analysés en laboratoire. La salinité des différents points de prélèvement a été mesurée à l'aide d'un réfractomètre (Marque Allafiance, ref. 95000-007). Le pourcentage de couvert végétal du fond des étangs et des mares a été quantifié.



Figure 1. Localisation des différentes stations dans le complexe lagunaire de Palavas (source : Google Earth, 2016)

4- Analyses en laboratoire

Préparation et identification des ostracodes

Pour chaque échantillon, l'équivalent d'une grande cuillère à soupe de sédiments a été prélevé et tamisé sous l'eau (maille de 150 μm). Les résidus de tamisage ont été placés à l'étuve pendant 24 heures à 30°C. Le poids sec de sédiments a alors été mesuré (balance Mettler toledo ML54T ; max= 52 g ; erreur= 0,1 mg).

Un gramme de sédiments sec de chaque échantillon a ensuite été observé sous loupe binoculaire afin de séparer, compter et identifier les ostracodes qu'il contenait. Seules les valves non cassées ont été

dénombrées et ont été considérées comme un individu. Quand la densité était trop importante, moins d'un gramme de sédiment a été trié. Du peroxyde d'hydrogène a été utilisé sur certains échantillons très argileux afin de faciliter le tri des ostracodes. Un second tamisage sous l'eau suivi d'un séchage à l'air libre ont été réalisés après application du produit.

Pour faciliter l'identification des individus, plusieurs critères ont été pris en compte, notamment la forme des valves, la forme des empreintes musculaires, la position et la densité des pores. Les échantillons ont également été préparés pour une observation au MEB (Université de Montpellier, modèle

FEI Quanta FEG 200). Cet appareil présente une meilleure qualité d'observation que la loupe binoculaire, et permet ainsi de mieux caractériser les spécimens.

Analyses et tests statistiques

Les coefficients de corrélation de Pearson (r) ont été calculés entre la richesse spécifique et la concentration d'une part, et la salinité et le couvert végétal aquatique d'autre part. Ces coefficients ont ensuite été analysés en calculant la statistique t associée et la p -value.

RESULTATS

1- Richesse spécifique

Neuf espèces ont été retrouvées sur l'ensemble des prélèvements (Annexe 1). Les échantillons OS7 (mer) et OS9 n'ont pas été pris en compte pour le reste de l'étude, car aucun ostracode n'y a été trouvé. La richesse spécifique est variable en fonction de la salinité. Elle semble augmenter quand cette dernière diminue (Fig. 2). Pour des salinités de 0 ou de 31g/l, des assemblages de 4 espèces ont été observés. Des assemblages de 2 espèces ont été retrouvés dans les stations dont la salinité varie entre 1 et 73 g/l.

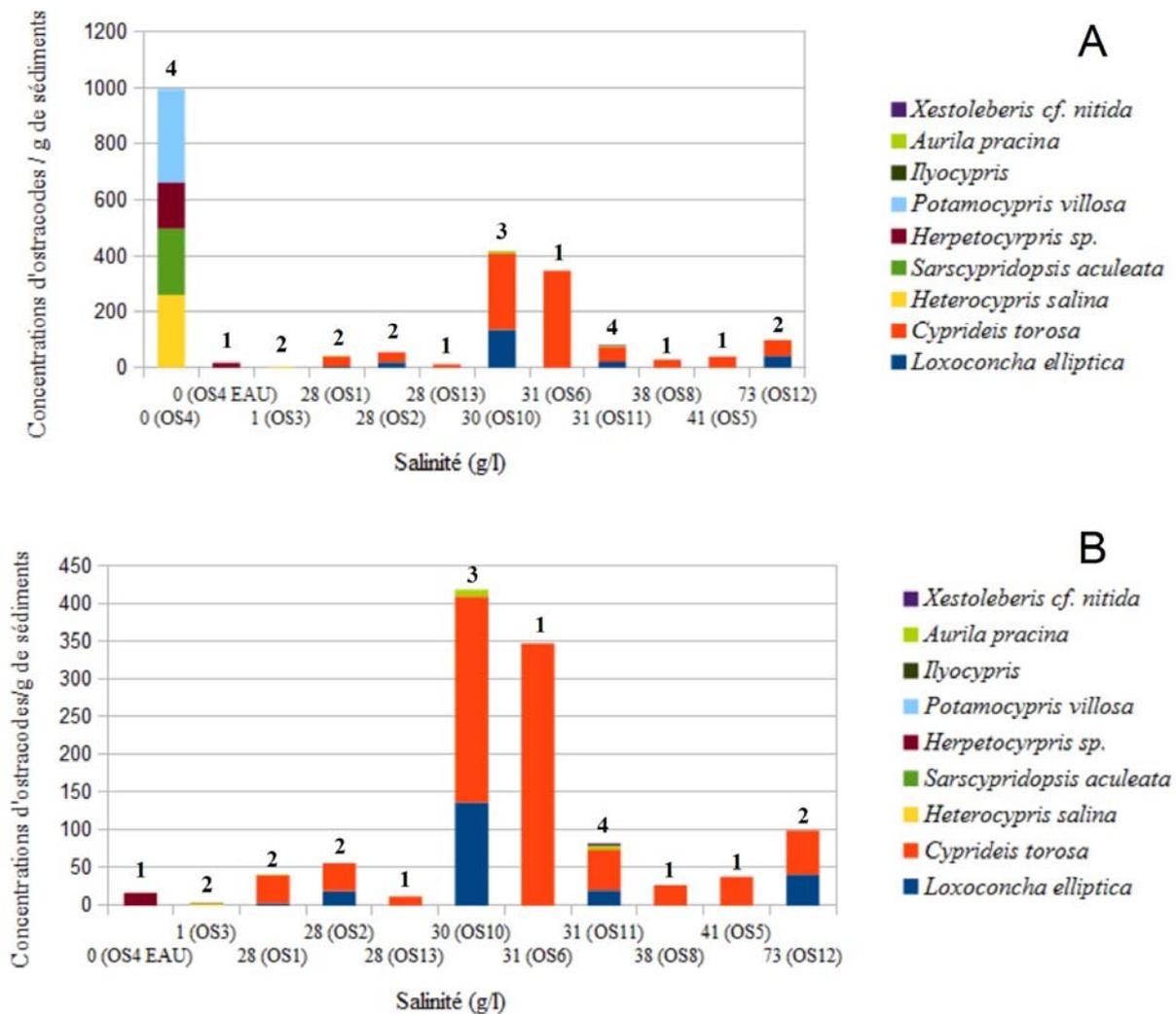


Figure 2. Richesse spécifique et concentration des ostracodes (n/g). Les stations sont classées par ordre croissant de salinité (g/l). Pour OS4 EAU, le nombre d'ostracodes correspond au nombre d'individus retrouvés dans l'échantillon total et non à la concentration d'ostracodes par g de sédiments. Les nombres au dessus des barres indiquent le nombre d'espèces présentes dans l'échantillon.

En milieu salé, quatre espèces ont été trouvées : *Aurila pracina*, *Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica* et *Xestoleberis cf. nitida* (Fig. 2). Dans les stations à faible salinité, cinq espèces (*Herpetocypris* sp., *H. salina*, *Ilyocypris* sp., *Potamocypris villosa* et *Sarscypridopsis aculeata*) ont été retrouvées (Fig. 2). Bien que les populations d'OS4EAU et OS3 semblent dominées respectivement par *Herpetocypris* sp. et *H. salina*, les nombres d'ostracodes/g de ces stations sont trop faibles pour que ce paramètre soit significatif.

Le test de corrélation de Pearson ne montre pas de corrélation significative ni entre la salinité et la richesse spécifique ($r=-0,34$; $t=1,1$; $0,1 < p\text{-value} < 0,25$), ni entre la végétation aquatique et la richesse spécifique

($r=0,14$; $t=0,41$; $0,25 < p\text{-value} < 0,4$).

2- Concentration

La concentration (nombre d'ostracodes/g de sédiments) est extrêmement variable en fonction de la salinité (Fig. 3). En milieu salé, OS6 et OS10 (salinités respectives de 31g/l et 30g/l) comptent environ 400 ostracodes/g, alors que les autres stations (salinité variant de 28 à 73g/l) contiennent moins d'une centaine d'ostracodes/g. Pour les milieux d'eau douce, la concentration en ostracodes la plus importante est observée à OS4 (environ 1000 ostracodes/g) alors qu'OS3 ne compte que 4 ostracodes/g (Fig. 3).

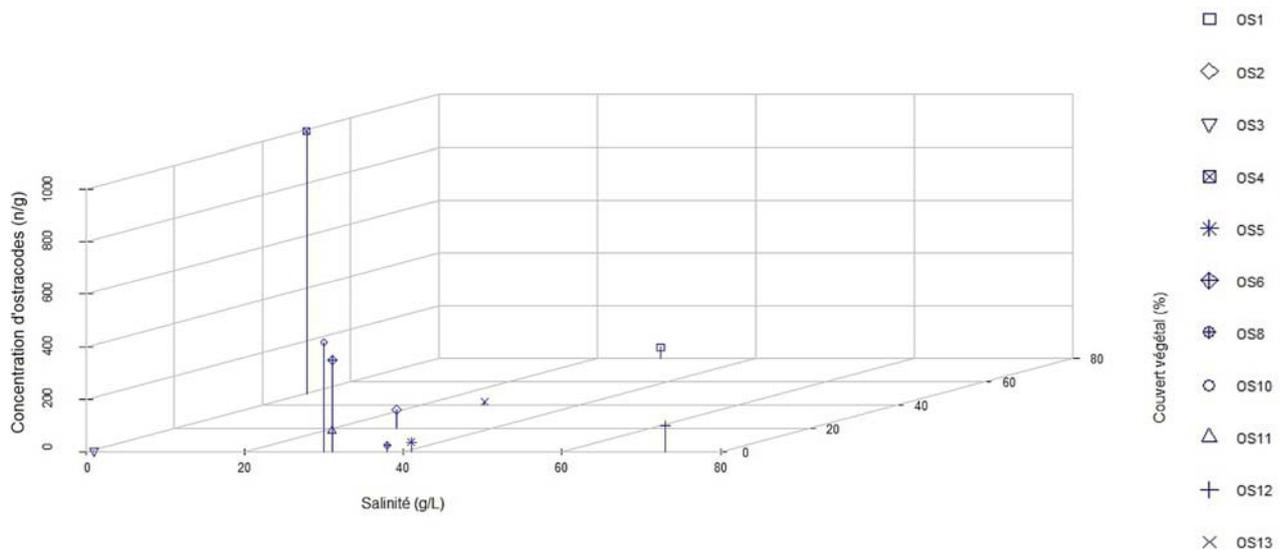


Figure 3 : Concentration d'ostracodes (n/g) en fonction de la salinité (g/l) et de la végétation (%)

En ce qui concerne la végétation, on note que pour un même pourcentage de couvert végétal, la concentration et la salinité sont très variables (Fig. 3). Pour une salinité nulle ou proche de zéro, le couvert végétal varie de 0 à 50 %. Au delà d'une salinité de 30 g/l, il est nul. Notons cependant que les trois stations salées à 28 g/l (OS1, OS2 et OS13) possèdent respectivement un couvert végétal de 80, 20 et 40 %.

Le test de corrélation de Pearson ne montre

pas de corrélation significative, ni entre salinité et concentration ($r=-0,42$; $t=0,14$; $0,05 < p\text{-value} < 0,1$), ni entre végétation et concentration ($r=0,14$; $t=0,67$; $0,25 < p\text{-value} < 0,4$).

DISCUSSION

1- Écologie des espèces identifiées

Deux communautés très différentes, caractérisant respectivement les milieux d'eau

douce et les milieux salés, ont été retrouvées. L'espèce *Cyprideis torosa*, très abondante dans les milieux salés, est typique des lagons et des estuaires. Elle est la plus représentée dans nos assemblages, car c'est une des espèces les plus euryhalines (Bruneton et al., 2001 ; Muller et al., 2008). La deuxième espèce bien représentée dans ces milieux est *Loxoconcha elliptica*. Comme *Cyprideis torosa*, elle est commune en eaux saumâtres et salées (Mezquita et al., 2005), et se retrouve couramment dans les milieux lagunaires (Muller et al., 2008).

Dans les milieux d'eau douce, OS4EAU présente uniquement des individus adultes du genre *Herpetocypris*. L'échantillon en question a été prélevé, non pas dans les sédiments, mais dans la colonne d'eau. L'espèce retrouvée semble donc être pélagique. A OS4, des individus juvéniles ont majoritairement été retrouvés (mues de valves). C'est également la seule station où des individus de *Potamocypris villosa* et *Sarscypridopsis aculeata* ont été retrouvés. A la différence des adultes de *Herpetocypris* sp., ces espèces sont benthiques, ce qui explique pourquoi elles n'ont pas été prélevées dans la colonne d'eau. Les espèces du genre *Potamocypris* sont généralement ubiquistes (Muller et al., 2008). *Sarscypridopsis aculeata* a une préférence pour les points d'eau saumâtres de faible étendue (Aygen, 2011). *Heterocypris salina* a également été retrouvée dans des stations caractérisées par des salinités très faibles ou nulles. Cette espèce est normalement tolérante aux hautes salinités (Muller et al., 2008).

Enfin, *Aurila pracina*, *Ilyocypris* sp. (représenté par un unique spécimen partiellement brisé et dont l'espèce n'a pas pu être identifiée) et *Xestoleberis* cf. *nitida* ont été retrouvées dans des proportions très faibles. Ces espèces sont peu décrites dans la littérature, et il est donc difficile de leur assigner une écologie. La différence d'abondance entre espèces pourrait s'expliquer par le fait que la date d'échantillonnage coïnciderait avec une période favorable au développement de certaines espèces (Mezquita et al., 2000).

2- Relations entre variables environnementales et assemblages d'ostracodes

Richesse spécifique

Parmi les 4 espèces retrouvées en milieu salé, peu de spécimens d'*Aurila pracina* et *Xestoleberis* cf. *nitida* ont été retrouvés. Ces individus ont été trouvés à OS10, station reliée au Canal du Rhône à Sète, et dans le canal en lui-même (OS11). Ils sembleraient provenir d'une source extérieure, reliée au canal, et ne peuvent donc pas être associés aux zones d'eau échantillonnées. Seuls *Cyprideis torosa* et *Loxoconcha elliptica* semblent réellement inféodées aux milieux salés des étangs palavasiens.

Pour les milieux d'eau douce, *Ilyocypris* sp. pourrait être exclue, car un seul individu a été retrouvé. Cela peut s'expliquer par la concentration très faible d'ostracodes de la station où ce spécimen a été prélevé. Ce point de prélèvement étant une mare temporaire, on peut émettre l'hypothèse suivant laquelle ce milieu n'est pas favorable au développement de grandes populations, d'où une faible densité. La survie des individus dans ces habitats est vraisemblablement due à leur capacité à résister aux périodes de sécheresse, notamment par une entrée en diapause (Griffith & Evans, 1991).

Les tests statistiques réalisés n'ont mis en évidence aucune relation entre couvert végétal aquatique et nombre d'espèces. D'autres travaux ont pourtant montré que la végétation influençait la richesse spécifique et l'abondance des ostracodes (Kiss, 2007). On constate une relation négative entre richesse spécifique et salinité : plus la salinité augmente, plus la richesse spécifique semble diminuer. Cependant, cette relation n'est pas validée statistiquement. D'autres études (Mischke & Wünnemann, 2006) ont toutefois utilisé cette relation pour la reconstruction de paléoenvironnements. Nos conclusions peuvent s'expliquer par le fait que le nombre de nos échantillons étaient limités, ne présentant ainsi que certaines valeurs de salinités. Pour la même raison, le couvert végétal a pu également être mal évalué.

Concentrations

Les concentrations en ostracodes sont disparates pour tous les milieux, y compris pour ceux présentant des salinités égales. Si cette dernière paraît influencer ces concentrations, il n'y a pas de relation significative entre salinité et concentration. On peut déduire que la salinité n'est donc pas le seul paramètre influent.

La concentration élevée en ostracodes de la station OS4 pourrait s'expliquer par la quantité importante de matière organique en suspension dans ce point d'eau. Les ostracodes étant majoritairement détritivores (Schmit et al., 2007), les ressources alimentaires seraient ici assez importantes pour que les populations puissent atteindre des densités élevées. Aux vues du nombre d'ostracodes retrouvés dans la seconde station (OS3), cette concentration ne semble donc pas liée à la salinité, mais plutôt au facteur « ressources ». De la même manière que pour la richesse spécifique, les tests statistiques ne permettent pas de mettre en place de relation entre couvert végétal benthique et concentration en ostracodes.

3- Limites de l'étude

A chaque manipulation (tri, identification et transport des lames), de nombreuses valves ont été brisées et n'ont donc pas été prises en compte dans le calcul des concentrations finales. Cela s'explique en partie par la petite taille des ostracodes et la fragilité de leurs tests (De Deckker & Yokoyama, 2009), ce qui les rend délicats à manipuler. L'utilisation d'eau oxygénée sur les échantillons les plus argileux a également fragilisé les valves. Bien qu'aucune estimation chiffrée n'ait été faite, les échantillons ayant subi ce traitement présentaient de nombreux spécimens cassés. L'identification des ostracodes reste difficile à la loupe binoculaire. La dissection est le seul procédé permettant de réaliser une identification correcte (Martens et al., 2008), mais est impossible à réaliser sur du matériel fossile. La bibliographie est également un facteur limitant, certaines espèces n'étant pas décrites. Plusieurs espèces sont aussi sujettes au polymorphisme, notamment *Cyprideis*

torosa dont l'ornementation varie en fonction de la salinité (Bodergat et al., 1991). Certains spécimens ont ainsi pu être mal identifiés.

Dans notre étude, peu de paramètres environnementaux ont été mesurés. En effet, les ostracodes sont sensibles à d'autres paramètres physico-chimiques, tels que la température ou le pH (Mezquita et al., 2005). De plus, le gradient de salinité de nos échantillons n'est pas un continuum. Plus de prélèvements auraient donc pu être réalisés afin de mieux mettre en relation salinité et assemblages d'ostracodes. Il aurait également été intéressant d'échantillonner plus loin dans les terres et/ou de remonter le cours des rivières. Cela permettrait d'avoir plus d'échantillons représentant les milieux d'eau douce. En effet, sur nos trois prélèvements, un n'est pas représentatif des sédiments de surface et l'autre ne contient que quatre individus/g de sédiments.

CONCLUSION

Le travail réalisé n'a pas permis de mettre en évidence de corrélation entre le couvert végétal et les assemblages d'ostracodes pour le complexe lagunaire de Palavas. D'un point de vue statistique, il ne semble pas non plus y avoir de lien entre salinité et concentration ou richesse spécifique. Cela peut s'expliquer par le fait que l'étude reste limitée à des valeurs ponctuelles de salinité. La réalisation d'un modèle applicable aux paléoenvironnements à partir de ces données est donc pour l'instant impossible. Cependant, ces travaux ont révélé une répartition préférentielle de certaines espèces. Les assemblages observés pour les milieux dulçaquicoles sont complètement différents de ceux des milieux halins à hyperhalins. L'existence d'un lien entre salinité et concentration/ richesse spécifique des ostracodes ne peut donc pas être rejeté.

Le manque de données environnementales ne permet pas de bien appréhender l'écologie des étangs palavasiens dans leur ensemble. Il serait donc intéressant de réaliser de nouveaux prélèvements prenant en compte d'autres paramètres physico-chimiques, en plus de la salinité. Cela permettrait de mieux appréhender les assemblages d'ostracodes

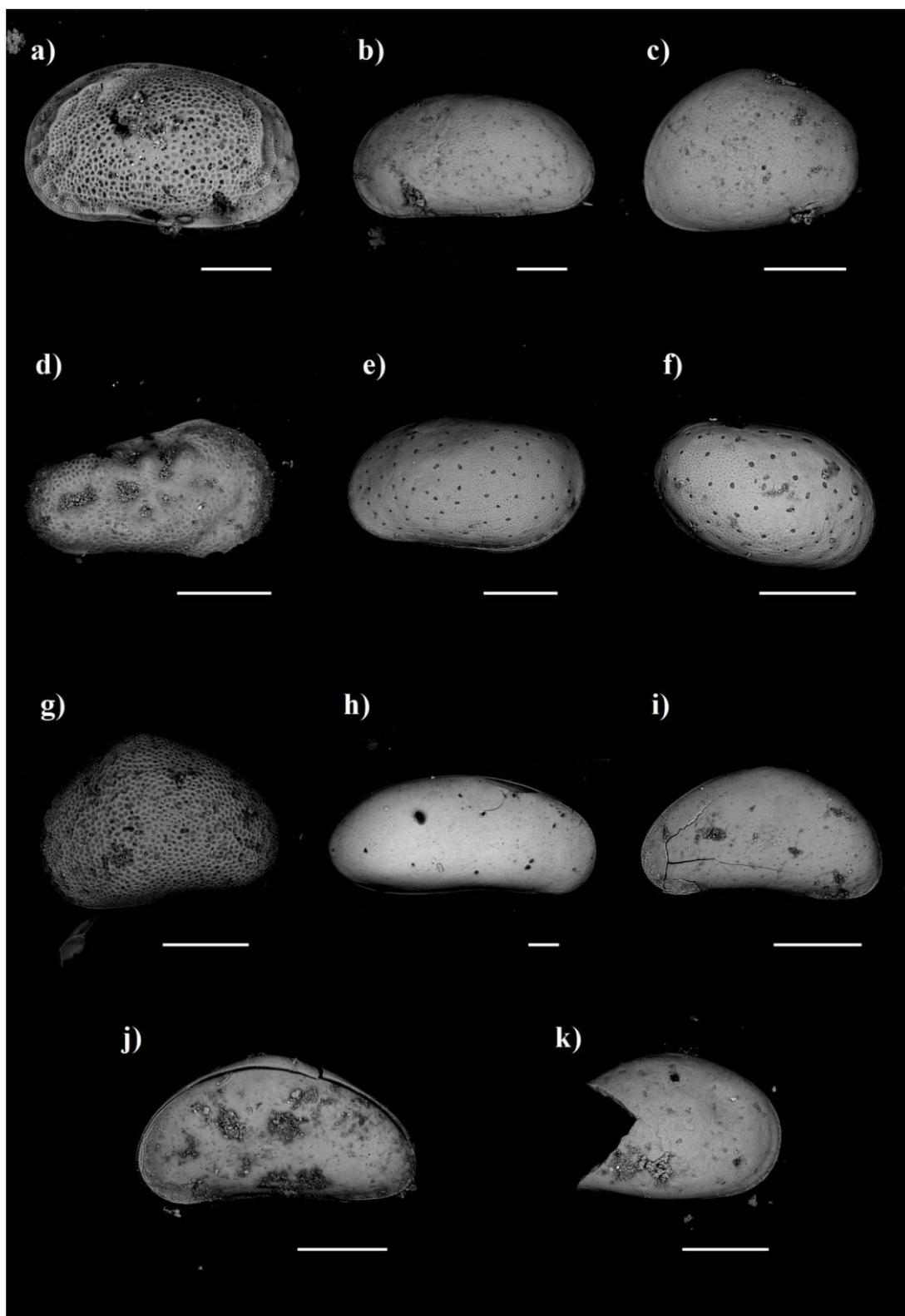
dans ces milieux, mais également de mieux interpréter les paléoenvironnements reconstruits par l'étude des ostracodes fossiles. C'est le cas d'études antérieures (Bruneton et al., 2001 ; Muller et al., 2008 ; Dolez et al., 2015) qui ont utilisé les ostracodes, en complément d'autres indicateurs, afin de reconstituer les dynamiques écologiques passées de zones humides du sud de la France.

REFERENCES

- Aygen C. (2011). Diversity of microcrustaceans in temporary habitats of the province of Satalı (Izmir, Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 10 : 13951-13955.
- Bassetti M.-A., Carbonel P., Sierro F.J., Perez-Folgado M., Jouët G. & Berné S. (2010). Response of ostracods to abrupt climate changes in the Western Mediterranean (Gulf of Lions) during the last 30 kyr. *Marine Micropaleontology*, 77 : 1-14.
- Bec B., Nathalie M., Laurent D., Dominique M., André V., Yves C. & Daniel G. (2012). Changement dans les communautés phytoplanctoniques au cours d'un processus de restauration écologique dans les lagunes du Languedoc-Roussillon. Poster, Ecole Thématique Expert Génomique Environnementale, Aussois 23-27 avril 2012.
- Bodergat A.-M., Rio M. & Andreani A.-M. (1991). Composition chimique et ornementation de *Cyprideis torosa* (Crustacea, Ostracoda) dans le domaine paraliq. *Oceanologica Acta*, 14 : 505-514.
- Bruneton H., Arnaud-Fassetta G., Provansal M. & Sistach D. (2001). Geomorphological evidence for fluvial change during the Roman period in the lower Rhone valley (southern France). *Catena*, 45 : 287-312.
- Castaigns J. (2008). *État de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires*. Rapport de Master 2 GLM, Université Montpellier 2, Ceparlmar, 100 p.
- Court-Picon M., Vella C., Chabal L. & Bruneton H. (2010). Paléo-environnements littoraux depuis 8000 ans sur la bordure occidentale du Golfe du Lion. Le lido de l'Étang de Thau (carottage SETIF, Sète, Hérault). *Quaternaire*, 21 : 43-60.
- De Deckker P. & Yokoyama Y. (2009). Micropalaeontological evidence for Late Quaternary sea-level changes in Bonaparte Gulf, Australia. *Global and Planetary Change*, 66 : 85-92.
- Dolez L., Salel T., Bruneton H., Colpo G., Devillers B., Lefèvre D., Muller S.D. & Sanchez C. (2015). Holocene palaeoenvironments of the Bages-Sigean lagoon (France). *Geobios*, 48 : 297-308.
- Fanget A.-S., Bassetti M.-A., Arnaud M., Chiffolleau J.-F., Cossa D., Goineau A., Fontanier C., Buscail R., Jouet G., Maillet G.M., Negri A., Dennielou B. & Berné S. (2013). Historical evolution and extreme climate events during the last 400 years on the Rhone prodelta (NW Mediterranean). *Marine Geology*, 346 : 375-391.
- Ferrer P. (2010). *Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique*. Thèse de doctorat, Université de Perpignan Via Domitia, 255 p.
- Griffith H.I. & Evans J.G. (1991). Some freshwater ostracods (Crustacea: Ostracoda) from South Wales. *Freshwater Forum*, 1 : 64-72.
- Holmes J.A. (2001). Ostracoda. In : J.P. Smol, H.J. Birks & W.M. Last (éds.), *Tracking environmental change using lake sediments, Vol 4: Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 125-151.
- Kiss A. (2007). Factors affecting spatial and temporal distribution of Ostracoda assemblages in different macrophyte habitats of a shallow lake (Lake Fehér, Hungary). *Hydrobiologia*, 585 : 89-98.
- Martens K., Schön I., Meisch C. & Horne D.J. (2008). Global diversity of ostracods (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595 : 185-193.
- Mezquita F., Sanz-Brau A. & Wansard G. (2000). Habitat preferences and population dynamics of Ostracoda in a helocene spring system. *Canadian Journal of*

- Zoology* 78 : 840-847.
- Mezquita F., Roca J.R., Reed J.M. & Wansard G. (2005). Quantifying species–environment relationships in non-marine Ostracoda for ecological and palaeoecological studies: Examples using Iberian data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225 : 93-117.
- Mischke S. & Wünnemann B. (2006). The Holocene salinity history of Bosten Lake (Xinjiang, China) inferred from ostracod species assemblages and shell chemistry: Possible palaeoclimatic implications. *Quaternary International*, 154-155 : 100-112.
- Muller S.D., Bruneton H., Soulié-Märsche I., Rey T., Thiéry A., Waterkeyn A., Brendonck L., Schevin P., Yavercovski N. & Grillas P. (2008). Long-term dynamics of a Mediterranean alkaline vernal pool (Rhône delta, southern France). *Wetlands*, 28 : 951-966.
- Park L.E., Cohen A.S., Martens K. & Bralek R. (2003). The impact of taphonomic processes on interpreting paleoecologic changes in large lake ecosystems : Ostracodes in Lakes Tanganyika and Malawi. *Journal of Paleolimnology*, 30 : 127-138.
- Schmit O., Rossetti G., Vandekerckhove J. & Mezquita F. (2007). Food selection in *Eucypris virens* (Crustacea: Ostracoda) under experimental conditions. *Hydrobiologia*, 585 : 135-140.
- Viehberg F.A. (2006). Freshwater ostracod assemblages and their relationship to environmental variables in waters from northeast Germany. *Hydrobiologia*, 571 : 213-224.
- Yamaguchi S. & Endo K. (2003). Molecular phylogeny of Ostracoda (Crustacea) inferred from 18S ribosomal DNA sequences: Implication for its origin and diversification. *Marine Biology*, 143 : 23-38.
- Williams W.D., Boulton A.J. & Taaffe R.G. (1990). Salinity as a determinant of salt lake fauna: A question of scale. *Hydrobiologia*, 197 : 257-266.

ANNEXE 1. Photos au Microscope Électronique à Balayage (MEB) des différentes espèces d'ostracodes identifiées dans l'étude. L'échelle représente une longueur de 200 μm . a) *Aurila pracina* (auteur inconnu) ; b) *Cyprideis torosa*, Jones, 1857; c) *Cyprideis torosa*, (juvénile), Jones, 1857; d) *Ilyocypris* sp. ; e) *Loxoconcha elliptica*, Brady, 1868 ; f) *Loxoconcha elliptica*, Brady, 1868 ; g) *Sarscypridopsis aculeata*, McKenzie, 1977 ; h) *Herpetocypris* sp. ; i) *Potamocypris villosa*, Jurine, 1820 ; j) *Heterocypris salina*, Brady 1868 ; k) *Xestoleberis* cf. *nitida*, Liljeborg, 1853.



ETUDE DE BOIS FLOTTES DU LITTORAL DE LA REGION DE MONTPELLIER (HERAULT)

Coralie Barbier ¹, Chloé Cornic ², Lucie Reixach ³

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

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ coralie.barbier@etu.umontpellier.fr, ² chloe.cornic@etu.umontpellier.fr,

³ lucie.reixach@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Jean-Frédéric Terral, Sarah Ivorra, Isabel Figueiral

Citation : Barbier C., Cornic C. & Reixach L. (2016). Etude de bois flottés du littoral de la région de Montpellier (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 37-44.

Résumé : L'identification des bois flottés est possible grâce à l'anthracologie qui permet la détermination de l'espèce du bois étudié. Connaissant l'écologie des espèces concernées, il est par la suite possible d'en déduire leur origine. Une analyse des bois flottés a été réalisée dans trois stations du littoral méditerranéen (Hérault) : le Grand Travers, les Aresquiers et Frontignan plage. Les résultats montrent que les bois identifiés proviennent majoritairement d'espèces locales et régionales.

Mots clés : Anthracologie, essences, littoral, mer Méditerranée, courants marins

Abstract: *Study of driftwood on the coast of Montpellier region (Hérault)*. Driftwood identification is possible thanks to anthracology that allows determination of wood species. Based on the ecology of the species, it is possible to infer their origin. An analysis of driftwoods has been realised from three stations on the Mediterranean coast (Hérault): le Grand Travers, les Aresquiers and Frontignan plage. Results show that identified driftwoods originate mainly from local and regional species.

Keywords: Anthracology, species, littoral, Mediterranean sea, sea currents

Au cours du Pléistocène, l'Homme comprend que le bois est une ressource nécessaire à sa survie. Utilisé jusque-là pour la fabrication d'outils, il devient il y a 400 000 ans un matériau indispensable à la maîtrise du feu. Cette avancée a permis à l'Homme d'occuper les zones tempérées froides du nord de l'Eurasie, le protégeant des basses températures et constituant une défense efficace contre les prédateurs. Il est possible d'observer des traces de ces foyers aménagés, notamment dans les sols d'occupation de la grotte du Lazaret à Nice, très riches en ossements brûlés, charbons de bois et cendres. C'est ainsi que s'est développée une vie

sociale plus organisée (de Lumley, 2006). Au cours du Néolithique, la population se sédentarise, menant ainsi à une explosion démographique et aux premières exploitations forestières, dont les premiers défrichements se font à la hache à silex (vers -3500 av. notre ère), puis à l'aide d'outils de cuivre, de bronze et enfin de fer (-700 av. notre ère). Les différentes couches archéologiques du site « Le Marduel », datant de l'Âge du Fer, confirment que l'Homme a prélevé des espèces ligneuses variées afin de s'en servir comme combustible domestique (Chabal, 1992). Durant la période celtique, différentes innovations techniques, telles que la roue ou les engrais apparaissent, menant à un

déboisement plus important au profit de l'agriculture. L'exploitation du bois reste très importante de nos jours, pour se chauffer, se nourrir ou construire des habitations et des outils. C'est un matériau indispensable, notamment pour les peuples vivant dans les régions arctiques, où la ressource en bois est en grande partie basée sur les bois flottés, issus de la taïga sibérienne et nord-américaine, échoués sur les grèves (Alix, 2008). En France et plus particulièrement en Méditerranée, l'intérêt du bois flotté est multiple. Il peut être recyclé en amendement organique ou engrais, incinéré afin de récupérer la chaleur dégagée par la combustion, servir à matérialiser des chemins d'accès, ainsi qu'à renforcer des cordons dunaires ou encore à réaliser des œuvres d'art.

Notre étude a été réalisée au bord de la Méditerranée, sur un secteur côtier situé entre Carnon-est et Frontignan-plage (Hérault). L'une des zones de prélèvement (Les Aresquiers) a été le siège de l'école de terrain ORPAL 2016, durant laquelle d'autres études ont été menées. Nous nous sommes intéressées aux bois flottés récoltés sur trois sites, que nous avons identifiés grâce à l'anthracologie. L'objectif du travail est de déterminer quelles espèces s'accumulent, à quels endroits et en quelles quantités. Ces informations sont susceptibles de renseigner sur l'origine (locale ou non), et de révéler d'éventuelles trajectoires de courants marins à l'origine des dépôts étudiés.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

La zone d'étude est marquée par un climat méditerranéen, caractérisé par des hivers doux et des étés secs. Les pluies accrues, observées au printemps et surtout en automne, sont appelées « épisodes cévenols ». De nombreuses rivières et fleuves traversent ce département : c'est par exemple le cas du Lez, petit fleuve prenant sa source dans le Nord de St-Clément-de-Rivière et se jetant dans la mer à Palavas-les-Flots. Il est bordé par une ripisylve plutôt dense et étroite, et possède des affluents comme le Lirou et la Mosson. Ces cours d'eau ont un régime hydraulique plutôt calme, avec des débits moyens de 0,72 et 1,20 m³/s. Les épisodes cévenols peuvent cependant provoquer des crues rapides et violentes pouvant modifier les berges (<http://www.herault.fr/>). En effet, ces pluies surviennent lorsque le vent chaud et humide en provenance de la Méditerranée heurte le massif montagneux des Cévennes et rencontre l'air froid présent en altitude. Ces orages apportent, sur une courte durée, d'importantes quantités d'eau, augmentant considérablement le débit des fleuves. Ces événements pourraient être à l'origine des bois flottés retrouvés sur les plages du Languedoc. Nous avons prélevé des bois flottés sur trois sites différents dont les coordonnées sont indiquées **Figure 1** : les Aresquiers, le Grand Travers et Frontignan plage.

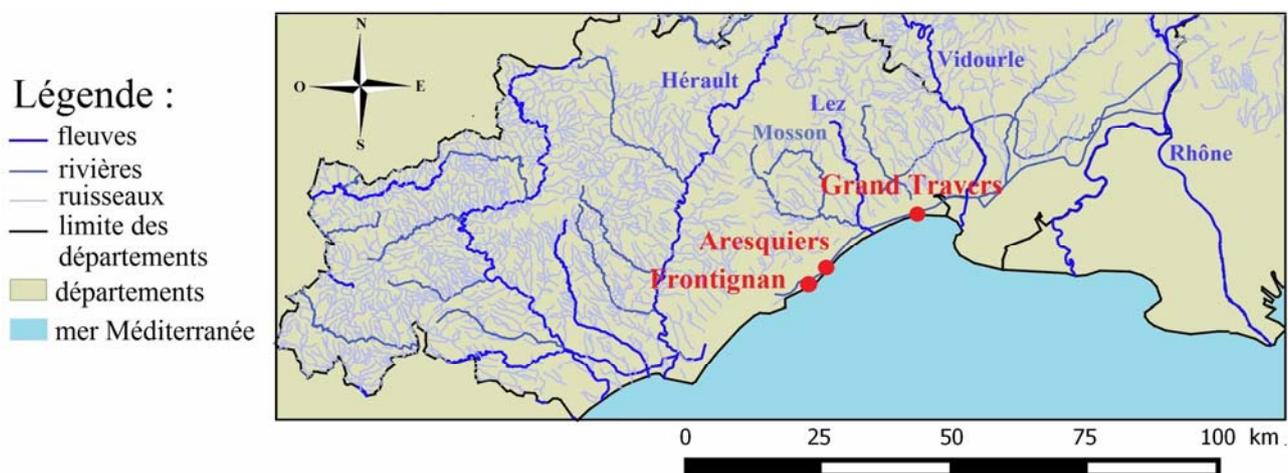


Figure 1. Carte des zones de prélèvements et des principaux cours d'eau (Source : QGIS)

Notre arrêt aux Aresquiers a permis de caractériser la végétation présente et de prélever des échantillons de bois en vue d'une comparaison avec les bois flottés collectés. Un gradient d'espèces, lié à la salinité et à la présence de lentilles d'eau douce dans le sol, est observable. A proximité de la mer, se trouvent la soude commune (*Salsola soda*) et la salicorne (*Sarcocornia fruticosa*), qui sont tolérantes au sel. En s'éloignant de l'eau salée, on rencontre des espèces non tolérantes au sel, telles que le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*). Certaines espèces sont implantées sur le cordon littoral, comme le tamaris (*Tamarix gallica*), le nerprun alaterne (*Rhamnus alaternus*), le chêne kermès (*Quercus coccifera*), le ciste de Montpellier (*Cistus monspeliensis*) ou le pin d'Alep (*Pinus halepensis*).

2- Méthodes de terrain

Aux Aresquiers, les bois flottés ont été prélevés aléatoirement le long d'une ligne droite, à raison de 3 échantillons tous les 30 m. Au Grand Travers, la plage est nettoyée régulièrement, ce qui diminue le nombre de bois flottés, d'autant plus qu'aucune tempête n'a eu lieu dans les jours précédant la collecte. De ce fait, nous avons prélevé l'ensemble des bois flottés trouvés sur environ 200 m. Enfin, à Frontignan plage, nous avons recueilli les échantillons sur et autour d'une digue. La longueur et le diamètre des 205 échantillons ont été mesurés. Les gros échantillons ont été débités à l'aide d'une tronçonneuse.

3- Méthodes de laboratoire

Les échantillons de bois flottés ont été analysés grâce à l'anthracologie. Dans une phase préliminaire, les échantillons ont été débités en petits morceaux, puis placés dans une étuve à 60°C durant 2 à 3 jours afin d'enlever l'humidité du bois. Une fois secs, ils ont été entourés de papier aluminium afin d'éviter au maximum les contacts avec l'oxygène. Nous avons ensuite sélectionné au hasard des échantillons permettant d'obtenir la diversité d'essences la plus importante pour chaque zone : 26 aux Aresquiers, 25 au Grand

Travers et 23 à Frontignan, soit 75 essences au total. Nous les avons carbonisés dans un four à moufle, en les plaçant dans du sable afin d'empêcher que le bois ne se réduise en cendre, durant 1h pour atteindre 450°C, puis nous les avons laissés 40 minutes. La combustion du bois se réalise de la surface vers le cœur du bois, elle est différente selon le taux d'humidité, le calibre, l'espèce et l'état (sain ou altéré) du bois. Il s'agit d'une dégradation chimique entraînant une diminution de volume du bois et un amincissement des parois cellulaires sous l'effet de la chaleur. La structure interne du bois n'étant pas détériorée, il est possible de l'étudier. L'anthraco-analyse (étude des charbons de bois) permet d'identifier chaque bois (au niveau du genre ou de l'espèce) grâce à l'observation de la structure anatomique, qui est caractéristique de chaque essence, et à l'utilisation de clés de détermination (Schweingruber, 1990 ; Vernet, 2001). Nous avons comparé nos échantillons à des collections de référence que nous avons à disposition au laboratoire. Une fois carbonisé, le morceau de charbon est fracturé manuellement selon trois plans anatomiques (transversal, longitudinal radial et longitudinal tangentiel) et observé au microscope à réflexion (Fig. 2). L'observation des différents éléments constitutifs (nature, structure et organisation) du bois permet l'identification. Un bois présentant en coupe transversale un seul type cellulaire nommé « trachéide », assurant le soutien et la conduction de la sève brute, indique qu'il s'agit d'un bois homoxylé de Gymnosperme. En revanche, un bois hétéroxylé, présentant des vaisseaux assurant la conduction de la sève, des fibres assurant le soutien et des rayons ligneux impliqués dans le stockage d'éléments nutritifs et la conduction horizontale, correspond à un bois hétéroxylé de feuillu (Angiospermes ou Eudicots basales) (Fig. 2). Le plan longitudinal quant à lui, permet d'observer plus précisément les rayons ligneux et de repérer les champs de croisement entre les vaisseaux et les rayons. On peut apercevoir des perforations entre deux vaisseaux, des ponctuations sur la paroi des vaisseaux et des épaissements spiralés, qui sont des

éléments diagnostiques importants. Finalement, les échantillons identifiés peuvent être affiliés à une flore locale, régionale ou issue

de milieux beaucoup plus distants. De ce fait, leur mode de transport peut être précisé.

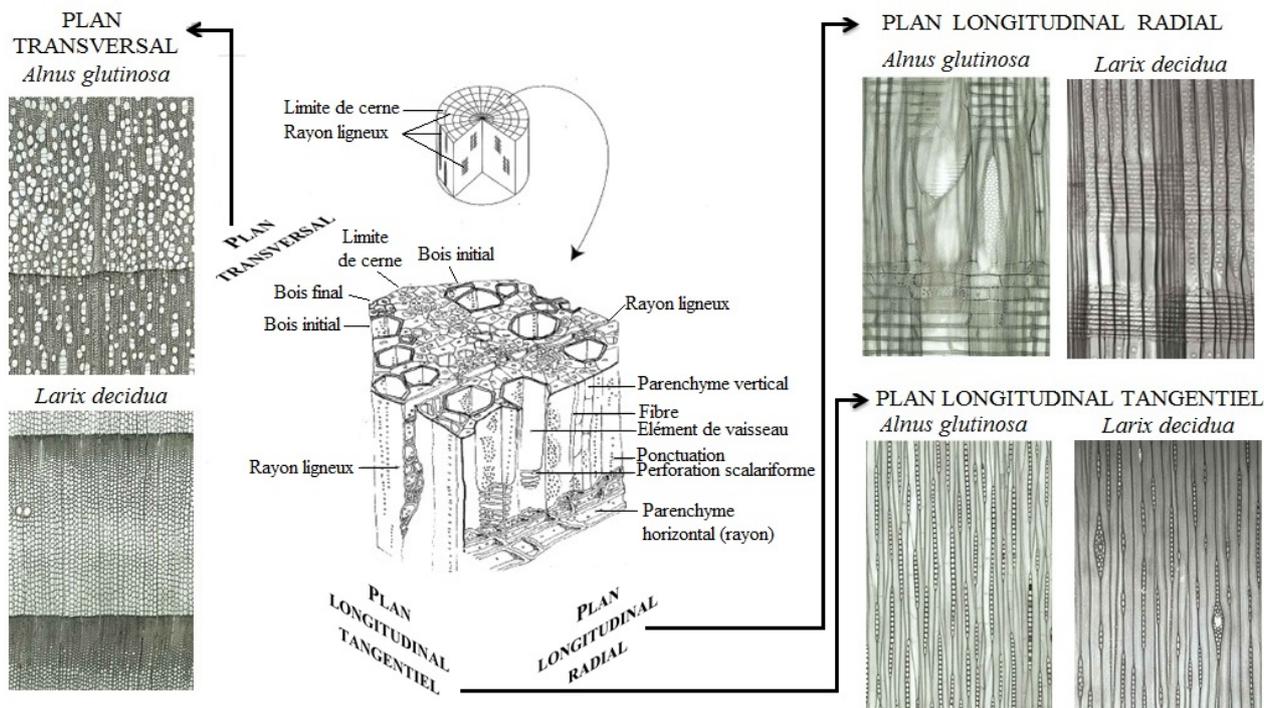


Figure 2. Plan des différentes coupes et exemple pour une Gymnosperme (*Larix decidua*, Mélèze commun) et une Angiosperme (*Alnus glutinosa*, Aulne glutineux) (Schweingruber, 1990)

RESULTATS

Les essences échantillonnées ont été identifiées pour chaque site et classées en trois catégories : “flore locale”, “flore régionale” et “flore extrarégionale” (Tab. 1).

Cela nous a permis de réaliser des diagrammes représentant la part d’espèces locales, régionales et extrarégionales pour chaque site (Fig. 3). Les espèces et leurs écologies sont répertoriées dans la Table 2.

Table 1. Tableau récapitulatif des taxons locaux, régionaux et extrarégionaux. Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre d’échantillons collectés pour chaque espèce.

Flore	Aresquiers	Grand-travers	Frontignan plage
locale	<i>Ericaceae</i> (1)	<i>Alnus glutinosa</i> (3)	<i>Alnus glutinosa</i> (6)
	<i>Hedera</i> (1)	<i>Fraxinus</i> (3)	<i>Fraxinus</i> (2)
	<i>Pinus halepensis</i> (1)	<i>Populus</i> (3)	<i>Robinia pseudoacacia</i> (2)
	<i>Quercus ilex/coccifera</i> (1)	<i>Salix</i> (10)	<i>Salix</i> (9)
	<i>Tamarix</i> (2)		
régionale	<i>Alnus glutinosa</i> (3)	<i>Cistus</i> (1)	<i>Ficus carica</i> (1)
	<i>Fraxinus</i> (2)	<i>Ficus carica</i> (1)	<i>Pinus halepensis</i> (2)
	<i>Pinus pinea/pinaster</i> (1)	<i>Robinia pseudoacacia</i> (2)	<i>Quercus ilex/coccifera</i> (1)
	<i>Prunus</i> (1)	<i>Punica granatum</i> (1)	
	<i>Robinia pseudoacacia</i> (1)		
extrarégionale	<i>Salix</i> (10)		
	<i>Castanea sativa</i> (1)	<i>Castanea sativa</i> (1)	
		<i>Picea/Larix</i> (1)	

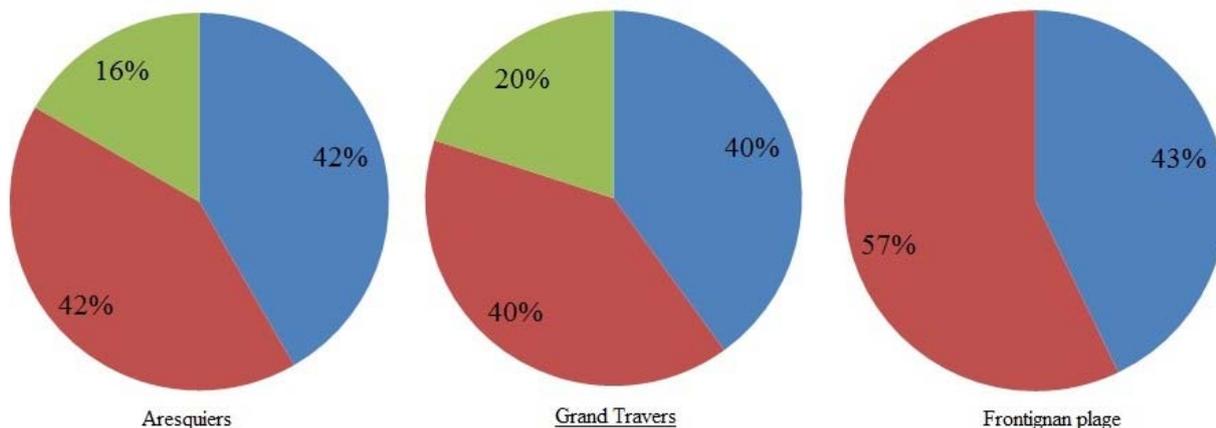


Figure 3. Fréquence relative des essences récoltées sur chaque zone. En bleu la flore locale, en rouge la flore régionale et en vert la flore extrarégionale

La plage de Frontignan est proche des habitations, alors que celles du Grand Travers et des Aresquiers sont plus étendues, et possèdent un système dunaire. Cependant, la répartition des essences récoltées sur les trois zones montre une certaine homogénéité : *Salix* et *Alnus glutinosa* ayant par exemple été retrouvés fréquemment dans toutes les stations (Tab. 1). Les diagrammes nous permettent de mettre en évidence l'origine majoritairement locale et régionale des essences recueillies. Aux Aresquiers et au Grand Travers, 20 % des échantillons des bois flottés sont d'origine extrarégionale. Au Grand Travers, où nous disposons de 25 échantillons, les 20 % d'espèces extrarégionales ne sont représentées que par 2 taxons : *Castanea sativa* et *Picea/Larix*. A Frontignan, l'ensemble des essences est d'origine locale et régionale.

DISCUSSION

1- Espèces locales

La grande majorité des espèces identifiées sur les trois sites sont locales ou régionales. Lors de notre premier arrêt aux Aresquiers, nous avons noté la présence d'espèces telles que *Tamarix gallica* ou *Pinus halepensis*, la première située en bordure des étangs sur un cordon dunaire dégradé, et la seconde constituant la pinède des Aresquiers. Ces espèces représentent une partie des bois flottés retrouvés sur ce site. Il est probable

que les intempéries (orages, vents) aient sectionné certaines branches de ces espèces ligneuses, les amenant au bord de mer. Cette hypothèse peut s'étendre à l'ensemble des espèces locales retrouvées sur les plages des trois sites.

2- Espèces régionales

Pour comprendre l'origine des espèces identifiées pour chaque site, il faut s'intéresser aux cours d'eau présents dans le département de l'Hérault, ainsi qu'aux courants maritimes du Golfe du Lion. Il existe plusieurs cours d'eau, tels que le Vidourle, la Mosson ou le Lez ayant un régime hydraulique calme et des berges peu accidentées. Ils présentent des végétations riveraines importantes, ainsi que des phragmitaies (ou roselières) en eaux peu profondes sur fond vaseux (languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr).

L'Hérault est également un fleuve, dont le débit moyen est de 43,7 m³/s. Il prend sa source au Mont Aigoual au Sud des Cévennes, et se jette dans la mer Méditerranée au niveau d'Agde. Le Languedoc est caractérisé par un régime climatique de type cévenol. Lors de fortes précipitations, les grandes quantités d'eau, couplées au fort débit de certains fleuves comme l'Hérault, peuvent provoquer des inondations, car l'absorption de l'eau ne peut ni s'effectuer par le sol ni par le cours d'eau (ecosociosystemes.fr) (Fig. 1).

Table 2. Ecologie des essences échantillonnées (Faïn & Rigolio, 1996 ; Jacamon, 2011)

Essence échantillonnée	Ecologie
<i>Alnus glutinosa</i> (Aulne glutineux) – Betulaceae	Partout en France, zones humides, ripisylves, plaines jusqu'à 1200 m. Consolidation des berges + combustible
<i>Castanea sativa</i> (Châtaignier) – Fagaceae	Nord de la Méditerranée, basses montagnes, collines + Production de "marrons" + exploitation : parquets, etc.
<i>Cistus</i> (Ciste) – Cistaceae	Sols secs siliceux, calcaires, garrigues, coteaux secs, certaines espèces en zones côtières méditerranéennes
Ericaceae – Ericacées	Zones tempérées ou froides + ornementation, jardin
<i>Ficus carica</i> (Figuier) – Moraceae	Dans le Midi, climats secs, rochers et bois, jardins
<i>Fraxinus</i> (Frêne) – Oleaceae	Bord des fleuves, plaines alluviales, forêts caducifoliées + ornementation, fabrication outils etc + chauffage
<i>Hedera</i> (Lierre) – Araliaceae	Liane. Peu résistante au froid, peu exigeante, s'adapte facilement
<i>Picea abies</i> (Épicéa commun) – Pinaceae	Héliophile, résistant au froid, sols acides et calcaires + sylviculture + charpentes, coffrages, ornementation
<i>Larix decidua</i> (Mélèze commun) – Pinaceae	Endémique des Alpes + espèce pionnière + Sols acides ou calcaires + exploitation : charpentes, menuiserie
<i>Pinus halepensis</i> (Pin d'Alep) – Pinaceae	Méditerranée, plaines et basses montagnes, résistant à sécheresse et chaleur
<i>Pinus pinea</i> (Pin parasol) – Pinaceae	Méditerranée, littoral, besoin de chaleur et lumière
<i>Pinus pinaster</i> (Pin maritime) – Pinaceae	Bord de mer, climat humide et doux, tempérés, sols acides et calcaires + fixation des dunes littorales
<i>Populus</i> (Peuplier) – Salicaceae	Europe et Méditerranée + Ripisylve, héliophile + charpentes, palettes etc.
<i>Prunus</i> (Prunier) – Rosaceae	Ourlets forestiers, ripisylves + Jardins, ornementation, alimentation (nombreux arbres fruitiers)
<i>Punica granatum</i> (Grenadier) – Lythraceae	Dans le Midi + Sols calcaires, secs, climat humide + jardins/ornementation
<i>Quercus ilex/coccifera</i> (Chêne vert/kermès) – Fagaceae	Sols calcaires, héliophile, garrigues
<i>Robinia pseudoacacia</i> (Acacia) – Fabaceae	Espèce introduite + souplesse écologique, exigeante en lumière, résistante au froid, peut survivre en zones sèches + jardins
<i>Salix</i> (Saule) – Salicaceae	Europe, Méditerranée + ripisylve, sols profonds et hydromorphes + vannerie, ornementation etc.
<i>Tamarix</i> (Tamaris) – Tamaricaceae	Littoral, halophile, pouvant être utilisé dans les jardins en ornementation.

Certaines essences identifiées dans les bois flottés sont présentes dans les ripisylves : *Salix*, *Populus*, *Alnus glutinosa* ou *Robinia pseudoacacia* (Tab. 2). Lors des épisodes cévenols, les cours d'eau tels que le Lez ou l'Hérault, qui débordent de leur lit avec un débit supérieur à la normale, sont susceptibles d'emporter des débris de ces taxons et de les charrier jusqu'à la mer Méditerranée. Interviennent ensuite les courants maritimes du Golfe du Lion, influencés par les vents (Mistral et Tramontane) et la circulation générale du courant Nord Méditerranéen.

Celui-ci prend place depuis la mer Ligure jusqu'aux côtes Catalanes (Fig. 4). Il ne pénètre normalement pas dans le Golfe du Lion, mais peut parfois s'y introduire (Doglioli, 2014) et en affecter la circulation marine. La tension des vents de surface influence également la circulation. Ils participent à l'élaboration des courants : un vent de secteur nord homogène fait apparaître un fort courant côtier vers le sud. Des vents tels que le Mistral (Nord) ou la Tramontane (Ouest à Nord-Ouest) induisent notamment la formation de circulations cycloniques à

l'Ouest et anticycloniques au Nord du Golfe du Lion (Dufois, 2008). Ces mouvements anticycloniques remontant vers notre zone d'étude peuvent expliquer les apports de bois flottés provenant de l'Hérault dont l'embouchure est située à Agde (Fig. 4). De plus, des taxons communs à l'ensemble du

littoral méditerranéen français ont été observés : *Pinus halepensis* (Aresquiers), *P. pinea/pinaster* et *Cistus*. Enfin, la présence d'essences, telles que *Ficus carica*, *Prunus* ou *Punica granatum*, peut être expliquée par leur utilisation ornementale dans les jardins des habitations environnantes.

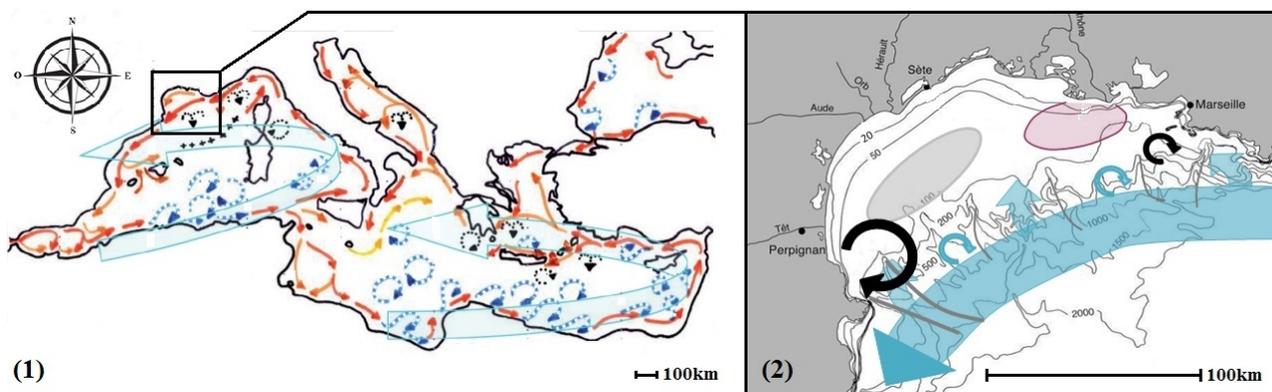


Figure 4. Carte des principaux courants marins de la mer Méditerranée (1) et du Golfe du Lion (2). Les flèches rouges représentent la circulation principale, en orange la circulation secondaire. Les pointillés noirs représentent des zones de convection et de tourbillons induits par le vent. (2) La grande flèche bleue représente le Courant Nord et les petites flèches bleues ses intrusions. La zone rose représente une zone de dilution du Rhône (eau douce rencontrant l'eau salée de la mer) (Pairaud et al., 2012)

3- Espèces extrarégionales

Au Grand travers et aux Aresquiers, quelques taxons extrarégionaux (*Castanea sativa*, *Robinia pseudoacacia* et *Picea/Larix*) ont été récoltés. *Picea abies* et *Larix decidua*, non différenciables par le bois, sont toutes deux des espèces de l'étage subalpin des Alpes. Or, le Rhône prend sa source dans les Alpes valaisannes et son bassin versant comprend la majeure partie des Alpes du Sud (par l'intermédiaire de la Durance). Son débit moyen est de 1700 m³/s, mais peut atteindre exceptionnellement 4000 m³/s lors de fortes pluies. Ses eaux sont ensuite déviées vers l'Ouest par la force de Coriolis, en direction de Montpellier (Doglioli, 2014) (Fig. 4). Il est très probable que ces deux espèces aient été apportées par ce fleuve. Le châtaignier (*Castanea sativa*), dont les plus proches populations se trouvent dans les Cévennes, a pu être transporté par l'Hérault. Aucune espèce extrarégionale n'a été récoltée à Frontignan plage. C'est également à cet

endroit que le nombre d'échantillons récolté était le plus faible : un nombre d'échantillons plus important aurait peut-être permis de retrouver des espèces extrarégionales. Toutefois, la dérive littorale dominante, entre Frontignan et l'Espiguette, est orientée vers l'Est, privant le Languedoc d'une partie des apports du Rhône (Aleman, 2013). Ceci peut expliquer l'absence d'espèce extrarégionale sur le site de Frontignan plage. La distribution des bois flottés dépend également des conditions météorologiques, de l'espèce, du degré d'écorçage du bois (impermeabilisation du bois) et de son temps de flottaison (Steelandt, 2014), celui-ci étant variable selon les espèces. Plus la température de l'eau est faible, la salinité importante et plus le bois est dense, plus le temps de flottaison est élevé (Alix, 2004). L'abondance ou la rareté de certaines espèces retrouvées sur certaines zones peuvent enfin être expliquées par le temps de flottaison spécifique de chaque bois.

CONCLUSION

L'identification des bois flottés sur les sites des Aresquiers, du Grand Travers et de Frontignan a révélé la présence d'espèces ligneuses en grande majorité locales et régionales. Nous pouvons distinguer plusieurs apports de bois. Un apport direct vers la mer est possible lors de fortes intempéries (flore locale, jardins) ainsi que par les fleuves qui, lors des épisodes cévenols, voient leur débit augmenter, débordent de leur lit et peuvent emporter de nombreux bois morts présents au sol dans les ripisylves. Les vents (Mistral et Tramontane), les courants maritimes (Courant Nord) et les mouvements des masses d'air cycloniques et anticycloniques ont un rôle important dans la direction des courants marins du Golfe du Lion. Ils peuvent expliquer en partie la présence de ces espèces sur les trois sites étudiés.

Il est important de préciser que seul un petit nombre d'échantillons a pu être analysé. Il faudrait étudier un plus grand nombre de bois flottés, afin d'obtenir des résultats plus représentatifs. Ce travail permettrait de constituer un référentiel actuel pour des études paléoécologiques, et pourraient par exemple permettre d'interpréter les restes de charbons de bois des anciennes cités portuaires. Cela pourrait révéler une éventuelle utilisation par les populations locales de ces bois flottés.

REFERENCES

- Aleman N. (2013). *Morphodynamique à l'échelle régionale d'une avant-côte microtidale à barres sédimentaire*. Thèse de doctorat, Université de Perpignan, 248 p.
- Alix C. (2004). Bois flottés et archéologie de l'Arctique : contribution à la préhistoire récente du détroit de Béring. *Études/Inuit/Studies*, 28 : 109-132.
- Alix C. (2008). L'usage du bois en Alaska. *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 111/112 : 45-50.
- Chabal L. (1992). La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. *Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques*, 139 : 213-236.
- de Lumley H. (2006). Il y a 400 000 ans : la domestication du feu, un formidable moteur d'homínisation. *Comptes Rendus Palevol*, 5 : 149-154.
- Doglioli A.M. (2014). *Notes sur la Circulation Générale en Méditerranée pour le cours d'Océanographie Générale*. Université d'Aix-Marseille, Marseille, 64 p.
- Dufois F. (2008). *Modélisation du transport particulière dans le Golfe du Lion en vue d'une application au devenir des traceurs radioactifs issus du Rhône*. Université du Sud, Toulon, 414 p.
- Faïn I. & Rigolio F. (1996). *Identification anatomique et provenance des bois rejetés par la mer entre Maguelone et les Aresquiers (Hérault) dans la semaine du 9 octobre 1995*. Mémoire d'initiation à la recherche, Université de Montpellier 2, 45 p.
- Jacamon M. (2011). *Guide de dendrologie : Arbres, arbustes et arbrisseaux des forêts françaises*. Ecole Nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, Nancy, 350 p.
- Pairaud I., Desmare S., Gatti J., Taupier-Letage I. (2012). *Etat physique et chimique, caractéristiques physiques, courantologie*. Ifremer La Seyne-sur-Mer (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), 9 p.
- Schweingruber F.H. (1990). *Anatomie microscopique du bois : identification de matériel récent et subfossile d'essences de l'Europe centrale en tenant compte de la variabilité de structure du bois de tronc et de branche*. Institut Fédéral de Recherches sur la Forêt, la Neige et le Paysage, Birmensdorf, 226 p.
- Steelandt S. (2014). *Disponibilité et exploitation des ressources ligneuses par les paléoesquimaux et les Inuit sur la côte ouest du Nunavik (Québec, Canada)*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 314 p.
- Vernet L. (2001). *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, sud-ouest de l'Europe : France, Péninsule ibérique et Iles Canaries*. CNRS Editions, Paris, 395 p.

DYNAMIQUE POST-CHABLIS D'UN PEUPEMENT COTIER DE PIN D'ALEP (*PINUS HALEPENSIS*) DANS LE BOIS DES ARESQUIERS (HERAULT, FRANCE)

Wylia Doleson ¹, Alexandre Laverré ², Flore Liron ³

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

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ wylia.doleson@etu.umontpellier.fr, ² alexandre.laverre@etu.umontpellier.fr,

³ flore.liron@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Benoît Brossier

Citation : Doleson W., Laverré A. & Liron F. (2016). Dynamique post-chablis d'un peuplement côtier de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) dans le bois des Aresquiers (Hérault, France). *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 45-55.

Résumé : Le littoral méditerranéen subit régulièrement des tempêtes, qui participent à l'érosion du trait de côte et à la formation de chablis dans les zones boisées. Cette perturbation s'observe par les chutes d'arbres qui créent des ouvertures du milieu. L'étude dendrochronologique d'arbres tombés permet d'analyser leurs variations de croissance et de dater les événements majeurs. Il semblerait que le chablis ait une conséquence directe sur la croissance des arbres survivants en modifiant divers paramètres environnementaux.

Mots clés : Dendrochronologie, tempête, interdatation, cerne de croissance

Abstract: *Post-windthrow dynamics of a coastal population of Aleppo Pine (*Pinus halepensis*) in the Aresquiers wood (Hérault, France).* The Mediterranean coast is regularly hit by storms, which contribute to coastline erosion and to windthrow formation in wooded areas. This disturbance is translated by falling trees creating openings in the environment. The dendrochronological study of felled trees allows analysing their growth variations and assigning dates to major events. The windthrow seems to have direct consequences on the growth of living trees, by modifying some environmental parameters.

Keywords: Dendrochronology, storm, cross-dating, tree ring

Le pourtour méditerranéen est soumis à l'action de nombreux types de vents (Mistral, Tramontane, Sirocco...). Lors d'événements tempétueux violents, le trait de côte recule et des submersions marines ont lieu à de nombreux endroits du littoral. Les conséquences sont alors importantes sur les plages, sur les prés salés (sansouires) et sur la végétation environnante. Le lido de Frontignan est confronté à des problématiques d'érosion chronique de ses plages (Bedin &

Mazeiraud, 2013) et à des détériorations sur la végétation environnante dans laquelle s'inscrit le site des Aresquiers. Les tempêtes de 1982, 1997 et 1999 ont eu de lourdes conséquences sur le littoral et témoignent de sa fragilité (Thau Agglo, 2016). Des vitesses exceptionnelles de vent peuvent en outre provoquer des chablis (Hoff & Rambal, 2006), qui sont des zones d'ouverture d'un milieu boisé, résultant d'un déracinement d'un ou de plusieurs arbres (Riera et al., 1990). C'est une perturbation naturelle, qui

entraîne l'ouverture du milieu et permet un rajeunissement de la forêt. Sa régénération permet la mise en compétition des espèces végétales pour la lumière (Riera et al., 1990). Un chablis a un impact important sur les peuplements, en modifiant fortement les conditions environnementales du milieu et les modalités d'accès aux ressources pour les espèces végétales (lumière, eau, matière organique). De tels événements perturbent les dynamiques de croissance des arbres et ont des conséquences directes sur le milieu. C'est notamment le cas du bois des Aresquiers (85 ha), dominé par le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), qui en occupe les deux tiers de la surface (Conservatoire du Littoral, 2015). Ce conifère résineux est adapté à des sols pauvres et secs, mais il reste sensible au vent et aux phénomènes météorologiques ponctuels (Vennetier et al., 2010). L'intégrité de ce boisement est importante, car le site des Aresquiers s'inscrit dans une succession végétale caractéristique de la région méditerranéenne. Il constitue de plus une barrière végétale protégeant l'intérieur des terres, et son maintien est essentiel à la préservation du littoral. Le système racinaire des arbres permet en effet de réduire l'érosion des sols. Mieux comprendre l'impact de l'ouverture du milieu sur la croissance du pin d'Alep permettrait de mieux comprendre la dynamique de croissance après un événement de chablis, et de mieux assurer la protection et le développement de ces boisements.

Grâce à l'analyse dendrochronologique des cernes de croissance, la présente étude a pour but de déterminer la date de mort des arbres tombés sur le site d'étude. Les caractéristiques des cernes (largeur, densité) que les arbres produisent chaque année résultent des conditions environnementales et des processus physiologiques propres à l'arbre (Fritts, 1978). Elles informent directement sur les perturbations d'origine climatique ayant eu un impact sur leurs croissances. L'étude cherchera à comprendre l'effet d'un chablis sur la croissance des arbres survivants à proximité. Cet effet sera analysé en prenant en compte l'âge et la

hauteur des arbres afin de déterminer si ces paramètres influencent une croissance différentielle après le chablis.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

Le site d'étude se situe sur la commune de Vic-la-Gardiole, dans le bois des Aresquiers (Fig. 1). Au début du 20^e siècle, ce site est acheté par un particulier afin d'y mener une activité viticole qui se poursuit jusque dans les années 70. S'ensuit une période de plantation de pins, qui conduit au boisement actuel. D'après le Conservatoire du Littoral (2015), ce site abrite de nombreux habitats et espèces remarquables, lui conférant une valeur patrimoniale importante. Il est protégé depuis 1979 par plusieurs statuts (propriété du Conservatoire du littoral, Natura 2000, Convention Ramsar). La zone, située à seulement une vingtaine de kilomètres de Montpellier, est fortement anthropisée par les aménagements touristiques (routes, parkings, aires de pique-nique). Régulièrement fréquenté par le public, ce bois est en partie géré par l'Office Nationale des Forêts pour tout ce qui concerne l'entretien (débroussaillage, élagage..). Ces actions de sécurisation sont nécessaires pour les activités touristiques, mais elles constituent un facteur perturbateur de la dynamique naturelle de l'écosystème. La zone s'inscrit également dans une succession écologique, liée à des changements naturels et graduels d'habitats dans le temps. Cette succession a lieu par étapes et débute par des prés salés à salicornes (sansouires), étendues naturelles à végétation basse, régulièrement submergées par la mer, pour finir par la forêt méditerranéenne, qui constitue le stade ultime. La végétation et les habitats naturels sont largement influencés par la proximité de la mer. Les espèces sont contraintes par la profondeur du sol et sa concentration en sel. L'établissement d'une forêt est précédé par un stage arboré pionnier (ici, une pinède), auquel s'intéresse l'étude.



Figure 1. Zone d'étude

2- Récolte et préparation des échantillons

Les échantillonnages dendrochronologiques ont été effectués les 20 et 21 janvier 2016 sur deux sites géographiquement proches, afin que les résultats puissent être comparés. La cartographie des sites a été réalisée grâce à des mesures de distances et d'angles par rapport à un point défini au centre de la placette. Ces mesures ont permis d'établir une carte précise des arbres (Fig. 2). Le premier site est une zone de chablis comprenant 10 arbres morts et de nombreux arbres vivants épars. Dix arbres vivants, choisis en fonction de leur distance vis à vis des arbres morts et de leur diversité de taille et d'âge, y ont été échantillonnés. Les variations de distance, de taille et d'âge permettent de travailler sur des gradients dans le but d'observer un éventuel effet de ces paramètres sur la dynamique du chablis. Le second site (zone témoin) ne contient que des arbres vivants formant un peuplement fermé. Dix arbres ont été choisis

selon leur taille et leur âge, afin qu'ils soient comparables à ceux sélectionnés dans la zone de chablis. Pour chaque individu, deux carottes ont été réalisées à 1,30 m du sol, à l'aide d'une tarière de Pressler. Un écart de 120° entre les deux prélèvements a été respecté afin d'avoir une représentation de la croissance moyenne de l'arbre. En ce qui concerne les arbres morts, les prélèvements ont été réalisés de la même façon, mais à 20 cm de la base. La circonférence de l'ensemble des pins étudiés a été mesurée, mais seule la hauteur des arbres vivants a été mesurée grâce à un clinomètre. Les échantillons récoltés ont été séchés, puis fixés à l'aide d'un pistolet à colle sur des baguettes en bois sillonnées. Afin d'améliorer la lecture des cernes de croissance, les échantillons ont été poncés grâce à une ponceuse à bande (Scheppach bsm 2010), en utilisant des papiers à grains de plus en plus fins (240, 400 puis 600 grains/pouce²).

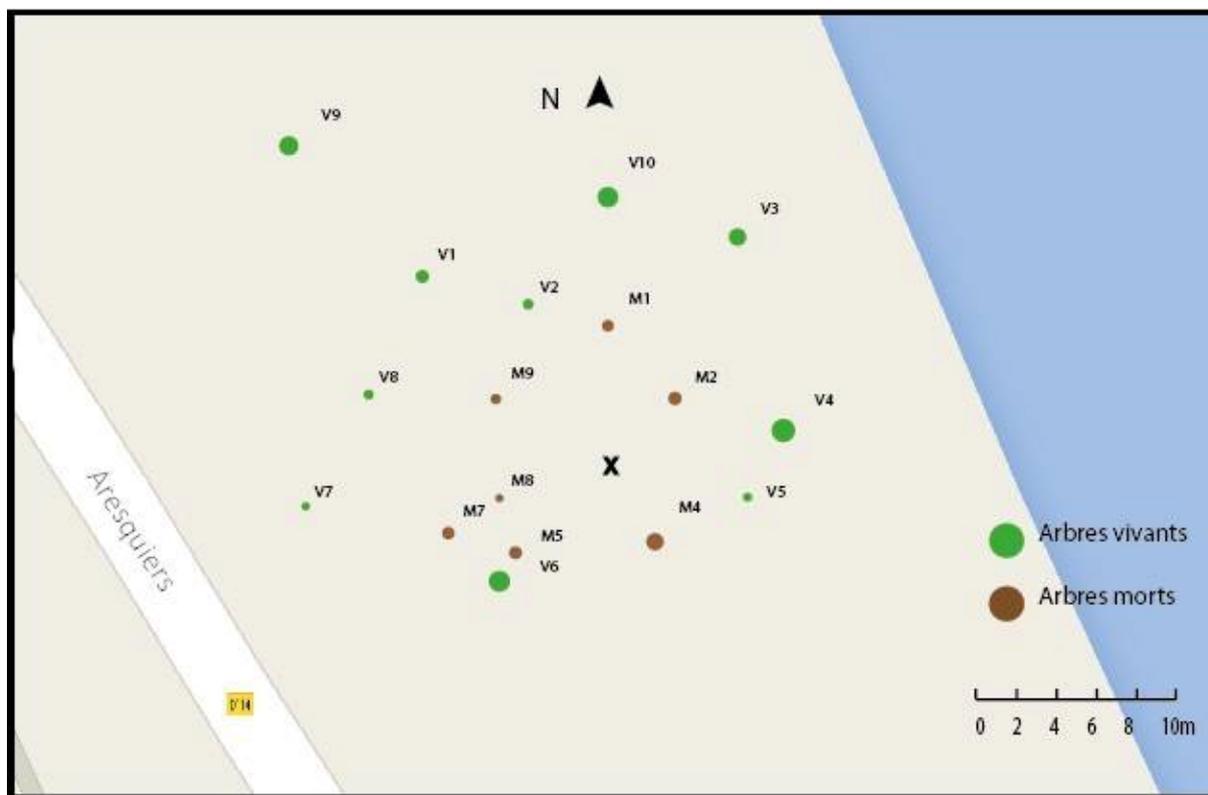


Figure 2. Cartographie des arbres morts et vivants étudiés sur la zone de chablis
(Fond de carte : Google Maps)

3- Analyse de données

Dans un premier temps, les échantillons ont été analysés à la loupe binoculaire (Leica MZ6), ce qui a permis d'établir l'âge des arbres via le pointage des cernes de croissance. Les cernes de croissance caractéristiques (étroits, larges, clairs) ont également été relevés, afin de faciliter l'interdatation des différents arbres. Les cernes caractéristiques sont corrélés à une année particulière sur le plan du climat, et se retrouvent sur l'ensemble du peuplement. La largeur des cernes a ensuite été mesurée selon deux méthodes : sur banc optique (LINTABTM 5) relié à un ordinateur avec le logiciel TSAPwin ou par mesure scanner (EPSON V600 Photo). Pour cette dernière méthode, les échantillons ont été scannés avec le logiciel EPSON SCAN, puis mesurés avec les logiciels CooRecorder et CDendro. Pour chaque échantillon, ces logiciels ont permis de tracer une courbe d'accroissement à partir de l'ensemble des largeurs de cerne. Pour chaque arbre, deux courbes d'accroissement

correspondant aux deux prélèvements ont donc été obtenues. Si ces dernières n'étaient pas synchrones, cela révélait des anomalies de croissance (cernes manquants ou faux-cernes). Ceci a le cas échéant été corrigé par l'ajout de cernes de taille 1, afin d'obtenir deux courbes de même longueur. La moyenne des deux courbes a ensuite été calculée dans le but d'obtenir l'accroissement moyen de l'individu. L'interdatation de l'ensemble des individus vivants et témoins a enfin été réalisée. Ceci a permis de s'assurer de l'agencement synchrone des courbes d'accroissement de l'ensemble des individus, et dans le cas contraire, de connaître la position des cernes manquants (Bunn, 2010).

Une chronologie de référence, moyenne des courbes d'accroissement individuelles, a ensuite été établie pour les individus témoins d'un côté et les individus vivants de l'autre. A partir de la courbe de référence des arbres vivants, il est alors possible de replacer les arbres morts dans la chronologie, et de dater leur mort selon le principe d'interdatation.

Les courbes de croissance des arbres morts ont été placées sur une chronologie dite “flottante” et resituées dans le temps à partir de la chronologie de référence. Afin de rendre les échantillons comparables, les courbes d’accroissement obtenues ont été standardisées, c’est à dire que les valeurs de largeurs des cerne ont été transformées en indices de même dimension, ce qui a permis d’uniformiser les variations de croissance en éliminant les différences d’accroissement liées à l’âge des arbres.

Les résultats ont été importés sur le logiciel Excel, puis traités afin d’obtenir, pour chaque individu, l’écart de la courbe à la moyenne standardisée des témoins. Afin de comparer les synchronisations (similitudes des variations inter-annuelles) dans la distribution des patrons de croissance entre les individus vivants et témoins avant et après chablis, un test de corrélation de Spearman a été réalisé. Puis, les écarts des arbres vivants à la moyenne des témoins sur les années post-chablis ont été calculés, pour comparer les variations de croissance. Des tests de corrélation ont ensuite été effectués entre la taille, la circonférence et les largeurs de cernes des années post-chablis.

RESULTATS

1- Structure d’âge

Certains échantillons (M2, M6 et M10) n’ont pas pu être exploités, en raison de l’état très avancé de décomposition des souches (M=7 échantillons). V4 s’est révélé inexploitable à partir du cerne de 2007, et ne pouvait donc renseigner sur sa dynamique de croissance post-chablis. V6 a été endommagé pendant la préparation en laboratoire et n’a pas non plus

pu être analysé (V=8 échantillons).

La **Figure 3a** présente les chronologies de référence des arbres vivants et des témoins des deux sites étudiés. Un fort synchronisme est observé entre la croissance moyenne des arbres entre les années 1963 et 2010. Après 2010, une croissance moyenne stable est notable pour la population témoin, alors que la croissance moyenne de la population d’arbres vivants sur le chablis est supérieure. L’interdatation des courbes de croissance des arbres morts permet d’établir un profil de structure d’âge (**Fig. 3b**). Le dernier cerne de chaque arbre peut alors être daté. Les arbres M1, M4 et M7 sont tombés en 2008, tandis que M2, M5, M8 et M9 sont morts en 2014, ce qui révèle deux événements de chablis.

2- Dynamiques de croissance avant et après chablis

Les résultats des tests de corrélation de Spearman sont présentés **Table 1**. Avant l’événement de chablis de 2008, les distributions de largeurs de cerne de croissance de V1, V7, V9 et V10 sont corrélées avec la courbe de référence des arbres de la zone témoin ($p < 0,01$). V2, V5 et V8 ne sont en revanche pas significativement corrélés. En comparant les distributions après le chablis de 2008, aucun arbre n’est corrélé au patron de croissance des témoins. L’individu V3 montre des corrélations inattendues, mais seuls 2 cernes post-chablis sont exploitables sur cet individu (comme le montre le profil de structure), ce qui rend l’analyse de la corrélation difficile. Les différents profils de croissance des arbres du site d’étude après le chablis de 2008 ne montrent aucune corrélation entre eux.

*Table 1 : Résultats des tests de corrélation de Spearman. r, coefficient de corrélation; p, p-value (** < 0,01, très significatif; ns, non significatif)*

	V1		V2		V3		V5		V7		V8		V9		V10	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Pré-chablis	0,779	**	-0,240	ns	0,316	**	-0,115	ns	0,506	**	0,284	ns	0,569	**	0,579	**
Post-chablis	-0,071	ns	0,523	ns	1,000	**	0,432	ns	-1,000	ns	-0,214	ns	0,468	ns	0,071	ns

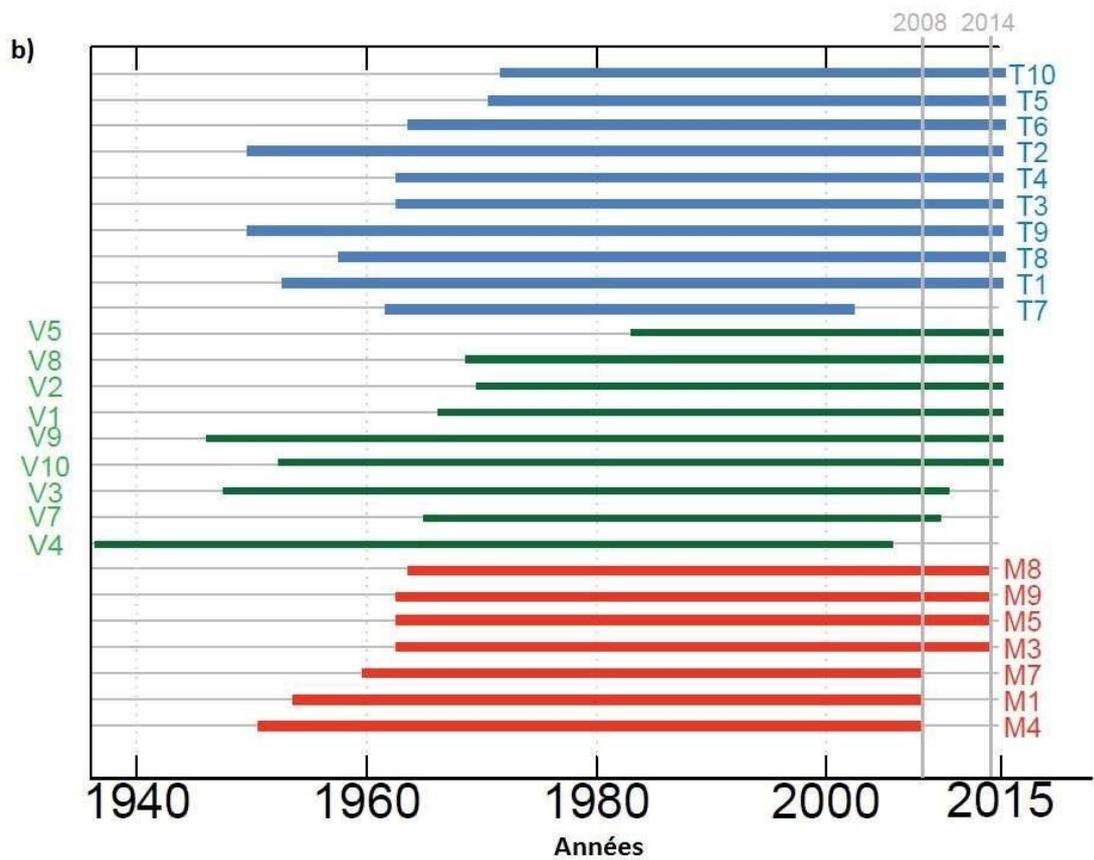
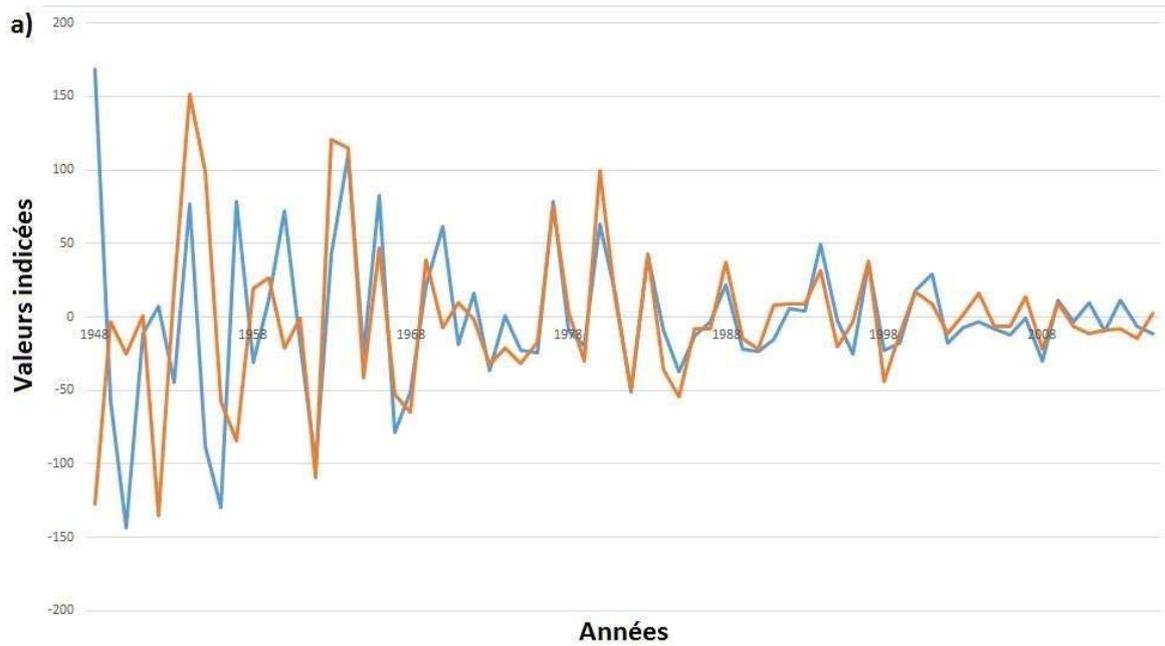


Figure 3. a. Courbes de référence, moyennes standardisées des arbres vivants en zone de chablis (en bleu) et des témoins (en orange). B. Profil de structure d'âge des arbres échantillonnés (témoins en bleu et arbres vivants en zone de chablis en vert) et interdatation des arbres morts (en rouge).

Les écarts à la moyenne de croissance des arbres témoins ont été calculés pour chaque individu sur le chablis (Fig. 4). Les mesures sur V3 et V7 sont écartées, car seuls les 2 et 3 cernes post-chablis sont respectivement exploitables (profil de structure d'âge ; Fig. 3b). Ces arbres ne sont pas comparables aux autres. Les arbres V5 et V8 ne semblent pas

avoir une croissance différente des témoins. V1, V2, V9 et V10 ont un écart important et positif par rapport aux témoins, ce qui peut indiquer une augmentation de croissance dans les années après l'événement de chablis. Cependant, les tests de Student ne montrent aucune significativité.

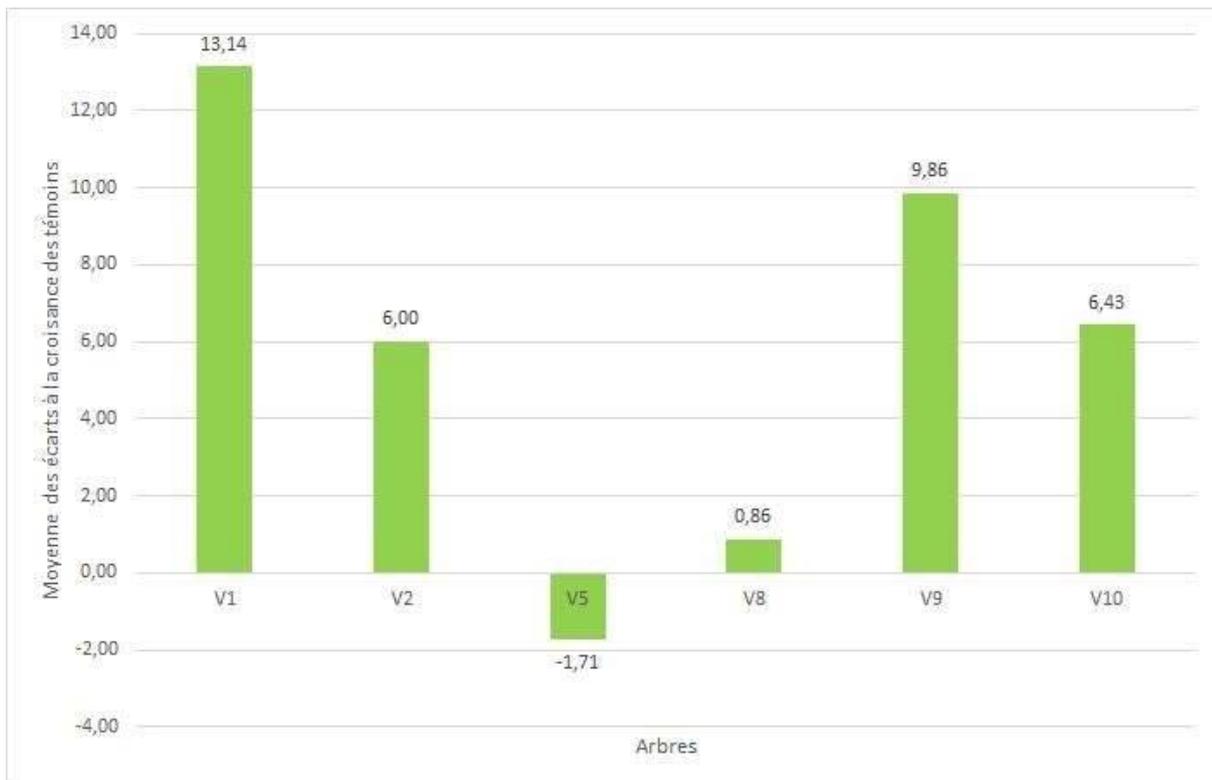


Figure 4 : Ecart de croissance des arbres vivants par rapport aux arbres témoins sur les années post-chablis

3- Effet des paramètres individuels

Aucune corrélation significative n'a été relevée entre les différences de croissance post-chablis et les différents paramètres

mesurés (Table 2) (hauteur, circonférence) ou encore leur place par rapport aux arbres tombés. Toutes les régressions linéaires sont non significatives ($r^2 < 0,5$).

Table 2 : Moyennes des mesures effectuées sur l'ensemble des arbres de la zone d'étude. nd, non disponible.

	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	
		à 20 cm	à 1,30 m
Témoins	15,5	36,40	27,90
Vivants	15,7	36,50	30,10
Morts	nd	29,80	nd

DISCUSSION

1- Datation des chablis

L'interdatation des arbres tombés a permis de dater deux événements de chablis. Le premier, qui a eu lieu en 2008, a fait tomber 3 arbres, et le second, en 2014, a entraîné la chute de 4 arbres supplémentaires. Le dernier cerne de ces arbres présente un bois final, indiquant que ceux-ci sont morts en automne ou en hiver. En effet, le bois initial se met en place au printemps dès le mois d'avril, alors que le bois final est produit durant la seconde phase de croissance, qui a lieu de la fin de l'été au début de l'automne (Nicault et al., 2001). Les relevés météorologiques à proximité du bois des Aresquiers indiquent bien une tempête importante entre le 1^{er} et le 3 novembre 2008 (Infoclimat ; Annexe 1). Une autre tempête a eu lieu entre le 28 novembre et le 1^{er} décembre 2014 (Météociel ; Annexe 2).

2- Dynamiques de croissance avant et après chablis

La forte corrélation de croissance sur la majorité des arbres étudiés, avant l'événement de 2008, témoigne de conditions environnementales similaires entre les deux zones étudiées. Les arbres ne suivant pas significativement cette corrélation (V2, V5 et V8) sont les arbres les plus jeunes, partageant moins de cernes avec les arbres témoins. Les arbres plus vieux ont une réduction de leur croissance radiale et sont moins facilement comparables avec de jeunes arbres (Lebourgeois & Merian, 2012). Ceci pourrait expliquer le faible synchronisme entre les deux courbes de références avant 1963. Après l'événement de 2008, une perte de corrélation de croissance est observée pour l'ensemble des individus excepté pour V3. Ce changement général de la croissance s'explique par les modifications du milieu induites par le chablis, notamment au travers de l'augmentation de la ressource lumineuse liée à la trouée de la canopée (Riera et al., 1990). Les augmentations de croissance observées au regard des écarts positifs à la moyenne des témoins, bien que non

significatives, sont la résultante de ce phénomène. Le manque de significativité dans ce résultat peut être dû aux faibles nombres d'individus étudiés ou au fait que les événements de chablis soient très récents.

Plusieurs études ont fait état de vitesses de croissance plus élevées dans les trouées que sous le couvert forestier (e.g. McClure et al., 2000). L'ouverture engendre une baisse de la concurrence pour la lumière, dont l'un des effets directs est d'augmenter la photosynthèse (Bréda et al., 1995). Une autre cause de l'augmentation de croissance peut être une réduction de la concurrence dans le peuplement, qui modifie favorablement la disponibilité en eau. Ceci se traduit par une diminution de l'intensité et de la durée du stress hydrique (Bréda et al., 1995). En contexte climatique méditerranéen, les précipitations sont un facteur déterminant. Une importante corrélation pluvio-dépendante est observée dans la croissance de nombreux arbres, notamment les pins d'Alep (Misson et al., 2004). Le chablis va aussi modifier l'environnement direct du peuplement par des modifications de l'humus et du sol (Delhaye & Ponge, 1993). Ce phénomène est accentué si la futaie est régulière (arbre d'une même classe d'âge) avec un étage dominant monospécifique (Conservatoire du Littoral, 2015), ce qui est le cas du site des Aresquiers. Ce dernier bénéficie actuellement d'un plan d'aménagement forestier (2014-2028) qui vise à pérenniser le couvert boisé par une approche de diversification des peuplements, notamment en implantant des chênes et des pins pignon.

L'ouverture d'une trouée a un effet sur la croissance des arbres sous couvert qui sont à proximité. Ainsi, la croissance de feuillus et de conifères peut être influencée jusqu'à respectivement 30 et 20 m de la bordure de leurs trouées (Vepakomma et al., 2011). Le déracinement peut cependant fragiliser les arbres voisins. L'augmentation de la croissance n'a pas été immédiate après le chablis, comme le montrent les courbes de références. La croissance moyenne des arbres vivants n'est supérieure à celle des témoins qu'à partir de 2010. Il est probable que les

arbres survivants aient subi d'importants dommages aux niveaux des branches ou des racines, ce qui pourrait freiner leur croissance après cet événement.

3- Effet des paramètres individuels

Aucune corrélation n'a été observée entre l'augmentation de croissance des pins après le chablis et leur âge. Il a été observé chez le pin Laricio (*Pinus nigra* var. *laricio*), une forte capacité de réaction, même à un âge avancé (Lebourgeois et al., 1997), ce pourrait être aussi le cas chez le pin d'Alep. De même, la hauteur ne semble pas avoir d'impact, phénomène également observé par Sénécal (2011). La dominance en hauteur des arbres ne jouerait donc aucun rôle dans la croissance post-chablis.

4- Succession végétale

Les effets attendus d'un chablis (Riera et al., 1990) ne correspondent pas, pour certains critères, à ce qui a été observé. En particulier, aucune régénération pionnière n'a été observée sur la zone d'étude. Un protocole d'échantillonnage différent aurait peut-être permis une meilleure quantification de cette régénération. Cette étape est la première de la succession végétale. En absence de celle-ci, il ne peut y avoir de développement de jeunes arbres ni d'implantation de nouvelles espèces. Cette absence de régénération peut s'expliquer par la forte anthropisation du site étudié. Celui-ci se doit d'être sécurisé et accueillant au vu de l'important tourisme. Cet entretien ne permet apparemment pas un rajeunissement du peuplement de pin ou l'installation d'une plus grande diversité d'essences végétales.

CONCLUSION

La structure d'âge des pins d'Alep échantillonnés a permis de dater deux événements de chablis récents et correspondant à des tempêtes : le premier a eu lieu entre le 1er et le 3 novembre 2008 et le second entre le 28 novembre et le 1^{er} décembre 2014. La comparaison des patrons de croissance grâce à l'analyse

dendrochronologique a montré que le chablis avait un impact important sur la croissance des arbres survivants. En effet, l'ouverture du milieu favoriserait leur croissance. Chez le pin d'Alep, cette modification de croissance ne semble dépendre ni de l'âge, ni de la hauteur, ni de la circonférence de l'arbre. Une étude sur un plus grand nombre d'échantillons, et surtout sur un plus grand nombre d'années après l'événement de chablis permettrait de mieux comprendre la dynamique des peuplements et de quantifier l'impact sur la croissance des arbres.

Depuis 2014, un plan d'aménagement forestier vise à protéger et à gérer le bois des Aresquiers. De nombreux aménagements (dunes, épis maritimes, digues) ont été réalisés sur le lido de Frontignan, dans le but de préserver les plages et la lagune des futures tempêtes. L'impact de ces aménagements à long terme sur les peuplements côtiers de pin d'Alep est encore inconnu. Ils pourraient avoir de lourdes conséquences sur leur dynamique de croissance, ainsi que sur la succession végétale des Aresquiers en modifiant directement les conditions environnementales. L'entretien du boisement et les activités anthropiques qui y sont menées perturbent la dynamique post-chablis, essentielle à la diversification et au rajeunissement du milieu.

REFERENCES

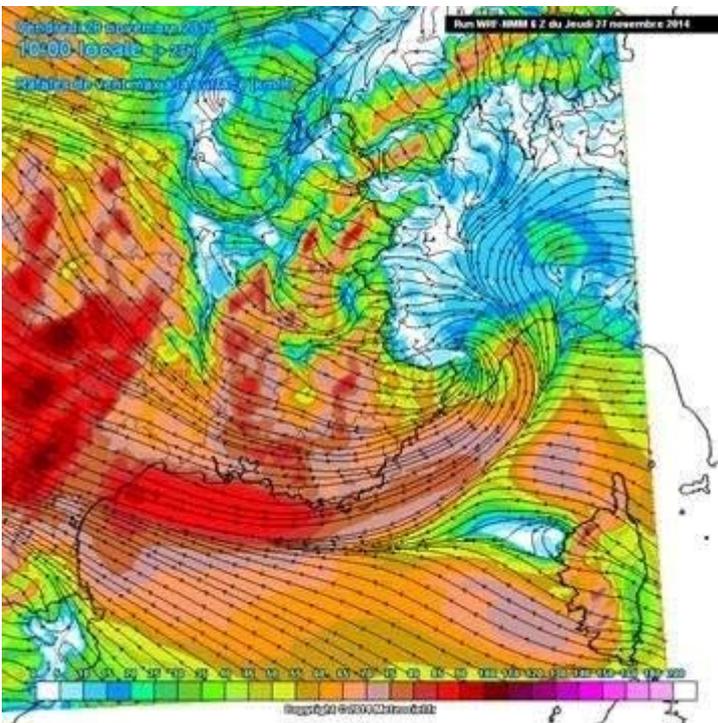
- Bedin M. & Mazeiraud V. (2013). *Opération de protection et de mise en valeur du lido de Frontignan*. Artelia Eau et Environnement, Branche Maritime pour Thau Agglo.
- Bréda N., Granier A. & Aussenac G. (1995). Effects of thinning on soil water balance and trees water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea*). *Tree Physiology*, 15 : 295-306.
- Bunn A.G. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28 : 251-258.
- Conservatoire du littoral (2015). *Plan de gestion des sites du Conservatoire du littoral, Site du bois des Aresquiers*. Conservatoire du littoral.

- Delhaye L. & Ponge J.-F. (1993). Etude des peuplements lombriciens et des caractères morphologiques des humus dans la réserve biologique de la Tillaie (Forêt domaniale de Fontainebleau, Ile-de-France). *Bulletin d'Ecologie*, 24 : 41-51.
- Fritts H.C. (1978). Tree rings and climate. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 439 : 236-237.
- Hoff C. & Rambal S. (2006). *Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques*. Impacts potentiels du changement climatique, 15p.
- Lebourgeois F., Lévy G., Becker M. & Lefevre Y. (1997). Rôle de la nutrition minérale et de l'approvisionnement en eau sur la croissance du pin laricio de Corse dans l'ouest de la France. *Annals of Forest Science*, 3 : 279-300.
- Lebourgeois F. & Merian P. (2012). *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. LERFOB, AgroParisTech, 85 p.
- McClure J.W., Lee T.D. & Leak W.B. (2000). Gap capture in northern hardwoods: patterns of establishment and height growth in four species. *Forest Ecology and Management*, 1 : 181-189.
- Misson L., Rathgeber C. & Guiot J. (2004). Dendroecological analysis of climatic effects on *Quercus petraea* and *Pinus halepensis* radial growth using the process-based MAIDEN model. *Revue canadienne de recherche forestière*, 34 : 888-898.
- Nicault A., Rathgeber C., Tessier L. & Thomas A. (2001). Observations sur la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) : confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques. *Annals of Forest Science*, 58 : 769-784.
- Riera B., Puig H. & Lescure J.-P. (1990). La dynamique de la forêt naturelle. *Bois et forêt des tropiques*, 219 : 69-76.
- Sénécal J.-F. (2011). *Dynamique spatio-temporelle des trouées en forêt feuillue tempérée par télédétection Lidar*. Mémoire de Maîtrise en géographie, Université du Québec à Montréal.
- Thau agglo (2016). *Protection et mise en valeur du lido de Frontignan*. Thau agglo, Tranche 2 Réunion publique du 21 mars 2016.
- Vennetier M., Ripert C., Brochiéro F., Rathgeber C., Chandieux O. & Estève R. (2010). Évaluation de la croissance du pin d'Alep en région méditerranéenne française. *Revue Forestière Française*, 5 : 1-17.
- Vepakomma, U., St-Onge B. & Kneeshaw D. (2011). Response of a boreal forest to canopy gap openings-assessing vertical and horizontal tree growth with multi-temporal lidar data. *Ecological Applications*, 21 : 99-121.

ANNEXE 1. Carte de vigilance du 1^{er} novembre 2008 (source : infoclimat)



ANNEXE 2. Carte des vents du 28 novembre 2014 (source : Météociel)



REFERENTIEL POLLINIQUE ACTUEL DE LA VEGETATION DU LITTORAL MEDITERRANEEN (PALAVAS, HERAULT)

Maximilien Cosme ¹, Nicolas Lachaux ², Mary Robles ³

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

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ maximilien.cosme@etu.umontpellier.fr, ² nicolas.lachaux@etu.umontpellier.fr,

³ mary.robles@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Serge Muller

Citation : Cosme M., Lachaux N. & Robles M. (2016). Référentiel pollinique actuel de la végétation du littoral méditerranéen (Palavas, Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 57-71.

Résumé : L'objectif de cette étude est d'identifier les taxons polliniques caractéristiques de différentes formations végétales, ainsi que les paramètres influençant la représentation pollinique. Pour ce faire, le pollen présent dans les sédiments de surface a été prélevé dans huit zones humides. Pour chaque taxon, l'abondance pollinique a été comparée à l'abondance dans la végétation. Les résultats indiquent que le pollen d'Amaranthaceae est un bon marqueur de la végétation locale, et plus spécifiquement des sansouires, tandis que *Pinus* et *Quercus ilex*-type sont de bons marqueurs de la végétation régionale.

Mots clés : Palynologie, dispersion, flore, transect, lagune

Abstract: *Modern pollen reference of Mediterranean coastal vegetation (Palavas, Hérault)*. The aim of the study is to identify the pollen taxa characteristic of different plant formations, as well as the parameters controlling the pollen representation. To achieve this, the pollen present in the surface sediment has been taken in eight wetlands, and the abundances of pollen taxa were compared with their abundances in the vegetation. The results indicate that the pollen of Amaranthaceae is a good indicator for local and extra-local vegetation, whereas *Pinus* and *Quercus ilex*-type are good indicators of the regional flora.

Keywords: Palynology, dispersion, flora, transect, lagoon

La reconstitution des végétations passées est rendue possible au moyen de diverses méthodes parmi lesquelles la palynologie, qui est l'étude des spores et du pollen. Les grains de pollen sont les gamétophytes mâles des Spermatophytes, porteurs des gamètes mâles. Ils sont disséminés par le vent ou par les animaux, et assurent ainsi la reproduction des plantes. Les grains de pollen piégés dans le sédiment proviennent pour la plupart des plantes environnantes et de la pluie pollinique régionale, mais certains peuvent également être issus de la remobilisation de grains

déposés antérieurement et retransportés par le vent ou l'eau (Janssen, 1973). La palynologie permet de reconstituer les dynamiques végétales et les changements climatiques jusqu'à la limite Permo-Trias (Tewari et al., 2015). Afin de comprendre la relation entre la végétation et l'enregistrement pollinique, il est important de réaliser des référentiels actuels, c'est à dire d'étudier le pollen actuel afin de le comparer à la végétation actuelle (Reille, 1978).

Notre étude porte sur une zone littorale du bassin méditerranéen située au sud du massif

de la Gardiole, au sud-ouest de Montpellier. Elle est formée d'une plaine littorale basse composée de lagunes, qui sont souvent associées aux fleuves côtiers. Les lagunes du Languedoc-Roussillon résultent de la lente remontée du niveau de mer depuis la dernière glaciation. Cette transgression marine s'est terminée il y a environ 7000 ans (Aloïsi et al., 1978). L'objectif de notre travail est d'établir un référentiel actuel de la relation pollen-végétation au sein de cette zone géographique, et d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Dans quelle mesure l'enregistrement pollinique de surface représente-t-il la végétation ?
- Les taxons polliniques enregistrés sont-ils indicateurs des communautés locales ou bien régionales ?
- Quels sont les éventuels taxons polliniques permettant de caractériser les différents milieux ?

Afin de mener à bien notre étude, nous avons comparé, pour tous les taxons identifiés dans le pollen, leur abondance pollinique à leur abondance dans la végétation.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude (géographie et topographie)

La zone d'étude se situe à environ 11 km à l'est de Sète et 15 km au sud-ouest de Montpellier. Elle s'étend le long d'un transect de 6,5 km perpendiculaire au littoral, allant de la plage des Aresquiers (Vic-La-Gardiole, Hérault) au massif de la Gardiole (Mireval, Hérault). La plupart des milieux terrestres présents sur le littoral sont appelés sansouires et sont caractérisés par une végétation halophile supportant des inondations régulières. Les échantillons ont été prélevés dans huit sites présentant des caractéristiques hydrologiques (courant, source d'apport en eau, variations saisonnières...), des salinités (Dortel et al., 2016), des superficies et des végétations différentes (Annexes 1 et 2). Le profil altimétrique de la zone d'étude (Annexe 3) indique une majorité de plaines qui se situent environ au niveau de la mer, mis

à part pour Vic-la-Gardiole et la Gardiole qui sont surélevées.

- Les deux premiers sites sont ARE (Aresquiers Est) et ARO (Aresquiers Ouest) qui sont situés en arrière-dune. Le site ARO, d'une surface de 15,6 ha, est relié à la lagune ARE (1,7 ha).
- Le site SAP (Sansouire de la Pinède) (0,7 ha) est une petite lagune raccordée temporairement à l'étang d'Ingril.
- Le site SAV (Sansouire de l'étang de Vic) (0,15 ha) est une dépression en arrière des berges de l'étang de Vic, il ne présente pas de connexion permanente avec lui.
- Le site GPA (Grande Palude) (0,2 ha) est un marais salé alimenté en eau par les ruissellements de la Gardiole et par les connections avec les salins de Frontignan. Le site SAC (Sansouire du Carrefour) (1,5 ha) est une dépression de 3m de profondeur ne présentant aucune communication directe avec d'autres plans d'eau.
- Les sites GAP (Gardiole Petite mare) (0,015 ha) et GAG (Gardiole Grande mare) (0,012 ha) sont des mares temporaires de garrigue.

Tous les sites, exceptés SAC et ARE, s'assèchent régulièrement, en particulier l'été, et tous excepté GAP et GAG sont salés.

2- Travail de terrain

Caractérisation de la végétation

D'après Jacobson & Bradshaw (1981), la végétation locale se situe entre 0 et 10 m du site d'échantillonnage du sédiment, la végétation extra-locale entre 10 et 100 m, et la végétation régionale au-delà de 100 m du site. La caractérisation de la végétation locale et extra-locale a été réalisée (Escudié & Inghilleri, 2016) grâce à des relevés phytosociologiques (Braun-Blanquet, 1932). Les différents relevés ont par la suite été mis en commun en respectant les proportions globales de chaque espèce végétale sur les différents sites. La végétation régionale a été étudiée à l'aide des "Cartes de Végétation de la France" publiées par le CNRS.

Prélèvements sédimentaires

Pour obtenir un maximum de matériel pollinique, nous avons réalisé les prélèvements en milieu aquatique car, suite au processus de sédimentation, les grains de pollen sont stabilisés et conservés dans le sédiment. Sous la force de gravité, les grains de pollen se déplacent vers le point le plus profond, nous avons donc effectué les prélèvements à cet endroit. Nous avons échantillonné le sédiment de surface pour nous assurer d'avoir le pollen le plus récent. Un unique prélèvement par site a été réalisé.

3- Travail de laboratoire

Traitement chimique du matériel sédimentaire

L'extraction du pollen contenu dans le sédiment a été réalisée selon le protocole de Berglund & Ralska-Jasiewiczowa (1986) (Annexe 4).

Analyse au microscope optique

Pour chaque site, une lame a été montée et observée sous microscope optique de marque Leica (x400). Sur chaque lame, 300 grains ont été identifiés et dénombrés en trois comptages (un par auteur). Vingt-cinq taxons ont été reconnus et comptés, les taxons inconnus et les grains de pollen abîmés non identifiables ont été placés dans la catégorie "indéterminés". A l'issue des comptages, les concentrations polliniques (CP) ont été calculées avec la formule suivante :

$$CP = \frac{(SP \times N \times Vc)}{(n \times Vg \times Vs)}$$

avec SP = somme pollinique, N = nombre total de lignes, Vc = volume du culot, n = nombre de lignes comptées, Vg = volume goutte, Vs = volume de sédiment.

4- Analyse des données

L'influence de l'observateur est estimée en divisant l'écart-type par la moyenne des concentrations polliniques. La significativité de celle-ci a été évaluée à l'aide d'un test de Student effectué sur les concentrations polliniques calculées par chaque observateur (Obs1, Obs2 et Obs3).

Les données polliniques ont été représentées, à l'aide du logiciel Polpal (Nalepka & Walanus, 2003), sous forme d'un diagramme pollinique. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été effectuée à l'aide du logiciel PAST (Hammer et al., 2001) sur les dénombrements, pour évaluer l'affinité des taxons polliniques avec les différents sites et la similarité (en fonction de l'enregistrement pollinique) entre sites. La significativité des axes est définie, en fonction de leur inertie, selon la méthode empirique :

$$1,5 \times \left(\frac{1}{n}\right) \times 100$$

avec avec n = min (nombre taxons polliniques ; nombre sites) - 1. Nous considérerons comme significatifs les axes ayant une inertie supérieure ou égale à 21 %.

Nous avons calculé des indices de Davis (1984) qui évaluent la relation entre l'enregistrement pollinique et la végétation observable. Les calculs d'association (A), de sous-représentation (U) et de surreprésentation (O) se font par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} A &= B0(P0 + P1) - 1 \\ U &= P1(P1 + B0) - 1 \\ O &= P0(P0 + B0) - 1 \end{aligned}$$

avec : B0 = nombre d'échantillons dans lesquels le pollen et la végétation associée sont présents, P0 = nombre d'échantillons dans lesquels le pollen est présent dans les sédiments mais la plante est absente de la végétation, P1 = nombre d'échantillons dans lesquels le pollen n'est pas présent mais la plante est présente dans la végétation.

L'interprétation est basée sur les éléments suivants :

- A > 65% : taxons fortement associés
- 50% < A < 65% : taxons associés
- A faible, U et O forts : taxons faiblement associés
- A = 0 et U, O élevés : taxons non associés
- A faible, O fort, U = 0 : taxons surreprésentés
- A faible, O = 0, U fort : taxons sous-représentés

Afin d'estimer la dégradation du pollen, des

tests de corrélation de Pearson ont été réalisés à l'aide du logiciel PAST entre les proportions de Cichorioideae, de fragments de *Pinus* et la concentration pollinique totale, pris deux à deux. Le pollen de Cichorioideae étant très résistant (Reille, 1978). Par conséquent, une augmentation en fréquence de ce taxon peut indiquer une forte dégradation des grains de pollen des autres taxons. Inversement, le pollen de *Pinus* étant sensible à la dégradation, un fort pourcentage de fragments traduira également une importante dégradation du pollen. Afin d'évaluer la relation pollen-végétation, un autre test de corrélation a été réalisé pour chaque taxon, entre la proportion d'un taxon dans l'enregistrement pollinique et le taux de recouvrement de celui-ci dans la végétation.

La taille des sites a été estimée à l'aide de Google Earth. Ces dernières estimations ne sont pas précises mais permettent de comparer qualitativement les sites.

RESULTATS

1- Influence de l'observateur

L'influence de l'observateur (Fig. 1) est élevée à GAP (0,50) et à GPA (0,34), plus faible pour SAP, SAV et SAC (environ 0,15) et est très faible pour ARE (0,07). Les résultats des tests de Student sont les suivants : Obs₁ vs. Obs₂ : p= 0,86 ; Obs₁ vs. Obs₃ : p= 0,58 ; Obs₂ vs. Obs₃ : p= 0,7.

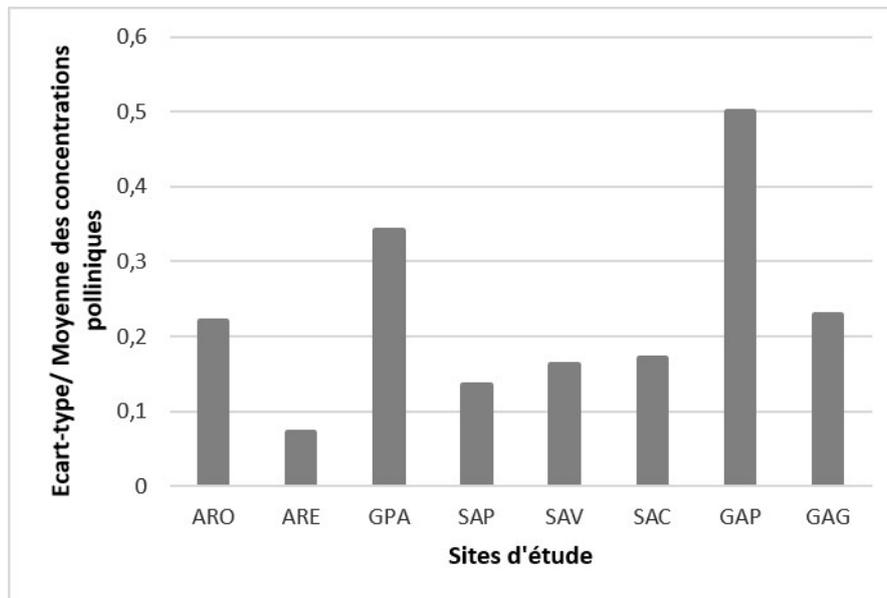


Figure 1. Variabilité des comptages pour chaque site d'étude. Les sites sont classés depuis la côte (à gauche) jusqu'à la Gardiole (à droite).

2- Données polliniques

Concentrations polliniques par site

Les calculs de concentration pollinique (CP) (Fig. 2) sont environ deux fois supérieurs à SAC ($501\,180 \pm 85\,479$ grains/cm³) par rapport à SAV et GAG (respectivement, $265\,700 \pm 43\,281$ gr./cm³ et $259\,730 \pm 59\,517$ gr./cm³). Pour le reste des sites, les CP sont faibles (inférieures à 100 000 gr./cm³), et

tout particulièrement à ARO où nous avons estimé $13\,933 \pm 3\,083$ gr./cm³.

Les tests de corrélation de Pearson, réalisés dans le but de vérifier l'éventuelle existence de dégradation du pollen, ne montrent aucune corrélation significative entre les pourcentages de Cichorioideae, de fragments de *Pinus* et les concentrations polliniques totales (Table 1).

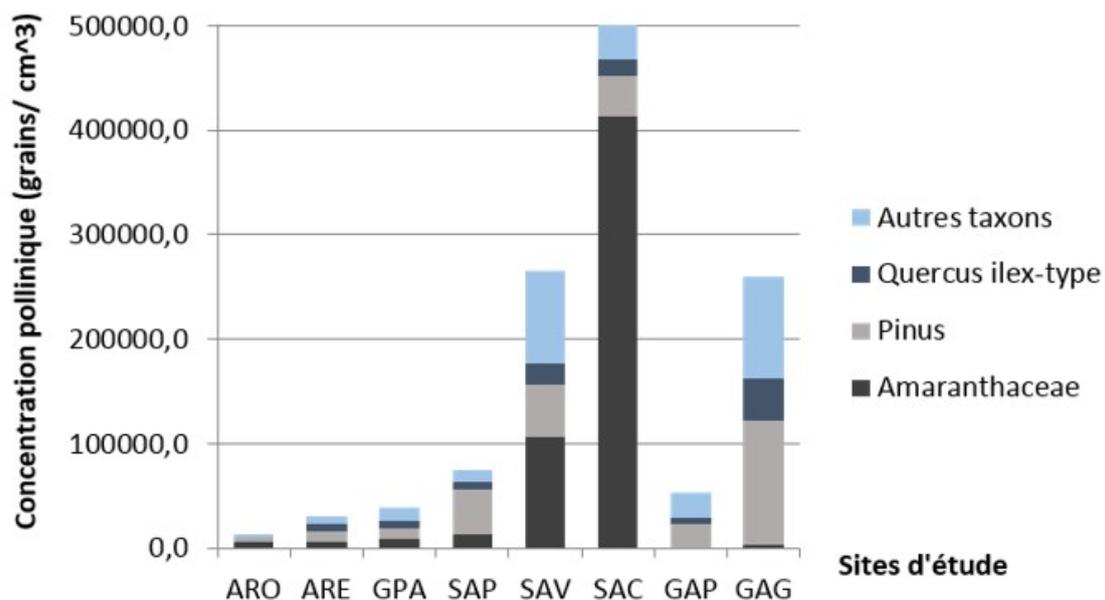


Figure 2. Concentration pollinique totale et des principaux taxons

Table 1. Tests de corrélation linéaire de Pearson

Variable 1	Variable 2	r	p
% Cichorioideae	CP totales	0,37	0,37
% frgts <i>Pinus</i>	CP totales	0,42	0,30
% Cichorioideae	% frgts <i>Pinus</i>	-0,21	0,60

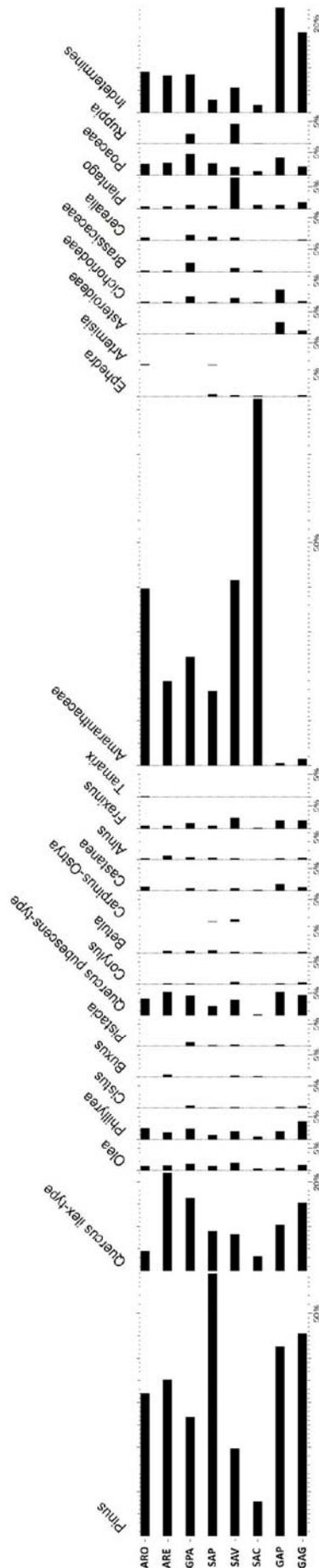
Concentrations polliniques par taxons

Le diagramme pollinique (Fig. 3) montre la présence de trois taxons dominants : *Pinus*, représentant en moyenne 33 % de l'ensemble des grains de pollen, les Amaranthaceae (28 %) et *Quercus ilex*-type (11 %). Les Amaranthaceae présentent de fortes concentrations et proportions aux Aresquiers (ARE, ARO), à la Grande Palude (GPA) et dans les sansouires (SAV, SAP, 412 583 gr./cm³ à SAC) (Figs. 2 et 3), mais sont faiblement représentées à la Gardiole (GAP, GAG). *Pinus* est fréquent à la Gardiole et à SAP et *Quercus ilex*-type est très présent à la Gardiole, aux Aresquiers, ainsi qu'à la Grande Palude. Par ailleurs, on trouve plusieurs taxons qui sont présents sur tous les sites, mais en plus faibles proportions (5 % en moyenne) : il s'agit de *Quercus pubescens*-type, des Poaceae, *Phillyrea*, *Olea*, *Fraxinus*, *Plantago* et des Cichorioideae (Fig. 3). Les taxons restants sont absents de certains sites, et lorsqu'ils sont présents, ils ne représentent

qu'une faible part de l'enregistrement pollinique.

Sur l'AFC (Fig. 4), l'inertie de l'axe 1 explique plus de 68 % de la variance totale du jeu de données alors que l'inertie de l'axe 2 n'est que de 12 %. L'axe 1 est le seul qui soit significatif (inertie > 21%), nous nous intéressons donc uniquement à cet axe. Ce dernier répartit, de gauche à droite, les sites selon un gradient décroissant de proportion d'Amaranthaceae dans l'enregistrement pollinique. On observe à gauche du graphique des taxons appartenant à une végétation de milieu humide halophile de type sansouire comme les Amaranthaceae qui semblent associées à SAC, *Ruppia* à SAV et *Tamarix* à ARO. À droite, on remarque des taxons appartenant à un milieu sec de type garrigue comme *Olea*, *Phillyrea*, *Pistacia*, *Cistus*, *Pinus*, *Quercus-ilex* qui semblent associés aux sites de la Gardiole.

Figure 3. Diagramme pollinique par site d'étude. Les sites sont classés dans l'ordre du transect en partant de la côte.



3- Comparaison des données polliniques avec la végétation

La **Table 2** présente les indices de Davis, calculés pour les différents taxons observés, ainsi que les résultats des tests de corrélation de Pearson effectués entre la végétation et le pollen. Tous les niveaux d'association sont représentés, la plupart des taxons étant classés dans les non-associés ou les surreprésentés. Les Amaranthaceae sont présentes dans la végétation de tous les sites, excepté à la Gardiole, avec une abondance particulièrement élevée dans les sansouires (recouvrement supérieur à 75%). On peut observer des résultats similaires concernant le pollen. Le test de corrélation de Pearson montre une corrélation très significative ($r=0.83$; $p=0.01$) entre le pollen et la végétation et les indices de Davis indiquent une forte association (75 %) entre enregistrement pollinique et végétation locale pour les Amaranthaceae. En ce qui concerne *Tamarix*, nous pouvons remarquer sa faible représentation pollinique (présence exclusive à ARO représentant moins de 1% du pollen total), alors que sa présence dans la végétation a été relevée à ARO, ARE et SAP. Les indices de Davis montrent que ce taxon est sous-représenté dans le pollen ($U>50\%$). *Pinus* est présent dans le pollen dans tous les sites, tandis qu'il n'est présent dans la végétation extra-locale qu'autour de trois sites (GAP, GAG et SAP). D'après les indices de Davis, *Pinus* est surreprésenté dans le pollen et les résultats du test de Pearson indiquent une corrélation positive significative entre pollen et végétation locale et extra-locale ($r=0,57$; $p=0,03$). *Quercus ilex*-type est également présent dans tous les sites avec des concentrations polliniques relativement élevées et on peut remarquer sur les cartes de végétation (référence) sa prédominance au niveau régional.

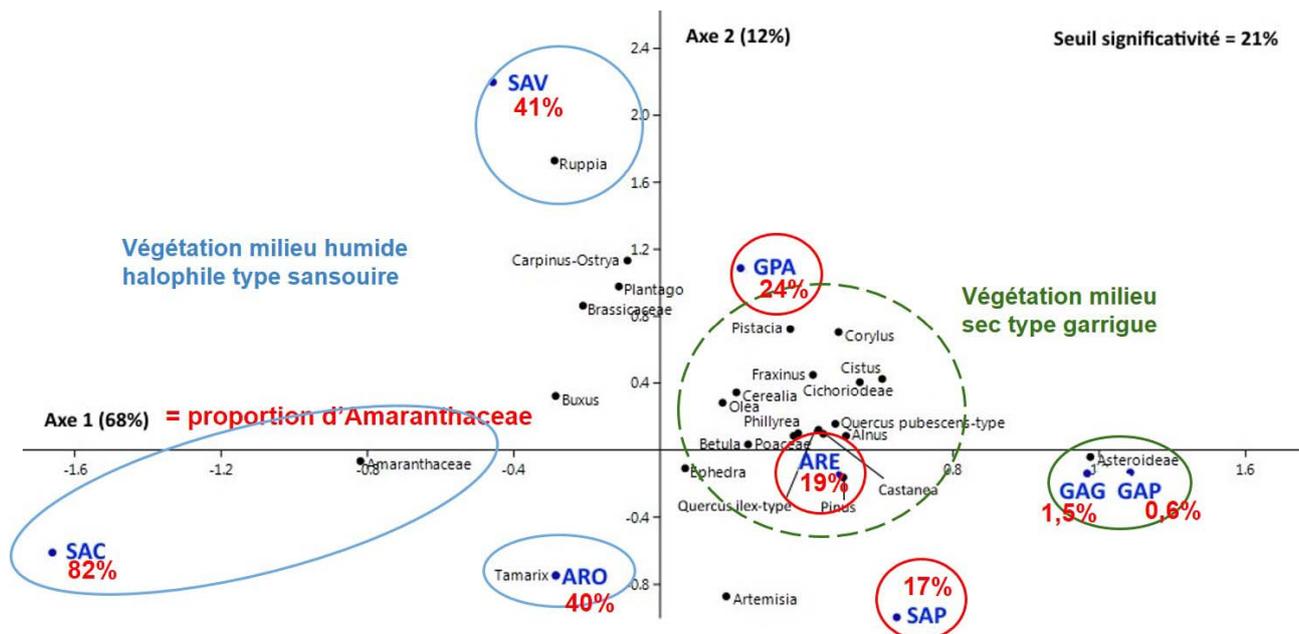


Figure 4. Analyse factorielle des correspondances (AFC). Les valeurs en rouge associées à chaque site correspondent à la proportion d'Amaranthaceae dans l'enregistrement pollinique. Les taxons sont regroupés suivant des groupes écologiques.

DISCUSSION

1- Influence de l'observateur et limites méthodologiques

Les tests de Student montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les comptages des différents observateurs. Cependant l'inexpérience des observateurs a pu être à l'origine d'erreurs dans l'identification de certains taxons et peut également expliquer la liste réduite des taxons polliniques identifiés. De plus, l'inventaire des taxons présents dans la végétation n'est pas exhaustif, car les relevés phytosociologiques ont été réalisés en janvier, période à laquelle certains taxons n'étaient pas assez développés pour être visibles ou identifiables.

2- Données polliniques et relation pollen-végétation

Représentation de la végétation locale et extra-locale

Les Amaranthaceae sont de bons marqueurs locaux du paysage de la plaine littorale locale

et plus particulièrement des sansouires. Dans la végétation, *Tamarix* est essentiellement présent le long du littoral, ce qui lui donne la propriété d'être un indicateur de ces milieux, mais son pollen ne s'enregistre pas toujours au sein des données polliniques, il ne s'agit donc pas d'un indicateur fiable. Son absence au sein des relevés polliniques ne traduit pas forcément son absence au sein de la végétation (Triat, 1971 ; Muller et al., 2008).

Représentation de la végétation régionale

Concernant *Pinus*, nos résultats concordent avec ceux de Heim (1970) qui observe une bonne représentation de *Pinus* lorsqu'il est présent localement et une surreprésentation lorsqu'il est absent de la végétation locale et extra-locale. Le bruit de fond régional étant très important pour ce taxon, il est difficile de distinguer l'apport local de l'apport régional. *Pinus* ne peut donc pas être considéré comme un marqueur local mais plutôt comme un marqueur régional. Les concentrations polliniques relativement élevées de *Quercus-ilex* type dans tous les sites, y compris dans ceux où il est absent de la végétation locale et extra-locale, en font également un bon marqueur régional. Ces concentrations élevées peuvent s'expliquer par son

abondance au niveau régional comme l'attestent les cartes de végétation. Nous trouvons également les Poaceae dans tous les sites, même lorsqu'elles sont absentes de la végétation, mais à des concentrations inférieures à ce que l'on peut trouver dans la littérature. En effet, ils sont des indicateurs régionaux caractéristiques des milieux ouverts (Duplessy & Ramstein, 2013). Il se peut que leurs concentrations aient été sous-estimées à cause d'erreurs d'identification des

observateurs qui ont pu confondre leur pollen avec des spores de champignons. Comme les Poaceae, d'autres taxons retrouvés sur les sites, tels que *Plantago*, ou encore *Artemisia* qui sont également des indicateurs des milieux ouverts (Bottema & Woldring, 1990). *Plantago* est notamment favorisé au sein des milieux pâturés (Behre, 1981) et *Artemisia* caractérise les milieux salés le long de la côte méditerranéenne (Bottema & Woldring, 1990).

Table 2. Comparaison des données polliniques avec la végétation par des indices de Davis (1984) et des tests de corrélation de Pearson. Le calcul et l'interprétation des indices de Davis est détaillé dans la sous-section « Analyse de données » de la partie « Matériel et méthodes ». Test de corrélation de Pearson : s : significatif ($p\text{-value}<0,05$), ns : non significatif ($p\text{-value}>0,05$)"

	B0	P0	P1	A	U	O	Conclusion	pvalue
<i>Pinus</i>	3	5	0	0,37	0	0,62	Surreprésenté	s
<i>Quercus ilex</i> - type	3	5	0	0,37	0	0,62	Surreprésenté	ns
<i>Olea</i>	3	5	0	0,37	0	0,62	Surreprésenté	ns
<i>Phillyrea</i>	2	6	0	0,25	0	0,75	Surreprésenté	ns
<i>Cistus</i>	2	3	0	0,4	0	0,6	Surreprésenté	ns
<i>Buxus</i>	0	3	0	0		1	Non associé	ns
<i>Pistacia</i>	2	2	1	0,4	0,33	0,5	Faiblement associé	ns
<i>Quercus pubescens</i> - type	0	8	0	0		1	Non associé	ns
<i>Corylus</i>	0	5	0	0		1	Non associé	ns
<i>Betula</i>	0	6	0	0		1	Non associé	ns
<i>Carpinus</i> - <i>Ostrya</i>	0	2	0	0		1	Non associé	ns
<i>Castanea</i>	0	7	0	0		1	Non associé	ns
<i>Alnus</i>	0	7	0	0		1	Non associé	ns
<i>Fraxinus</i>	0	8	0	0		1	Non associé	ns
<i>Tamarix</i>	1	0	2	0,33	0,67	0	Sousreprésenté	ns
<i>Amaranthaceae</i>	6	2	0	0,75	0	0,25	Fortement associé	s
<i>Ephedra</i>	0	4	0	0		1	Non associé	ns
<i>Artemisia</i>	0	2	0	0		1	Non associé	ns
<i>Asteroidae</i>	2	1	2	0,4	0,5	0,33	Faiblement associé	ns
<i>Cichoriodeae</i>	5	3	0	0,62	0	0,37	Associé	ns
<i>Brassicaceae</i>	2	3	0	0,4	0	0,6	Surreprésenté	ns
<i>Cerealia</i>	0	5	0	0		1	Non associé	ns
<i>Plantago</i>	4	4	0	0,5	0	0,5	Surreprésenté	ns
<i>Poaceae</i>	5	3	0	0,62	0	0,37	Associé	ns

Représentation de la végétation lointaine

La présence de certains taxons tels que *Fagus*, *Castanea*, *Betula* ou encore *Carpinus* au sein des relevés polliniques révèle un apport lointain favorisé par un transport par le vent. Ces taxons permettent de nous révéler la présence de reliefs aux alentours du site d'étude.

Facteurs de discordance entre pollen et végétation

Le mode de dispersion du pollen est un des facteurs influençant le plus la fréquence des taxons (Matthias et al., 2015). Les taxons principalement anémogames, comme *Pinus*, *Quercus-ilex* type, *Olea*, *Phillyrea* et *Plantago* sont souvent surreprésentés dans l'enregistrement pollinique alors que les taxons principalement entomogames, comme *Tamarix*, sont plutôt sous-représentés (Olivera et al., 2009). Le pollen de *Pinus* est notamment particulièrement adapté à l'anémogamie avec sa morphologie vésiculée et ses deux ballonnets aérifères qui optimisent le transport sur de longues distances. Ce dernier exemple souligne le rôle que peut jouer la morphologie du grain de pollen, et plus généralement les caractéristiques physiques des différents taxons dans leur représentation pollinique en plus de leur mode de dispersion.

Les différences de production pollinique entre taxons déterminent également les abondances relatives de ceux-ci (Matthias et al., 2015) comme c'est le cas pour *Pinus* (De Beaulieu, 1977) et *Quercus-ilex* type. Au contraire, les faibles signaux polliniques d'*Alnus* et *Fraxinus* pourraient s'expliquer par de faibles productions polliniques (Muller et al., 2008).

La fréquence de chaque taxon pollinique est également fonction de sa fréquence dans la végétation à différentes échelles spatiales comme c'est le cas des *Amaranthaceae* (abondantes dans la végétation locale) et de *Pinus* et *Quercus-ilex* type (abondants dans la végétation régionale). La présence d'*Olea* dans tous les sites peut aussi s'interpréter par une bonne répartition dans la végétation de l'Hérault pour sa culture. L'aire de répartition réduite d'*Alnus* et *Fraxinus* peut également

être à l'origine d'une faible représentation pollinique (Muller et al., 2008).

La distance de la source d'émission du pollen est un autre facteur qui va influencer la concentration pollinique d'un taxon (Jacobson & Bradshaw, 1981). En effet des taxons comme *Buxus*, *Castanea* ou *Betula* sont relativement éloignés de notre zone d'étude (respectivement 20, 50 et 110 km) et représentent des parts très faibles dans l'enregistrement pollinique (rarement supérieures à 1%). Leur présence dans l'enregistrement pollinique, malgré la distance de leur source d'émission, témoigne d'une dispersion anémogame du pollen et d'une production abondante.

La dégradation pollinique aurait pu influencer les concentrations polliniques de chaque site mais les résultats des tests de corrélation de Pearson effectués sur les proportions de *Cichorioideae* et de fragments de *Pinus* montrent que la dégradation n'explique pas les différences de concentrations polliniques observées entre les sites d'échantillonnage.

Les caractéristiques du milieu peuvent également influencer les concentrations polliniques. La salinité aurait pu favoriser une meilleure conservation pollinique (Watts & Bright, 1968) mais nous n'observons pas ce phénomène avec nos résultats. La forte CP à SAC pourrait s'expliquer, d'une part par sa topographie (ce site forme une cuvette où les vents s'engouffrent, ce qui peut favoriser le dépôt du pollen), et d'autre part par l'absence d'assèchement saisonnier souvent responsable d'une dégradation sélective des assemblages polliniques (Bryant et al., 1994), phénomène que l'on peut observer sur la plupart des autres sites.

CONCLUSION

Nos résultats montrent peu de taxons présentant une association entre enregistrement pollinique et végétation locale. Parmi les 25 taxons polliniques identifiés, nous en trouvons deux qui permettent de représenter la végétation locale : *Tamarix*, présent le long des dunes, caractérise le bord de mer, et les *Amaranthaceae* caractérisent les

sansouires. La présence de ces taxons est révélatrice de milieux salés littoraux ouverts (Janssen, 1970). Cependant, l'absence de *Tamarix* au sein de relevés polliniques ne signifie pas toujours que le site de prélèvement n'est pas situé le long du littoral. Pour le reste des taxons, il existe un décalage notable entre l'enregistrement pollinique et la végétation locale. Certains, comme *Pinus* et *Quercus ilex*-type, sont surreprésentés et suggèrent donc un apport régional en plus de l'apport local, ce qui en ferait des indicateurs de la végétation régionale (Fig. 5). Des apports lointains ont également pu être observés, ils révèlent la présence de reliefs. Les principaux facteurs pouvant expliquer la faible relation entre pollen et végétation sont : le mode de pollinisation (Olivera et al., 2009), la production pollinique (Broström et al., 2008), la préservation du pollen dans le sédiment (Reille, 1978 ; Davies & Fall, 2001), la distance de la source d'émission (Jacobson & Bradshaw, 1981), l'abondance des individus dans la végétation, les capacités de diffusion ou encore les conditions de sédimentation. Les facteurs influençant la

relation pollen-végétation sont donc nombreux, ils peuvent avoir d'importantes répercussions sur la représentativité de certains taxons dans le registre pollinique, rendant ainsi l'interprétation des données palynologiques difficile et la prise en compte de ces biais nécessaire. Suite à l'établissement de ce référentiel actuel, il serait maintenant intéressant d'étudier des sédiments en profondeur afin de comprendre l'évolution de la végétation au cours du temps. L'utilisation d'autres techniques permettant la reconstitution de la végétation pourrait également venir compléter les études palynologiques. Les phytolithes sont des particules de silices qui cristallisent à l'intérieur des cellules des plantes (Brémond, 2014), et se déposent dans le sol suite à la mort des plantes. Ils sont de bons indicateurs de la végétation locale. Les phytolithes n'enregistrent pas la végétation de la même façon que le pollen : ils sont limités à certains groupes taxonomiques (par exemple, les Poaceae), mais permettent une plus grande précision taxonomique de l'identification.

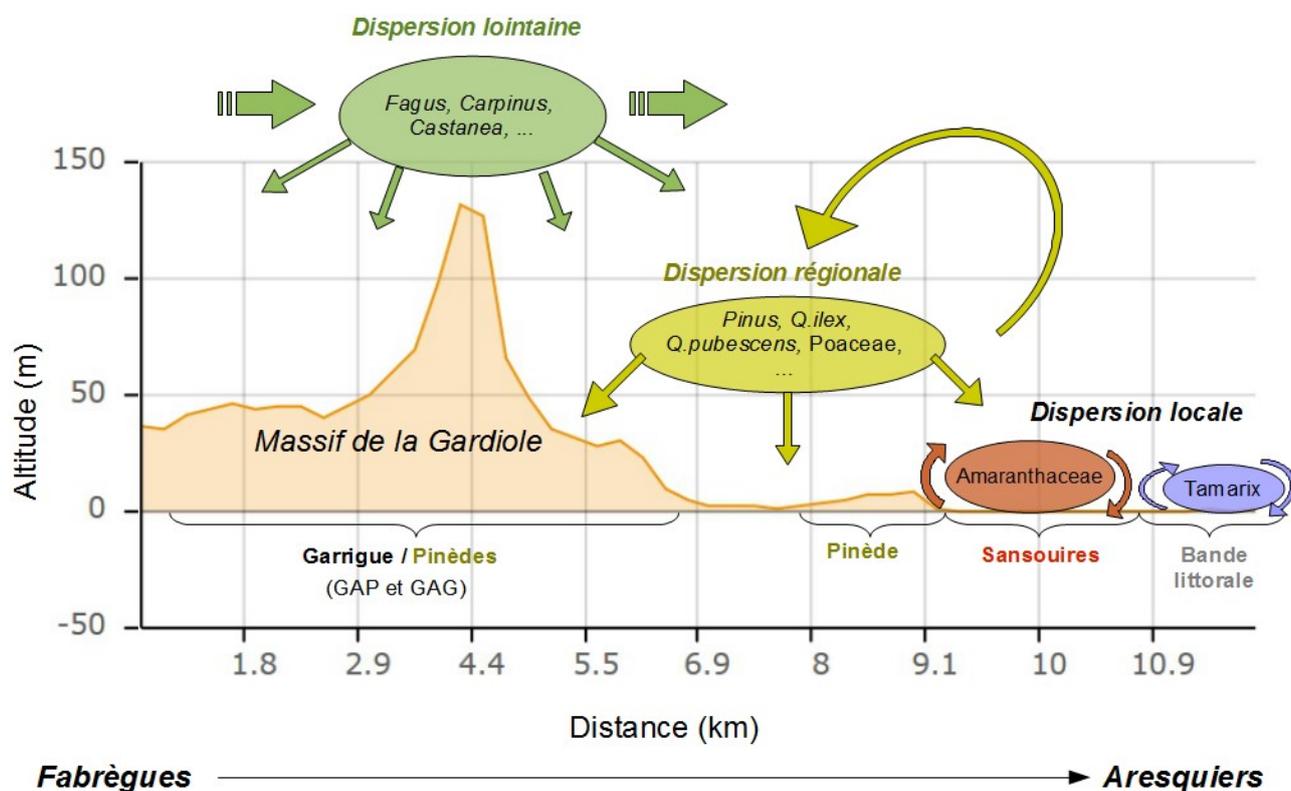


Figure 5. Taxons polliniques marqueurs de la végétation du Sud de la France

REFERENCES

- Aloisi J.-C., Monaco A., Planchais N., Thommeret J. & Thommeret, Y. (1978). The Holocene transgression in the Golfe du Lion, southwestern France: Paleogeographic and paleobotanical evolution. *Géographie physique et Quaternaire*, 32 : 145-162.
- Behre K.E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23 : 225-245.
- Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M. (1986). Pollen analysis and pollen diagrams. In: B.E. Berglund (éd.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, pp. 84-455. Chichester, United Kingdom.
- Bottema S. & Woldring H. (1990). Anthropogenic indicators in the pollen record of the Eastern Mediterranean. In: S. Bottema, G. Entjes-Nieborg & W. Zeist (éds.), *Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean Landscape*, pp. 231-265. Balkema, Rotterdam.
- Braun-Blanquet J. (1932). *Plant sociology, the study of plant community*. McGraw Hill Book, New York, 432 p.
- Brémond L. (2014). *Ecologie et paléoécologie des formations herbacées tropicales*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Montpellier 2, 67 p.
- Broström A., Nielsen A.B., Gaillard M.-J., Hjelle K., Mazier F., Binney H., Bunting J., Fyfe R., Meltsov V., Poska A., Räsänen S., Soepboer W., Von Stedingk H., Suutari H. & Sugita S. (2008). Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation: a review. *Vegetation History and Archaeobotany*, 17 : 461-478.
- Bryant V.M. Jr., Holloway R.G., Jones J.G. & Carlson D.L. (1994). Pollen preservation in alkaline soils of the American Southwest. In: A. Traverse (éds.), *Sedimentation of Organic Particles*, pp. 47-58. Cambridge University Press, Cambridge.
- Davies C.P. & Fall P.L. (2001). Modern pollen precipitation from an elevational transect in central Jordan and its relationship to vegetation. *Journal of Biogeography*, 28 : 1195-1210.
- 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.
- De Beaulieu J.-L. (1977). *Contribution pollen analytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises*. Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille, 358 p.
- Dortel A., Dubois M. & Mailly Q. (2016). Richesse spécifique et concentration des ostracodes dans les sédiments de surface lagunaire des étangs de Palavas (Hérault, France): corrélation avec la salinité et le couvert végétal. *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 27-36.
- Duplessy J.C. & Ramstein G. (2013). *Paléoclimatologie : enquête sur les climats anciens, Tome 1*. Savoirs Actuels, Paris, 357 p.
- Escudié M. & Inghilleri J. (2016). Influence de l'occupation du sol sur la végétation des milieux littoraux méditerranéens: étude d'un transect côtier, des Aresquiers à la Gardiole (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 (2) : 9-25.
- 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 de doctorat, Université de Louvain, 181 p.
- Jacobson G.L. & Bradshaw R.H.W. (1981). The selection of sites for paleovegetational 64 studies. *Quaternary Research*, 16 : 80-96.
- Janssen C.R. (1970). Problems in the recognition of plant communities in pollen diagrams. *Vegetation*, 20 : 187-198.
- Janssen C.R. (1973). Local and regional pollen deposition. In : H.J.B. Birks & R.G. Wet (éds.), *Quaternary Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 31-42.
- Matthias I., Sebastian M., Semmler S. &

- Giesecke T. (2015). Pollen diversity captures landscape structure and diversity. *Journal of Ecology*, 103 : 880-890.
- Muller S.D., Bruneton H., Soulie-Märsche I., Rey T., Thiéry A., Waterkeyn A., Brendonck L., Schevin P., Yavercovski N. & Grillas P. (2008). Long-term dynamics of a Mediterranean alkaline vernal pool (Rhone delta, Southern France). *Wetlands*, 28 : 951-966.
- Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.
- Olivera M.M., Duivenvoorden J.F. & Hooghiemstra H. (2009). Pollen rain and pollen representation across a forest-páramo ecotone in northern Ecuador. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 157 : 285-300.
- Reille, M. (1978). A propos de la disparition du pollen dans certains sédiments minéraux. *Annales des Mines de Belgique*, 6 : 115-20.
- Tewari R., Awatar R., Pandita S.K., McLoughlin S., Agnihotri D., Pillai S.S.K., Singh V., Kumar K. & Bhat G.D. (2015). The Permian–Triassic palynological transition in the Guryul Ravine section, Kashmir, India: implications for Tethyan–Gondwanan correlations. *Earth-Science Reviews*, 149 : 53-66.
- Triat H. (1971). Contribution à l'étude de la dispersion pollinique du *Tamaris*. *Annales de l'Université de Provence*, 46 : 151-154.
- Watts W.A. & Bright R.C. (1968). Pollen, seeds, and mollusc analysis of a sediment core from Pickerel Lake, Day County, South Dakota. *Bulletin of the Geological Society of America*, 79 : 855-876.

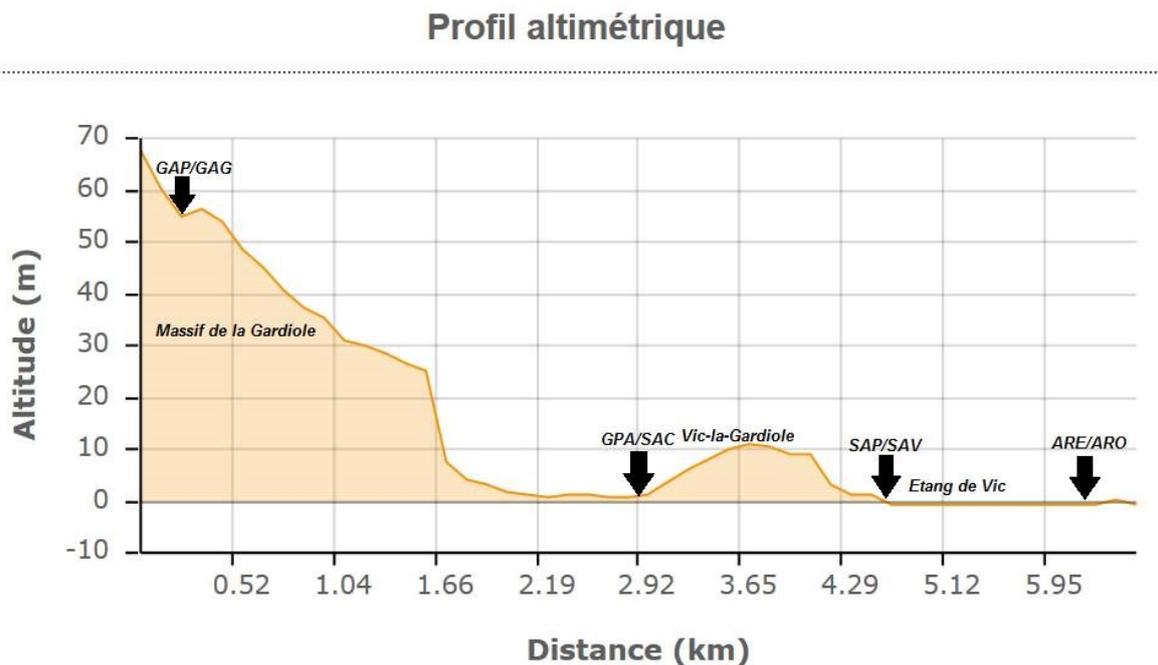
ANNEXE 1. Carte et photos des sites d'étude



ANNEXE 2. Caractérisation des sites d'étude

Site	Caractéristiques hydrologiques	Végétation locale (<100m)	Géologie	Sédiment
Aresquiers Ouest (ARO)	Assèchement estival			Argileux
Aresquiers Est (ARE)				Argileux
Sansouire Pinède (SAP)	Assèchement saisonnier, pas de communication avec les lagunes	Sansouire (Amaranthaceae)	Limens argilo-sableux des étangs salés (Holocène)	Argileux
Grande Palude (GPA)		Jonçaie (Juncaceae, Cyperaceae)		Organique
Sansouire Vic (SAV)	Assèchement saisonnier, pas de communication avec les lagunes	Sansouire		Argileux
Sansouire Carrefour (SAC)		Alimentation probable en eau douce		Organique
Gardiole Petite mare (GAP)	Assèchement fréquent	Garrigue à <i>Quercus coccifera</i>	Marno-calcaies et calcaires siliceux de la montagne de la Gardiole (Oxfordien moyen)	Argileux et débris organiques
Gardiole Grande mare (GAG)				Argileux et débris organiques

ANNEXE 3. Profil altimétrique de la zone d'étude



ANNEXE 4. Protocole d'extraction du pollen

L'extraction du pollen à partir du sédiment a été réalisée selon le protocole de [Berglund & Ralska-Jasiewiczowa \(1986\)](#). Sur deux jours nous avons effectué une série de manipulations pour éliminer tous les éléments du sédiment pour finalement ne conserver que le matériel pollinique. Dans un ordre chronologique, nous avons mesuré le volume des échantillons par déplacement d'eau pour pouvoir déterminer par la suite la concentration en pollen dans le sédiment. Ensuite nous avons éliminé les carbonates avec de l'acide chlorhydrique (HCl 20%). Nous avons défloculé le sédiment (complexe argilo-humique) à l'aide d'une base, l'hydroxyde de potassium (KOH 10%). Tamassage. Le sédiment échantillonné étant argileux nous avons procédé à une étape d'élimination de la silice en mélangeant la solution contenant le sédiment à de l'acide fluorhydrique (FH 70%). Nous avons laissé reposer pendant sept jours. Ensuite nous avons éliminé les fluosilicates avec de l'acide chlorhydrique. Nous avons déshydraté le sédiment avec de l'acide acétique (CH₃COOH). Enfin nous avons éliminé la cellulose par acétolyse en utilisant de l'anhydride acétique (C₄H₆O₃ 97%) et de l'acide sulfurique (H₂SO₄ 96%). Une fois le matériel pollinique isolé, il a été monté sur lame dans la glycérine pour observation au microscope optique.