

Orpalm

Synthesis 2018- 11 (2)



Littoral (2)



ORPALM Synthesis

Revue bisannuelle
de Paléoenvironnement
n°11 (2) - Année 2018

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}
Christophe VASCHALDE^{1,5}

¹ISEM,
²UM2, ³EPHE, ⁴CNRS
⁵LabEx Archimède UPV

Auteurs

Oscar AFFHOLDER, Mathilde
BARTHE, Colline BONNET, Margot
BRONDANI, Lewis CELANIE,
Isabelle CODOU, Paul COIFFARD,
Hugo DAILLAN, Adrien DIAZ,
Sacha DELMOTTE, Montand
GAUTIER, Aurélien GRIMAUD,
Nabil LHANI, Baptiste MULTON,
Lisa SICHE, Ioanna VLANDIS,
Maryam WILTORD

Travail éditorial
Serge MULLER

Publication
3^e trimestre 2018
Université de Montpellier

ORPAL 2018 : Entre mer et terre, des Aresquiers à la Gardiole (Hérault) – 2

Pour la seconde année après la session de janvier 2016, l'équipe d'ORPAL retourne aux Aresquiers (24-26 janvier 2018) et se projette d'ores et déjà sur le millésime 2020 et la réserve de l'Estagnol, site classé et réserve naturelle nationale (RNN) situé à 8 km de Montpellier.

A la fin du XVIII^e siècle, Buffon (Georges Louis Leclerc de Buffon), célèbre naturaliste, écrivait : « ... Desséchons ces marais, animons ces eaux mortes en les faisant couler, formons-en des ruisseaux, des canaux... Bientôt au lieu du jonc, du nénuphar dont le crapaud composait son venin, nous verrons paraître la renoncule, le trèfle, les herbes douces et salutaires... Quelle est belle, cette nature cultivée ! ». Cette longue diatribe montre combien les zones humides parmi lesquelles les lagunes ont bien longtemps eu mauvaise réputation.

Les lagunes sont des zones humides littorales, plans d'eau séparés de la mer par un cordon littoral, le lido, et alimentés en eau douce par les apports du bassin versant. Comprises entre terre et mer (!), les lagunes entretiennent des relations étroites avec la mer, leur bassin versant et les milieux qui les entourent (marais, sansouires, prés salés, cordon dunaire, formations ligneuses côtières, etc.). L'ensemble comprenant la lagune et les zones humides adjacentes forme le « complexe lagunaire ».

Pourtant, malgré la réputation peu reluisante de ces complexes lagunaires, l'économie locale et l'agriculture y sont bien présentes. Grâce à la pêche, la conchyliculture, la saliculture, la fauche, le pâturage ou la riziculture, elles participent à la protection de l'environnement en soustrayant aux promoteurs des terres urbanisables. D'un point de vue écologique, n'en déplaise à Buffon, les zones humides jouent un rôle écologique majeur : paysages en mosaïque uniques, réservoirs de biodiversité (taux d'endémisme élevé, aires de nidification et d'hivernage, étapes lors de migrations...), services écosystémiques (amélioration des qualités physico-chimiques et bactériologiques des eaux douces provenant du bassin versant, épuration – dépollution, rôles joué à la fois par le milieu physique et par les végétaux ; réservoir d'écritage ou d'atténuation des crues ; zone tampon permettant de limiter l'impact des tempêtes). Les zones humides littorales jouent donc un rôle écologique et socio-économique capital permettant à d'autres usagers

(promeneurs, touristes, chasseurs), à condition que leurs activités soient maîtrisées, de participer à la protection, à la conservation des milieux et finalement à « durabiliser » cet environnement unique et fragile.

Les zones lagunaires et leurs bassins versants ont un potentiel paléoenvironnemental, paléoenvironnemental et paléobiologique exploité depuis des décennies par la recherche scientifique – augurons que les étudiants de la promotion 2018 auront su révéler et citer à propos ces auteurs. Aussi, les outils géographiques, dendrologiques et les proxies paléoenvironnementaux ou paléoenvironnementaux sont au programme de cette édition. Ils contribuent eux aussi à la connaissance des zones lagunaires, de leur fonctionnement, de leurs fonctions et

des processus passés qui les ont modelés. La paléoécologie participe donc à la préservation et à la conservation de ces milieux, des habitats et de la biodiversité.

« *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, Serge Muller, Laure Paradis et Christophe Vaschalde.

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



*Les Orpaliens 2018: la consigne était de s'habiller en bleu,
mais il y a toujours des cancrs qui n'écoutent pas !*

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 2017-2018

Littoral, Hérault (2)

Brondani M. & Wiltord M. : <i>Paléotempêtes dans le Golfe d'Aigues Mortes au cours des 300 dernières années</i>	9
Coiffard P., Delmotte S. & Multon B. : <i>Evolution des surfaces côtières du lido de Frontignan depuis l'après-guerre : Approche spatio-temporelle</i>	19
Bonnet C., Daillan H. & Gautier M. : <i>Relation pollen-végétation et enregistrement pollinique des derniers siècles dans une lagune du Golfe du Lion (Etang de Vic, Hérault)</i>	29
Diaz A., Lhani N. & Vlandis I. : <i>Distribution spatiale et temporelle des ostracodes dans les étangs palavasiens</i>	47
Affholder O., Celanie L. & Grimaud A. : <i>Identification de bois flottés du littoral de la région de Montpellier (Hérault)</i>	55
Barthe M., Codou I. & Siche L. : <i>Etude comparative de la dynamique d'accroissement de trois populations de Pin d'Alep (Pinus halepensis) du massif de la Gardiole (Hérault)</i>	67



Carpobrotus edulis, une Aizoaceae envahissante d'origine sud-africaine, qui concurrence sérieusement la flore autochtone sur les littoraux méditerranéens (photo : B. Multon)

PALEOTEMPETES DANS LE GOLFE D'AIGUES MORTES AU COURS DES 300 DERNIERES ANNEES

Margot Brondani ¹, Maryam Wiltord ²

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

¹ margot.brondani@etu.umontpellier.fr, ² maryam.wiltord@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Vincent Girard et Laurent Brémond

Citation : Brondani M. & Wiltord M. (2018). Paléotempêtes dans le Golfe d'Aigues Mortes au cours des 300 dernières années. *Orpalm Synthesis* 11 (2) : 9-18.

Résumé : L'étude de sédiments lagunaires permet de mettre en évidence des événements passés, tels que les tempêtes ou les crues. Une carotte sédimentaire, prélevée dans l'étang de Vic (Hérault, France), a fait l'objet de mesures de perte au feu, d'une analyse granulométrique et d'une analyse géochimique. Quatre événements de paléotempêtes potentiels ont été identifiés au cours des 300 dernières années.

Mots clés : granulométrie, perte au feu, XRF, paléoclimat, lagune

Abstract: *Palaeostorms in the Gulf of Aigues Mortes over the last 300 years.* The study of lagoon sediments allows reconstructing past events such as storms or floods. A sediment core taken from the Vic lagoon (Hérault, France) was analyzed for loss on ignition, grain size and geochemical elementary composition. Four potential palaeostorm events were identified over the past 300 years.

Keywords: granulometry, loss on ignition, XRF, palaeoclimate, lagoon

Le complexe lagunaire palavasien se situe sur le littoral nord du Golfe du Lion (sud de la France). Il était à l'origine composé d'une unique étendue d'eau, formée à l'Holocène moyen suite à la transgression marine versilienne (Raynal et al., 2010 ; Castaings, 2012). La lagune s'est progressivement refermée et est devenue un piège pour les sédiments apportés par les fleuves. Les neuf étangs actuels ont été formés par la fragmentation naturelle de cette unique lagune et par l'aménagement du littoral par l'Homme. Le Lez fut relié à la mer par une canalisation au XVIIe siècle, et le Canal du Rhône à Sète, qui traverse les lagunes, fut creusé à la fin de ce même siècle (Castaings et al., 2011). Au cours des cinquante dernières années, des routes et des stations touristiques

ont été aménagées pour faciliter l'accès aux plages et développer le tourisme. Les lagunes, qui présentent un grand intérêt à la fois patrimonial et économique, sont de ce fait très fortement impactées par les activités anthropiques.

Les écosystèmes lagunaires sont des zones de transition entre le milieu continental et le milieu marin. Les lagunes sont influencées par les apports sédimentaires des bassins versants et de la mer. L'origine des sédiments est donc variable, et dépend principalement du climat. En Méditerranée, le climat se caractérise par des pluies intenses sur des temps très courts durant l'hiver et le printemps, ce qui rend la région particulièrement sujette aux inondations (Dezileau & Castaings, 2014). Les argiles et les silts, dont la taille est inférieure à 50 µm,

sont transportés depuis le bassin versant jusqu'aux lagunes lors de crues. En revanche, les sédiments plus grossiers comme le sable (taille comprise entre 100 et 250 μm) sont amenés dans les lagunes depuis la mer lors de tempêtes qui ont lieu non loin du littoral (Sabatier et al., 2010).

La région méditerranéenne étant l'une des régions du monde les plus sensibles au changement climatique (Giorgi, 2006), il est intéressant d'étudier l'histoire de ces lagunes et de comprendre leur dynamique sur un temps long dans le but d'anticiper les futurs événements climatiques. Les sédiments y sont en outre particulièrement bien préservés dans les systèmes lagunaires (Ferrer, 2010 ; Dezileau et al., 2011), et leur accumulation rapide permet de reconstituer avec précision les événements climatiques passés (Sabatier et al., 2007 ; Dezileau & Castaings, 2014).

La présente étude vise à reconstituer, sur la base de mesures de perte au feu, d'analyses granulométriques et d'analyses géochimiques réalisées sur une carotte sédimentaire prélevée dans l'étang de Vic, les événements de tempête passés qui ont touchés l'étang.

MATERIEL ET METHODES

En plus de nos travaux de cartographie et de phytosociologie, différentes méthodes ont été mises en œuvre par les autres groupes 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

L'étang de Vic est une lagune dont la superficie est de 1139 ha et dont la profondeur moyenne est de 95 cm. Il est séparé de la mer Méditerranée par le Canal du Rhône à Sète et par l'étang de Pierre-Blanche. Le ruisseau de la Robine se déverse dans l'étang de Vic, et une passe le relie à l'étang de l'Armel, dans lequel se jette un bras de la Mosson. L'étang de Vic communique également avec la mer par le canal du Rhône à Sète. Il reçoit donc, d'une part, un apport en eau douce et d'autre part, en eau salée.

2- Prélèvement du sédiment et préparation des échantillons

Le prélèvement des sédiments lagunaires a été effectué les 24 et 25 janvier 2018. Le carottage (Vic1) a été effectué, à l'aide d'un carottier Kajak-Brinkhurst, au milieu de l'étang de Vic (Fig. 1). La position géographique a été relevée sur GPS. Différents échantillons ont été prélevés : 1 cm^3 tous les 2 cm pour l'étude de la perte au feu, et 10 g tous les 8 cm pour l'analyse granulométrique.

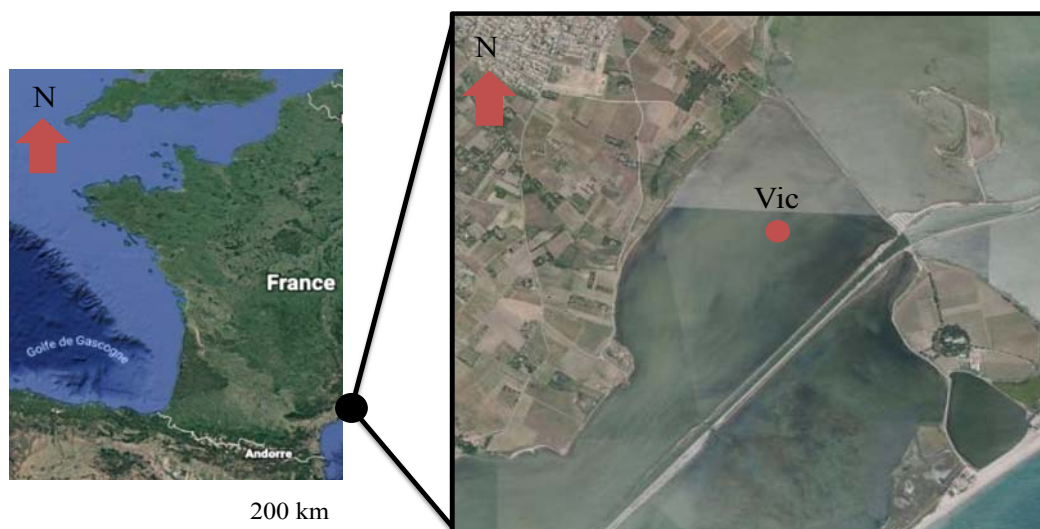


Figure 1. Localisation du prélèvement de la carotte Vic sur l'image satellite de l'étang de Vic (Source : Google Earth)

3- Perte au feu

La méthode de la perte au feu (PAF) a pour but de quantifier la teneur en matière organique (MO), en carbonates et en minéraux contenu dans le sédiment. La PAF est exprimée en pourcentage du poids sec. Les carbonates sont d'origine minérale et leur apport provient principalement de la précipitation des substances dissoutes dans l'eau. L'apport en MO dans le sédiment provient d'organismes animaux ou végétaux, notamment des tests qui se dissolvent après la mort de l'organisme.

Les échantillons prélevés pour la PAF ont été placés dans des creusets en porcelaine préalablement séchés à l'étuve durant 2 h à 105°C afin d'éliminer l'humidité captée dans le milieu ambiant. Ces creusets ont été refroidis au dessiccateur pendant 1 h pour éviter qu'ils ne s'humidifient à nouveau, et ont ensuite été pesés à vide avec une balance de précision (0,1 µg). Les creusets contenant les échantillons ont été placés à l'étuve pendant une semaine à 150°C (Moreno et al., 2001). Cette première étape permet à l'eau contenue dans les sédiments de s'évaporer totalement. Les échantillons ont ensuite été placés dans un four à moufle à 550°C durant 5 h. Ils perdent ainsi la matière organique qu'ils contiennent (Heiri et al., 2001). Finalement, ils ont été calcinés dans le four durant 2 h à 950°C pour éliminer les carbonates (Heiri et al., 2001). Les échantillons ont été pesés entre chaque passage à l'étuve et au four pour connaître les différentes masses.

4- Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet d'estimer la proportion de chaque classe de particules dans le sédiment, en fonction de leur taille. Pour ce faire, des échantillons de 10 g ont été tamisés avec de l'eau (tamisage humide) sur une série de 4 tamis. La taille des tamis utilisés a été déterminée à l'aide de l'échelle granulométrique de Wentworth (1922). Les différentes mailles sont : 2 mm pour retenir les éléments très grossiers comme les coquilles de mollusques bivalves et les

cailloux ; 800 µm pour retenir les sables grossiers et les coquilles de mollusques gastéropodes ; 250 µm pour retenir les sables fins ; et 50 µm pour les particules fines comme les silts ou les argiles. À l'issue du tamisage, les résidus de chaque échantillon ont été placés à l'étuve durant une semaine à une température de 50°C avant d'être pesés et analysés. Les résultats ont été traités par pourcentage de masse sur la masse totale de l'échantillon.

5- Analyse géochimique

La composition en éléments chimiques du sédiment a été analysée par spectrométrie de fluorescence des rayons X. Cette technique permet de mesurer en haute résolution la teneur des différents éléments chimiques sur la totalité de la carotte (Rothwell, 2006). Les mesures ont été faites durant 150 secondes tous les 2 cm, de 2 à 68 cm de profondeur, grâce à l'analyseur FX portable Thermo Scientific™ Niton™ XL3. La profondeur 0-1 cm n'a pu être analysée, car elle a été totalement prélevée pour les autres analyses.

RESULTATS

1- Perte au feu (PAF)

La Figure 2 présente les résultats de la PAF. La teneur en matière organique dans les échantillons est largement supérieure à celle des carbonates. À plusieurs profondeurs (2-5, 45-47 et 63-65 cm), la teneur en carbone inorganique diminue lorsque la teneur en matière organique augmente rapidement. À l'inverse, entre 29 et 27 cm de profondeur, les taux de carbone organique et inorganique augmentent simultanément. Finalement, une augmentation nette avec une perte de 8% de la MO et une diminution rapide du taux de carbonates de 0,16% sont observées entre 5 et 2 cm de profondeur. Le rapport entre la teneur en MO et en carbone inorganique présente de fortes variations en fonction des profondeurs, mais est toujours positif. Malgré ces variations, il est observé que lorsque la profondeur augmente, le taux de carbone organique diminue.

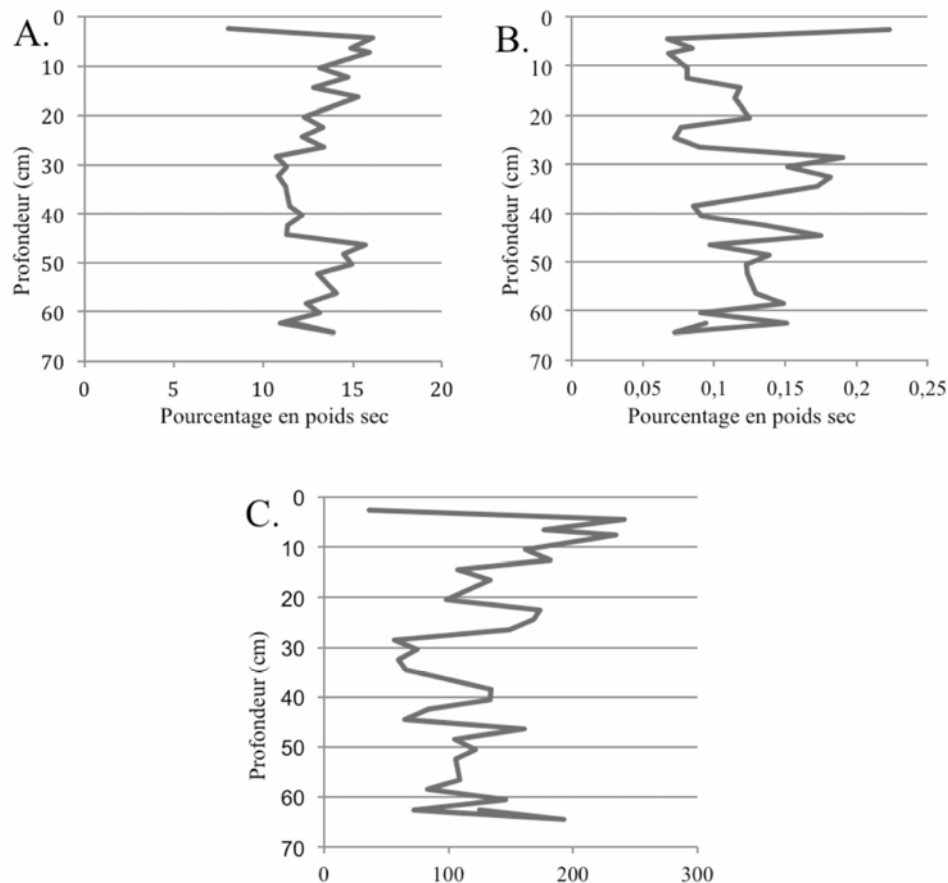


Figure 2. Teneur en carbone de la carotte Vic : (A) carbone organique ; (B) carbone inorganique ; (C) rapport carbone organique / carbone inorganique

2- Granulométrie

La **Figure 3** présente les résultats de l'analyse granulométrique en fonction de la profondeur. Les particules fines inférieures à 50 μm (silts, argiles) sont le principal constituant du sédiment. Les particules, dont la taille est comprise entre 50 μm et 2 mm, constituent 5-15% du sédiment. Des variations de la proportion des particules supérieures à 50 μm sont observées en fonction de la profondeur. Aussi, le taux de particules fines diminue, alors que celui des éléments grossiers supérieurs à 800 μm augmente entre 10 et 0 cm.

3- Analyse géochimique

La **Figure 4** présente les éléments chimiques contenus dans les sédiments et leur concentration en ppm en fonction de la profondeur. Les principaux éléments identifiés sont Al, Al_2O_3 , Bal, Ca, CaO, Cl, Fe, Fe_2O_3 , Si, SiO_2 . Les variations de CaO et Ca, de Fe et Fe_2O_3 , et de Si et SiO_2 , sont respectivement corrélées. Nous avons donc choisi de ne présenter que l'élément seul. Nous nous intéresserons donc aux variations de la teneur en Al, Bal, Ca, Cl, Fe et Si. Parmi ces éléments, le borure d'aluminium (Bal) et le chlore (Cl) présentent des variations inverses aux autres. Al, Ca, Fe et Si présentent des baisses, et Cl une augmentation entre 30 et 40 cm, à 20 et à 5 cm. Des pics inverses sont observés à 60 et 50 cm de profondeur.

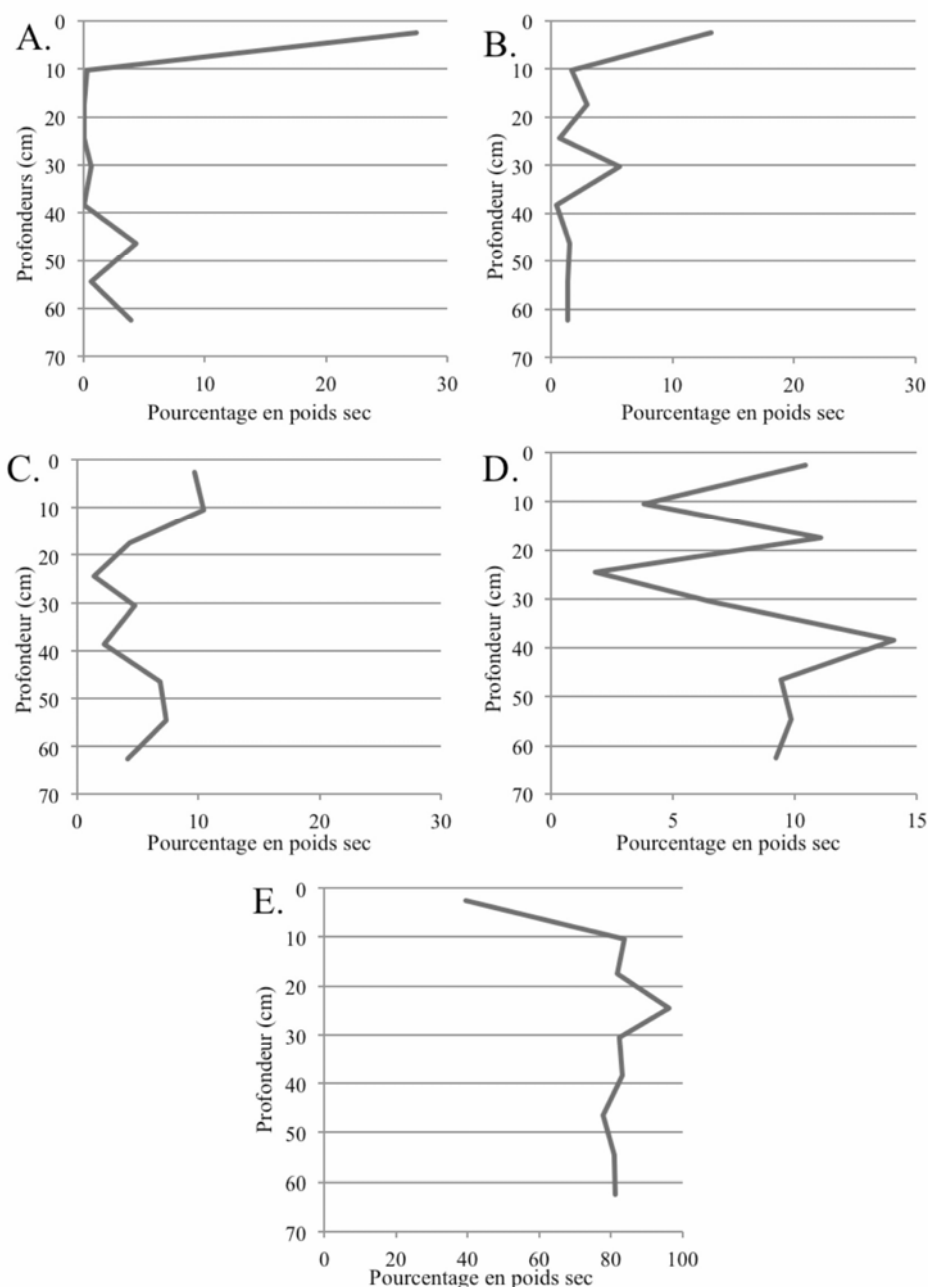


Figure 3. Proportion des particules dans le sédiment, en fonction de leur taille : (A) $> 2000 \mu\text{m}$; (B) $800\text{-}2000 \mu\text{m}$; (C) $250\text{-}800 \mu\text{m}$; (D) $50\text{-}250 \mu\text{m}$; (E) $< 50 \mu\text{m}$.

La courbe du ratio Zr/Al présente deux augmentations majeures à 38 et 5 cm de profondeur et deux moins fortes à 67 et 20 cm. Le ratio Si/Al montre seulement deux valeurs fortes à 38 et 19 cm. On retrouve cependant une forte diminution de ce dernier à environ 5 cm de profondeur. Cette diminution implique soit un apport important d'aluminium, soit une réduction des sables. Le fait qu'elle ne se retrouve pas dans le ratio Zr/Al, suggère que ce sont les sables qui sont en cause.

DISCUSSION

1- Interprétation des analyses sédimentologiques

Chronologie

Afin de comprendre la dynamique du système lagunaire, il est nécessaire d'avoir un contrôle chronologique de l'accumulation sédimentaire. [Sabatier \(2006\)](#) a évalué à 2-3 mm/an le taux de sédimentation moyen dans les étangs palavasiens. Ce taux, calculé sur l'ensemble

du complexe, n'est pas forcément représentatif des taux de sédimentation locaux. Des phénomènes comme la bioturbation ou des changements de taux de sédimentation peuvent en effet entraîner des différences importantes entre les étangs (Sabatier, 2006). N'ayant pas de datation radiométrique sur la carotte étudiée, nous avons toutefois arbitrairement considéré un taux de sédimentation de 2,5 mm/an. Le

niveau basal prélevé (67 cm) daterait donc de 1750 environ (Fig. 5)

Sédimentologie

Le sédiment contient une majorité de particules fines (argiles et silts ; Fig. 3) nécessitant un milieu faiblement énergétique pour sédimer. Les variations du taux de carbone, en majorité organique (Fig. 2),

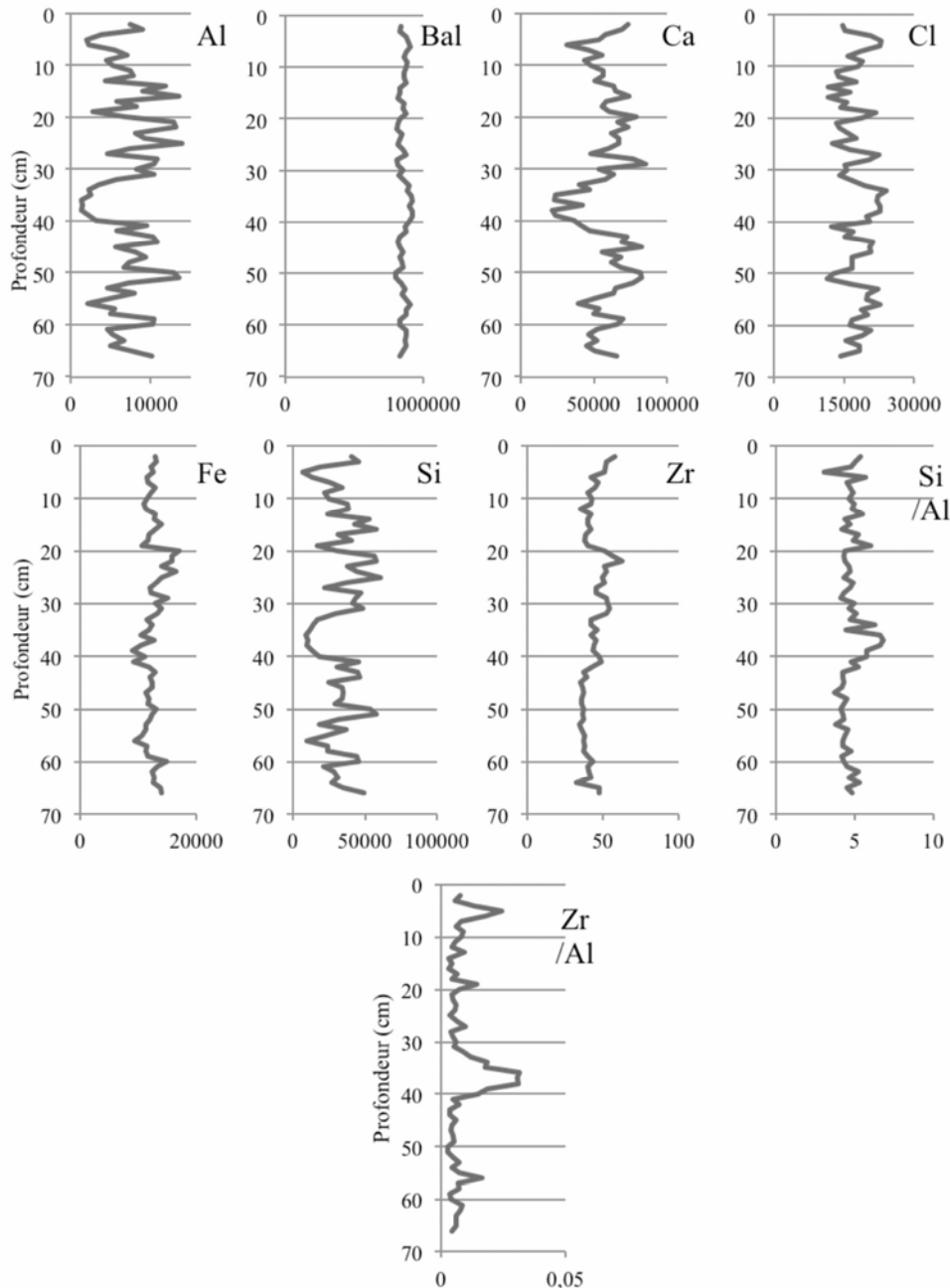


Figure 4. Eléments chimiques contenu dans le sédiment (en parties par million). Les éléments sont : l'aluminium (Al), le bore d'aluminium (Bal), le calcium (Ca), le chlore (Cl), le fer (Fe), la silice (Si), le zircon (Zr). Deux rapports sont également présentés : silice/aluminium (Si/Al) et zircon/aluminium (Zr/Al). Les échelles des axes des abscisses sont variables.

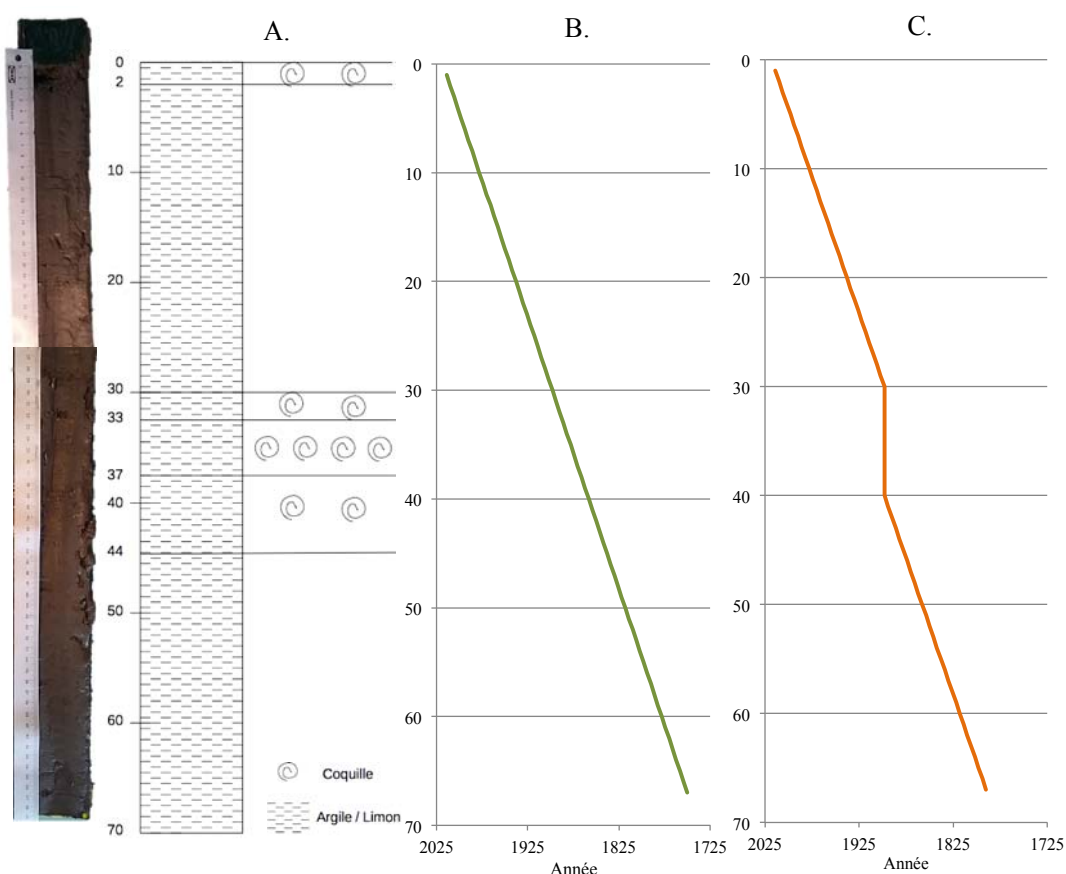


Figure 5. Photographie de la carotte Vic avec le profil stratigraphique (A) et modèle d'âge linéaire d'après le taux de sédimentation calculé à 2,5 mm/an (B) ainsi qu'avec prise en compte de l'événement climatique entre 30 et 40 cm de profondeur (C).

pourraient indiquer que les conditions de sédimentation dans la lagune ont varié au cours du temps. Cette hypothèse n'est toutefois pas supportée par le fait que le taux de carbone organique ne correspond ni à la composition élémentaire, ni à la granulométrie des sédiments. La matière organique est principalement autochtone et provient très certainement de la production primaire par le phytoplancton ou les macrophytes (Bloundi et al., 2008 ; Berto et al., 2013).

Mise en évidence des événements de tempête

La comparaison des résultats de la perte au feu (Fig. 2), de l'analyse granulométrique (Fig. 3) et de l'analyse géochimique (Fig. 4) est utilisée pour reconstituer l'historique des événements passés. Les tempêtes peuvent en effet être mises en évidence par l'augmentation de la granulométrie des sédiments (Sabatier, 2006), ainsi que par l'augmentation de la teneur en éléments chimiques

caractéristiques du milieu marin. Ces éléments sont la silice (Si, SiO_2), qui constitue les sables, le zirconium (Zr), fréquemment associé à la silice, et le calcium (Ca), souvent retrouvé sous la forme de chaux vive (CaO). La chaux vive intervient dans le cycle du carbonate de calcium, qui est le constituant principal de la coquille des invertébrés marins.

D'autre part, les indicateurs du milieu terrigène sont principalement les composants des argiles : le fer (Fe, Fe_2O_3) et l'aluminium (Al, Al_2O_3). Ces éléments sont caractéristiques du drainage des bassins versants. Leur source locale est la Mosson (Sabatier et al., 2010).

2- Reconstitution des paléotempêtes

L'ensemble des résultats met en évidence quatre paléotempêtes potentielles. La première tempête est identifiée à une profondeur de 56 cm et semble avoir eut lieu

en 1790. Le taux de carbone organique diminue similairement à l'aluminium ou au fer tandis que le rapport Zr/Al augmente. D'autre part, la fraction de calcium et de silice contenue dans le sédiment augmente à partir de 56 cm. Ces observations indiquent une augmentation des apports marins. Cependant, aucune variation des particules dont la taille est comprise entre 250 et 50 μm n'est observée.

Le deuxième événement a été identifié entre 40 et 30 cm de profondeur. Les taux respectifs de carbone organique et inorganique ne présentent pas de fortes variations, mais leur rapport indique un apport considérable de carbone inorganique dans le sédiment. Aussi, la proportion de particules dont la taille est supérieure à 250 μm augmente brusquement. Cela correspond avec le fait que beaucoup de coquilles de mollusques sont retrouvées entre 40 et 30 cm sur le profil stratigraphique (Fig. 5). Au cours des tempêtes, des graus peuvent s'ouvrir de manière temporaire et augmenter le transport de sable et de coquilles du milieu marin vers les lagunes (Castaing, 2012). Une augmentation rapide des rapports Si/Al et Zr/Al est également observée à 40 cm et indique donc un apport de sédiments marins. La présente perturbation s'étend sur 10 cm de profondeur, soit durant 40 ans d'après le modèle d'âge réalisé. Il est peu probable que la perturbation ait duré aussi longtemps. On estime que la tempête fut violente et qu'elle ait pu provoquer le dépôt de 10 cm de sédiments en une courte période de temps. Aussi, d'après le modèle d'âge que nous avons calculé, la tempête a eu lieu en 1898 et pourrait en réalité correspondre à la tempête de 1893 que l'étude de Sabatier et al. (2008) a identifiée.

Le troisième événement important enregistré par le sédiment est situé à 20 cm de profondeur et aurait eu lieu en 1938. Celui-ci présente à la fois une augmentation des particules dont la taille est comprise entre 50 et 250 μm ainsi que des ratios Si/Al et Zr/Al, mais ne semble pas correspondre avec une variation spécifique du ratio carbone organique/carbone inorganique. Il est possible que ces variations indiquent une tempête.

Néanmoins, la date à laquelle elle est associée ne correspond à aucun événement du registre historique (Sabatier et al., 2008).

La dernière tempête identifiée est inscrite à 5 cm de profondeur. L'augmentation de la fraction des sables et des éléments grossiers, de la teneur en chlore (Cl), ainsi que l'augmentation nette de la valeur du ratio Zr/Al indiquent un apport marin et marquent très certainement une tempête. Cet événement semble dater de 1998 et pourrait correspondre à la tempête de 1999 (Sabatier et al., 2008). Cependant, le ratio Si/Al indique un fort apport argileux caractéristique du bassin versant, ce qui ne concorde pas avec l'hypothèse d'une tempête, mais plutôt avec un épisode de crue. Il est possible que, durant la tempête, les précipitations aient causé une importante érosion du bassin versant, résultant en un apport continental supérieur à l'apport marin.

3- Validité de la reconstitution

Bien que ces événements rassemblent les critères d'identification des paléotempêtes, des incohérences sont observées : les événements reconstitués ne correspondent pas exactement avec les archives historiques. Les plus fortes tempêtes enregistrées dans les archives historiques au cours des 300 dernières années ont eu lieu en 1766, 1771, 1790, 1839, 1893, 1956, 1982 et 1999 (Sabatier et al., 2008), et d'autres tempêtes ont été identifiées en 1742, 1848, 1893 et 1939 dans l'étang de Pierre Blanche (Sabatier et al., 2008 ; Dezileau & Castaings, 2014). Les tempêtes identifiées dans nos sédiments ont été estimées en première approximation en 1790, 1860, 1940 et 1999.

Les dates des tempêtes étudiées au cours de cette étude ne correspondent pas forcément à celles des tempêtes identifiées antérieurement. Plusieurs biais en sont possiblement à l'origine. Tout d'abord, le modèle d'âge linéaire utilisé conduit à l'interprétation de la variation entre 30 et 40 cm comme étant un événement long. Un tel modèle ne permet pas de caractériser cet événement comme étant une tempête et y faire correspondre une unique date. En revanche, si l'on considère

cet événement comme étant ponctuel et que l'on y associe un modèle d'âge prenant en compte l'augmentation de la vitesse de sédimentation (Fig. 5), cette tempête daterait bien de 1898. La modification du modèle d'âge impacterait aussi la date de la plus ancienne tempête identifiée. Celle-ci, qui n'aurait pas eu lieu en 1790 mais en 1834, pourrait alors correspondre à la tempête de 1848 identifiée par Sabatier et al. (2008).

Le modèle d'âge semble donc à l'origine des difficultés de corrélation. Basé sur un taux de sédimentation moyen et constant, il ne prend pas en compte les variations du taux de sédimentation causées notamment par les tempêtes. Ces dernières peuvent être le moteur d'apports importants en sédiments marins, comme le montre l'événement de 1898. Il est probable que d'autres variations de ce taux de sédimentation ne soient pas prises en compte, susceptibles de modifier encore la datation des tempêtes.

Le modèle d'âge modifié permet une meilleure correspondance entre les événements identifiés et ceux de Sabatier et al. (2008). Nous estimons ainsi qu'environ quatre événements climatiques majeurs se sont déroulés au cours des 300 dernières années : 1834, 1898, 1938 et 1999. De telles tempêtes, qui apparaissent dans l'historique de la région, surviennent environ une à deux fois par siècle (Sabatier et al., 2008).

CONCLUSION

La présente étude a utilisé trois méthodes d'analyse des sédiments (perte au feu, granulométrie, géochimie) pour tenter d'identifier des paléotempêtes dans l'étang de Vic. La comparaison des résultats des trois analyses a révélé quatre événements, qui correspondent plus ou moins au registre historique des tempêtes ayant eu lieu dans la zone étudiée. Les résultats présentent de fortes variations qui attestent que le milieu est sensible aux perturbations et soumis aussi bien aux apports marins qu'aux apports terrigènes.

Afin de vérifier nos résultats, il aurait été intéressant de réaliser une datation précise de

la carotte à l'aide d'isotopes tels que le ^{210}Pb ou le ^{14}C , en prenant en compte le phénomène de bioturbation. Ces datations auraient permis de calculer un taux de sédimentation propre à l'étang de Vic, permettant l'identification précise des événements. Par ailleurs, l'étude de plusieurs carottes est indispensable pour reconstituer correctement ce type d'événements (Dezileau & Castaings, 2014). Une étude le long d'un transect aurait ainsi permis de prendre en compte les variations d'intensité des tempêtes. Une tempête de faible intensité ne sera enregistrée que dans les sédiments proches de la mer, alors qu'une tempête de forte intensité le sera partout dans l'étang. Enfin, un tamisage plus fin et répété tous les 3-4 cm au lieu de 8 cm auraient permis une identification des tempêtes plus précise. Ces analyses sédimentaires pourraient enfin être couplées à l'analyse de la malacofaune, susceptible de révéler des changements entre faune lacustre et faune marine (Sabatier et al., 2008).

REFERENCES

- Berto D., Rampazzo F., Noventa S., Cacciatore F., Gabellini M., Aubry B., Girolimetto A. & Brusà B. (2013). Stable carbon and nitrogen isotope ratios as tools to evaluate the nature of particulate organic matter in the Venice lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135 : 66-76.
- Blanc J.-J. (1979). *Protection des littoraux sableux, méthodes d'étude, l'exemple de la Camargue*. Rapport pour le Centre National pour l'Exploitation des Océans, 65 p.
- Bloundi M., Faure P. & Duplay J. (2008). Organic contamination identification in sediments from a Mediterranean coastal ecosystem: The case of the Nador lagoon (Eastern Morocco). *Comptes Rendus Geosciences*, 340 : 840-849.
- Castaings J. (2012). *Étude du fonctionnement hydrosédimentaire d'un écosystème lagunaire sur des échelles de temps multiples*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 204 p.
- Castaings J., Dezileau L., Fiandrino A. & Verney R. (2011). Évolution morphologique récente d'un complexe lagunaire méditer-

- ranéen : le système des étangs palavasiens (France). *Paralia*, 7 : 7-24.
- Dezileau L. & Castaings J. (2014). Extreme storms during the last 500 years from lagoonal sedimentary archives in Languedoc (SE France). *Journal of the Mediterranean Geography*, 121 : 131-137.
- Heiri O., Lotter A.F. & Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediment: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25 : 101-110.
- Giorgi F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734.
- Lyell C. (1830-33). *The principles of geology*, vol. 1. Murray, London, 374 p.
- Moreno M., Audesse P., Giroux M., Frenette N. & Cescas M. (2001). Comparaison entre la détermination de la matière organique des sols par la méthode de Walkley-Black et la méthode de perte au feu. *Agrosol*, 12 : 49-58.
- Raynal O., Bouchette F., Certain R., Sabatier P., Lofi J., Seranne M., Dezileau L., Briquet L., Ferer P. & Courp T. (2010). Holocene evolution of a Languedocian lagoonal environment controlled by inherited coastal morphology. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 181 : 211-224.
- Rothwell R.G. (2006). *New techniques in Sediment Core Analysis*. Geological Society, London, Special Publications, 267 : 79-98.
- Sabatier P. (2006). *Reconstitution paléoclimatique des événements extrêmes (Crues et Tempêtes) dans le Golfe d'Aigues-Mortes à travers l'étude des archives sédimentaires prélevées dans les lagunes palavasiennes*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 48 p.
- Sabatier P., Dezileau L., Condomines M., Briquet L., Colin C., Bouchette F., Le Duff M. & Blanchemanche P. (2008). Reconstruction of paleostorm events in a coastal lagoon (Hérault, South of France). *Marine Geology*, 251 : 224-232.
- Sabatier P., Dezileau L., Blanchemanche P., Siani G., Condomines M., Bentaleb I. & Piquès, G. (2010). Holocene variations of radiocarbon reservoir ages in a Mediterranean lagoonal system. *Radiocarbon*, 52 : 91-102.
- Wentworth C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 5 : 377-392.

EVOLUTION DES SURFACES COTIERES DU LIDO DE FRONTIGNAN DEPUIS L'APRES-GUERRE : APPROCHE SPATIO-TEMPORELLE

Paul Coiffard ¹, Sacha Delmotte ², Baptiste Multon ³

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

¹ paul.coiffard@etu.umontpellier.fr, ² sacha.delmotte@etu.umontpellier.fr,

³ baptiste.multon@etu.umontpellier.fr,

Encadrement : Laure Paradis

Citation : Coiffard P., Delmotte S. & Multon B. (2018). Evolution des surfaces côtières du lido de Frontignan depuis l'après-guerre : Approche spatio-temporelle. *Orpalm Synthesis*, 11 (2) : 19-28.

Résumé : L'évolution des surfaces de plage, de Frontignan à la plage des Aresquiers est étudiée sur la base de l'analyse de photos aériennes, données bibliographiques et GPS. Une enquête menée auprès des collectivités territoriales a également été entreprise. Les résultats obtenus montrent l'impact des ouvrages de protection du front de mer sur la dynamique du littoral. Ils permettent un gain des plages sur la mer pouvant aller de 10 à 20 m selon les tronçons étudiés. Des études complémentaires sont nécessaires pour identifier clairement l'impact des tempêtes sur l'évolution du trait de côte.

Mots clés : dynamique, littoral, tempête, protection, aménagement.

Abstract: *Evolution of coastal surfaces of the beach barrier of Frontignan since the post world war period: Spatio-temporal approach.* The evolution of beach surfaces, from Frontignan to the Aresquiers beach is studied on the basis of the analysis of aerial photographs, literature and GPS data. A survey of local authorities was also undertaken. Results show the impact of seafront protection structures on coastal dynamics. They allow a gain of beaches on the sea from 10 to 20 m depending on the sections studied. Further studies are needed to clearly identify the impact of storms on shoreline evolution.

Key-words: dynamic, coastline, storm, protection, landscaping

La côte française du Golfe du Lion est une plaine côtière de basse altitude fortement urbanisée qui ne tient pas compte de l'impact des événements extrêmes, ce qui se traduit par une augmentation de la vulnérabilité côtière et des dommages aux installations portuaires et aux infrastructures touristiques côtières et urbaines (De la Torre et al., 2013). Il y a 4500 ans, plus de 100 petits villages étaient présents dans la région

de Palavas, où les sociétés étaient riches et dynamiques. L'agriculture et les activités pastorales ont connu un essor de l'Âge du Bronze à l'Âge du Fer sur les rives méridionales de la Méditerranée. La zone côtière autour de Palavas devient une importante zone commerciale de la région, ce qui pourrait être une des causes du développement de la ville de Lattara, actuellement appelée Lattes, se trouvant alors près des rives de la lagune au cours de

l'Âge du Fer, vers 2500 cal. BP. Pendant l'Antiquité, une diminution du nombre de petits villages est observée, probablement en lien avec un mécanisme d'exode rural vers Lattara. Du 11^e au 13^e siècle, 128 villages fortifiés apparaissent dans la région, dont au moins 8 d'entre eux dans le bassin versant de la lagune palavasienne. Un accroissement des activités agricoles est également observé durant cette période (Azuara et al., 2015). La zone étudiée a été fortement urbanisée depuis les années 1970. Le développement de l'agglomération de Montpellier et des stations balnéaires adjacentes en est la principale cause. De manière générale, une réduction des surfaces lagunaires à un rythme de 4,8 hectares/an est observée. Depuis les années 1965, la vitesse de ce rétrécissement est doublée, sous l'influence de l'urbanisation et des activités balnéaires (Castaings et al., 2011).

La montée du niveau marin a un impact direct sur la dynamique des barrières sableuses constituant le trait de côte. Cela peut avoir une influence plus ou moins forte sur l'environnement et les activités humaines (Brunel et al., 2014). Il y a 7500 ans, dans le Golfe du Lion, la barrière sableuse était localisée 1 km au large de sa position actuelle. L'avancée de la mer sur les terres se serait opérée jusqu'il y a 1800 ans (Raynal et al., 2010). Cette zone est depuis 6500 ans dotée d'un système lagunaire protégé derrière des barrières sableuses. Au cours des 40 dernières années, le système lagunaire palavasien a eu tendance à se combler lentement au rythme moyen de 1,3 mm/an. Sa fragmentation est due à des dynamiques naturelles, mais également à des aménagements faits par l'Homme, tels que la canalisation du Lez ou la mise en place du canal de navigation du Rhône à Sète (Castaings et al., 2011).

Aucune tempête majeure n'a été enregistrée ces 100 dernières années, ce qui a conduit l'espèce humaine à s'établir et à construire dans des zones d'inondation possible. Des stations balnéaires ont donc été construites sur des crêtes de dunes à basse altitude (Anselme et al., 2011). La population de ces

zones étant multipliée par 10 depuis 1700, avec une hausse particulièrement importante depuis 1970, de lourdes conséquences socio-économiques peuvent être envisagées si une tempête de forte ampleur avait lieu. Celle de 1982 a notamment causé la mort de 15 personnes et a coûté plus de 400 millions d'euros (Raynal et al., 2010).

Les épisodes de tempête causent le franchissement du lido par la mer, ce qui conduit généralement à son érosion (Lamy et al., 2010). À l'heure actuelle, un déplacement vers l'intérieur de la barrière sableuse est observable (Raynal et al., 2010). Dans la zone étudiée, les données indiquent clairement que l'érosion domine au cours des 25 dernières années. Cette dynamique devrait se poursuivre à l'avenir en raison de la diminution des apports sédimentaires et des actions d'extraction des sables par l'Homme (Brunel et al., 2014). La submersion d'une côte à lido peut causer des dommages aux infrastructures et aux biens situés en arrière du cordon dunaire, lorsque cette zone est urbanisée ou quand un canal de transport maritime, comme celui du Rhône à Sète, représente un enjeu économique fort à proximité du trait de côte (Lamy et al., 2010). Bien que les réglementations tiennent compte des risques d'inondation côtière, les efforts faits pour l'aménagement du territoire restent insuffisants (Anselme et al., 2011), d'autant plus que la communauté scientifique s'accorde à dire qu'avec la hausse croissante des températures moyennes mondiales, des événements d'inondation, de sécheresse et des vagues de chaleur plus intenses et fréquentes sont à attendre à l'avenir.

L'évolution de la surface de plage au cours du siècle dernier peut donc être perçue comme un objet d'étude porteur d'enjeux socio-économiques et environnementaux essentiels pour le devenir des écosystèmes côtiers. Dans cette démarche, la question de l'évolution de la dynamique du littoral, en fonction des aménagements mis en place est l'axe ayant principalement guidé les travaux présentés dans cet article. Nous nous

sommes questionnés sur l'impact qu'ont eu les aménagements côtiers sur l'évolution de la surface de plages de Frontignan à Vic-la-Gardiole.

MATERIEL ET METHODES

1- Travail de terrain

Le terrain a été réalisé les 24 et 25 janvier 2018. Nous avons utilisé des terminaux GPS mobiles Juno SB Trimble, d'une précision de localisation avec correction différentielle en temps réel d'environ 2 m, équipés du logiciel de cartographie ArcPad, un éditeur ESRI. L'application de sciences participatives « *Rivages* », créée par le

Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) sur smartphone Android a également été employée pour relever le trait de côte et les limites de végétation. Les données ont été récoltées à pied, le long de ces limites, par géo-positionnement automatisé, à raison de cinq points par seconde, dans la zone du lido de l'étang d'Ingril, de Frontignan à la plage des Aresquiers (Figs. 1 et 2). Le long de ce transect, les ouvrages de défense contre la mer, majoritairement des épis rocheux, ont été référencés manuellement à l'aide des GPS.



Figure 1. Localisation et contexte géographique du site d'étude

2- Traitement des données

Pour évaluer l'évolution du trait de côte, des données cartographiques ont été téléchargées depuis la base de données de l'IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière), par l'outil « *Remonter le temps* ». Des images aériennes espacées les unes des autres de 10 ans ont été choisies. En parallèle, l'étude bibliographique a mis en évidence différents événements de tempêtes ayant eu lieu durant

le dernier siècle. Ainsi, des photographies aériennes prises avant et après les tempêtes ont également été étudiées (Table 1).

Le géoréférencement des photographies aériennes a été effectué à l'aide du logiciel libre QGis. A partir d'images orthorectifiées de 2015 de l'IGN, la définition de points de calage a permis un géoréférencement optimal, avec des erreurs RMS inférieures à 10, valeur établie comme la limite minimale de précision. La numérisation du trait de côte, correspondant

à la limite entre sable sec et sable mouillé, des lignes de végétation, représentant les limites entre végétation et plage, à l'échelle 1:1000, a permis la création de données concernant l'évolution des surfaces au cours de l'intervalle de temps étudié. Elles ont

ensuite été assemblées en polygones définis en tronçons, afin de quantifier leurs surfaces. Ils ont été élaborés en fonction de la mise en place dans le temps des ouvrages de protection du front de mer, tels que les épis.

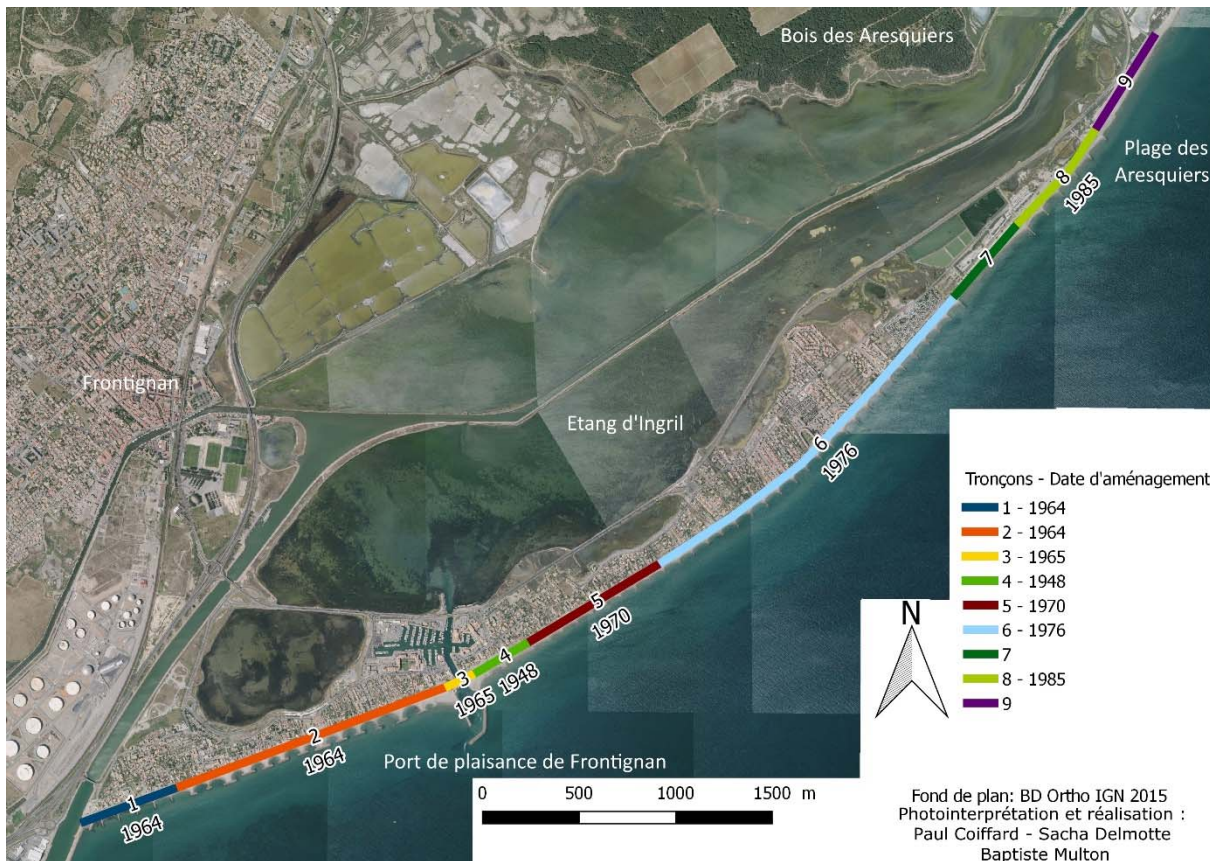


Figure 2. Situation et répartition des tronçons étudiés et année des aménagements d'ouvrage de défense par tronçon

3- Enquête

Une enquête menée auprès des collectivités territoriales en lien avec la zone d'étude a permis le recueil d'informations concernant les actions de renflouement des plages en sable, essentielles à l'interprétation des données recueillies. Une demande a été effectuée auprès de Mme Briffaud, du service des archives de la ville de Frontignan et d'élus locaux en charge des activités balnéaires et portuaires, tels que M. Arnal et son secrétariat, afin de reconstituer l'historique des actions de réensablement effectuées par l'Homme, de 1953 à 2018.

RESULTATS

1- Données de terrain

La Figure 2 référence la zone d'étude et sa compartimentation, définies en fonction de la mise en place des ouvrages de défense du front de mer, dans l'espace et le temps. L'objectif de cette compartimentation est d'étudier l'impact des ouvrages de protection avec un maximum d'exactitude. Les nombres correspondent au numéro du tronçon, et les dates, à l'année où les ouvrages de défense à la mer ont été mis en place sur le même tronçon.

Table 1. Répartition temporelle des photos aériennes utilisées, tempêtes, construction d'ouvrages de protection et dragages.

Photographies aériennes avant tempête	Tempête	Photographies aériennes après tempête	Année	Ouvrage de protection – Nombre d'épis construit	Dragages
			1948	Frontignan Plage – 3	
			1954		
			1963		
			1964	Frontignan Plage – 21	
			1968		
			1970	Frontignan Plage – 9	
			1971		
			1976	Mas des Deux Rives – 17	
			1977	Mas des Deux Rives – 1	
			1978	Mas des Deux Rives – 5	
			1981		
			1982		
			1985	Aresquiers – 6	
			1986		
			1987		
			1989		
			1994		
			1996		
			1997		
			1999		
			2001		
			2003		
			2005		
			2008		
			2009		
			2010		
			2011		
			2013		
			2014		
			2015		
			2017		

La **Figure 3** présente l'évolution des surfaces de plages au cours du temps, pour chaque tronçon. Le pourcentage de gain ou de perte de surface de plages par rapport à l'année précédente y est également représenté. Cet histogramme cumulé permet une vision générale et précise de la part de chaque tronçon dans la surface totale de la zone d'étude, au cours des 64 dernières années. Un changement d'attitude de l'évolution des surfaces de plage s'effectue entre 1981 et 1989, où un gain d'environ 10 ha de surface

totale est observé. Le tronçon n°2 est caractérisé par la hausse la plus importante, avec des valeurs allant d'environ 2,5 à 8 ha, entre 1968 et 2001. Le tronçon n°3 est l'embouchure du port de plaisance de Frontignan sur la mer. Les surfaces calculées pour ce tronçon n'ont aucune pertinence dans l'étude, puisque ce milieu ne comporte pas de réelle zone de plage. Ainsi, les surfaces ne sont pas représentées sur les **Figures 3 et 4**. D'un point de vue général, l'ensemble des tronçons semblent

avoir une surface qui augmente au fil des années, à l'exception des segments n°7 et 9,

qui semblent eux avoir une surface constante ou décroissante.

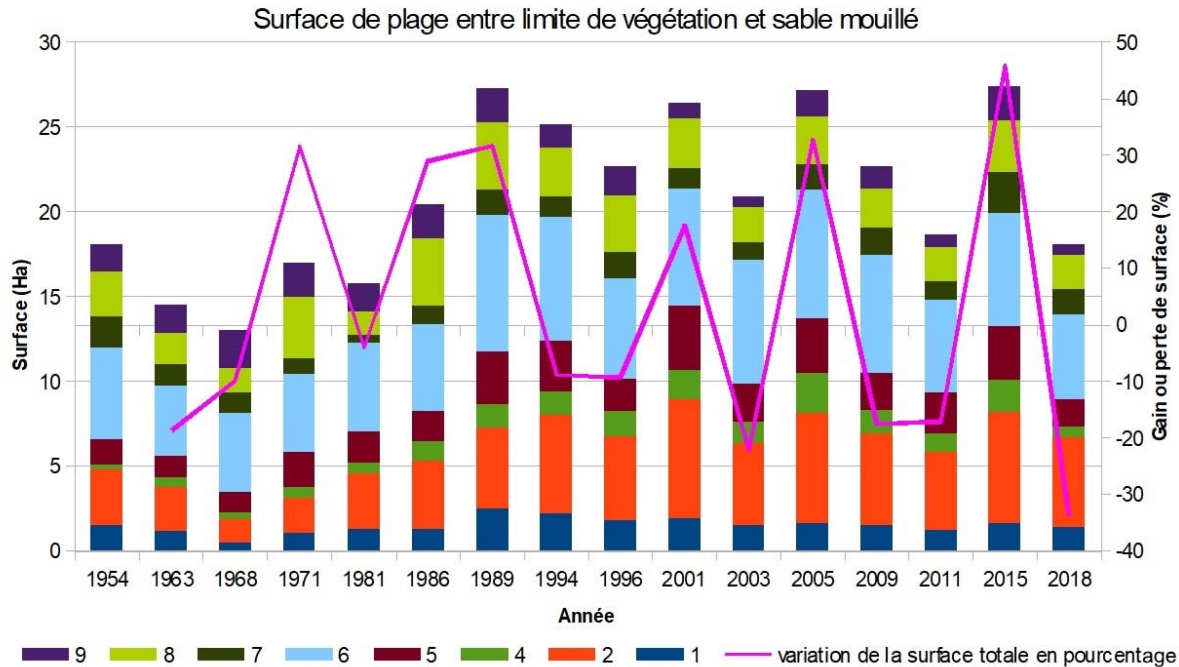


Figure 3. Evolution des surfaces de plage (en ha) par tronçons entre limite de végétation et sable mouillé

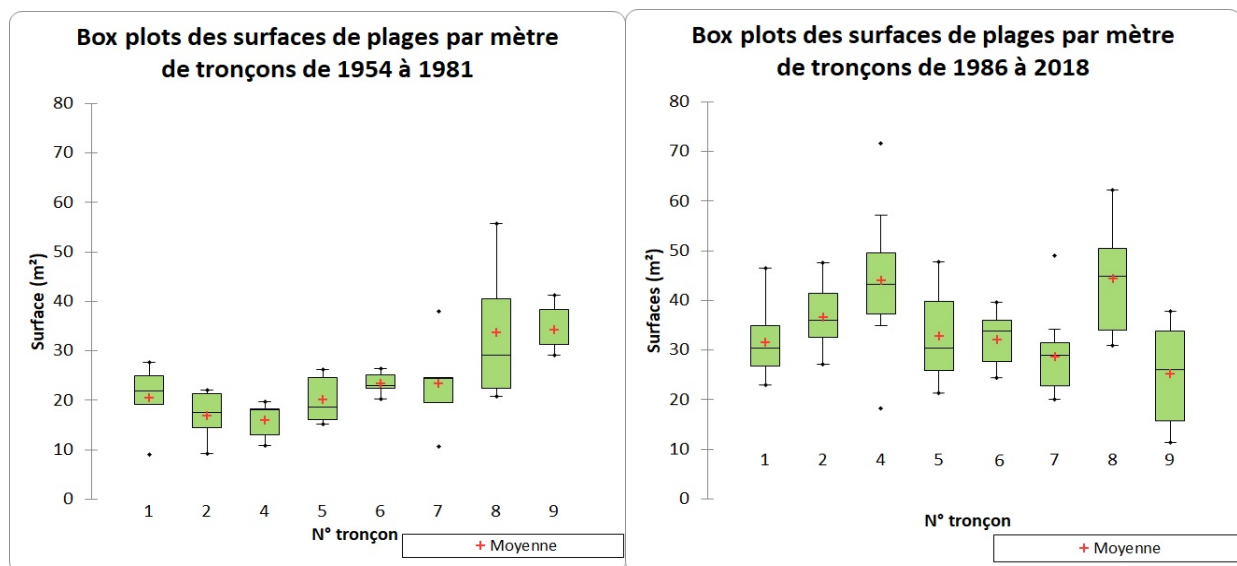


Figure 4. Surfaces de plage (m^2), pour chaque tronçon.
a) A gauche : de 1954 à 1981 ; b) à droite : de 1986 à 2018

Les **Figures 4a** et **4b** illustrent les différentes surfaces de plages par m de tronçon, au cours du temps, sous forme de boîtes à moustaches. La **Figure 4a** couvre la période où les travaux d'aménagements d'ouvrages de défense ont eu lieu, de 1954 à 1981. La **Figure 4b** présente la période postérieure à ces aménagements, depuis 1986. Les données présentées ont été calculées par la formule :

$$\frac{\text{Surface tronçon}}{\text{Longueur tronçon}} = \text{Surface par mètre de tronçon}$$

Cette illustration des données permet la comparaison de l'évolution de la surface de plage pour chaque tronçon, standardisée par leurs largeurs totales. Les effectifs sont $n_a=5$ et $n_b=11$, respectivement pour les **Figures 4a** et **4b**. On observe à la fois des valeurs moyennes et médianes plus élevées, ainsi qu'une dispersion plus importante, pour les données présentées en **Figure 4b**. La tendance générale de l'évolution des surfaces est à la hausse, excepté pour les tronçons n°7 et 9, pouvant aller jusqu'à un minimum de 10 m²/m de longueur de plage, ce qui correspond à des largeurs de mêmes valeurs.

2- Enquête

L'enquête menée auprès des collectivités territoriales a permis le recueil d'informations concernant les actions de réensablement par l'homme dans la zone d'étude. Les dragages annuels du port de Frontignan renflouent les plages adjacentes. D'importants rechargements ont eu lieu lors d'actions d'aménagement du littoral, au niveau de la plage des Aresquiers, il y a deux ans. Un nouveau projet de réensablement, prévu pour 2020, est actuellement en cours d'élaboration.

DISCUSSION

1- Limites de l'étude

Des biais sont à l'origine d'approximations dans la conception de données et leurs

interprétations. Le premier est constitué par la faible précision des modules GPS intégrés aux smartphones utilisés sur le terrain via l'application « *Rivages* ». Les données récoltées grâce à cette application sont peu précises et les résultats en découlant, approximatifs. Les données GPS ont été préférentiellement utilisées, afin de limiter ce biais. Aussi, des dysfonctionnements lors de la récolte des données des terminaux GPS ont entraîné la perte irréversible du tracé de certaines portions du trait de côte. Ces données ont été estimées par la suite sur le logiciel QGis, entraînant une autre cause de perte de précision.

Certaines zones ayant subi des changements paysagers importants, le géoréférencement a été rendu difficile pour certaines images, en particulier pour les plus anciennes, de faible résolution. Ces légères erreurs de géoréférencement constituent un biais supplémentaire à l'estimation des surfaces de plages mesurées. La numérisation a été réalisée par plusieurs personnes et les critères utilisés, par exemple la limite du sable mouillé, sont légèrement variables d'un individu à l'autre. L'hétérogénéité des effectifs illustrés par les boîtes à moustaches (**Fig. 4a**, $n=5$; **Fig. 4b**, $n=11$) constitue une source d'erreur à la comparaison nécessaire à l'analyse de la **Figure 4**. Ces biais rendent l'interprétation des données plus délicate. Cependant, elles restent d'une précision satisfaisant une interprétation claire des données.

2- Evolution des surfaces de plage

Les ouvrages de protection du front de mer ont été installés de 1948 à 1985. Les surfaces de plages sont nettement inférieures avant 1985 qu'après cette date, avec des différences d'environ 10 ha sur la totalité de la zone étudiée. La surface de plage est donc clairement influencée par les aménagements mis en place (**Fig. 3**). De manière générale, les plages étudiées sont impactées favorablement par la construction des épis rocheux, avec des hausses de surface moyenne par mètre de tronçon pouvant aller

d'environ 10 à 20 m², ce qui correspond à un gain de terres sur la mer de 10 à 20 m de largeur de plage. Les aménagements portuaires du tronçon n°3 pourraient également impacter favorablement l'épaississement des plages adjacentes, qui se sont, de fait, élargies d'environ 20 m à la suite des aménagements. L'effet de barrière aux courants que constitue la digue du port pourrait en effet être similaire à celui d'un épi rocheux. Le tronçon n°2 a été aménagé en 1964 et il est clairement visible sur la **Figure 3** que sa surface a considérablement augmenté. En effet, pendant les 30 ans qui suivirent l'aménagement de ce tronçon, la surface de cette portion a été multipliée par cinq. Ce tronçon est l'exemple le plus parlant de l'influence positive des aménagements d'ouvrages de défense à la mer sur la surface de plage. Une stagnation de la surface du tronçon n°7 et une régression de celle du n°9 est observée. En effet, ces zones encore aujourd'hui démunies d'épis illustrent l'impact flagrant de l'absence de protection sur les surfaces de plage (**Figs. 4a et 4b**). La totalité d'un parking à proximité des plages s'est fait ensevelir par le sable au cours de ces dernières années, sous l'effet de phénomènes d'érosion.

Des variations de surfaces, de plus faible ampleur, sont également mises en évidence. À la suite des aménagements, elles mettent environ 5 à 10 ans pour revenir à leur état initial. Il est donc possible d'observer une forme de cyclicité dans la variation des surfaces de plage, de plus ou moins 40% tous les 5 ans (**Fig. 3**). Ce phénomène pourrait être en lien avec des actions de réensablement des plages par l'Homme. L'hypothèse de la restauration active est donc envisagée. À défaut d'information supplémentaire à ce sujet, il est impossible d'évaluer l'impact actif de l'homme sur l'évolution du trait de côte sur les 64 dernières années. Il est donc tout autant impossible d'en estimer sa dynamique naturelle. Les résultats de l'enquête d'archive en cours devraient donc permettre

une interprétation plus fine des résultats obtenus.

3- Influence des tempêtes

Aucune relation directe entre tempêtes et surface de plage n'a pu être observée. L'hypothèse était que les événements de tempêtes impactent négativement l'évolution du trait de côte, mais il est impossible de pouvoir identifier une tendance générale de l'impact des tempêtes sur la surface des plages. Il pourrait cependant être intéressant d'analyser des images aériennes à des pas de temps plus fins, à l'échelle des mois, afin de distinguer la dynamique du trait de côte en présence et en absence de tempête et en fonction des saisons. Ceci permettrait de différencier l'impact des tempêtes, très ponctuel, de celui des épis rocheux, qui est observable durant les décennies suivant les aménagements.

Les ouvrages de protection du front de mer permettent donc de conserver des surfaces de plage satisfaisant les activités de tourisme balnéaire, tout en préservant les installations urbaines construites anormalement près du rivage, tels que certaines habitations. Cependant, si une tempête de forte ampleur venait à avoir lieu, les infrastructures construites sur le lido pourraient être submergées et endommagées. Les aménagements de front de mer ainsi que les plages constituent donc une zone tampon de l'impact des flux marins sur la dynamique du système sédimentaire côtier. Ces derniers nécessitent d'être entretenus pour être efficaces. Cela induit notamment une perte de la conscience des risques encourus, de plus en plus importante sur ces zones instables et sujettes aux inondations, où l'Homme est amené à s'établir. La construction de surfaces goudronnées et bétonnées constitue également un facteur pouvant amplifier l'impact d'événements de submersion du lido par l'imperméabilité de ces matériaux, favorisant ainsi le ruissellement et les dommages aux installations côtières.

Le progrès technologique permet à l'Homme de transformer les territoires afin de lui permettre de s'établir au plus près du front de mer, dans des zones à risques. Cependant, la maîtrise de la côte est un phénomène récent dans l'histoire humaine. Notre espèce n'a pas le recul historique permettant de tirer leçons et expériences de l'impact d'une telle promiscuité entre urbanisation et littoral. Pour peu que ces mécanismes échappent au contrôle de l'Homme, d'importants dommages sociétaux, culturels, économiques et touristiques sont à attendre.

CONCLUSION

Le littoral, de Frontignan à la plage des Aresquiers, est un secteur sensible où les enjeux sont multiples. Cette zone de tourisme balnéaire dense en habitations, est le siège de nombreuses activités économiques, notamment en lien avec le passage du canal du Rhône à Sète. Sous l'influence de ces enjeux forts, les politiques de gestion du littoral ont mis en place des ouvrages de protection du front de mer, principalement sous la forme d'épis rocheux. Sur le littoral frontignanais, ces ouvrages ont été progressivement déployés au cours de la seconde moitié du 20^e siècle. L'étude de photographies aériennes réparties sur les 64 dernières années a permis de générer des données essentielles à la compréhension de la dynamique du littoral et de ses moteurs.

De manière générale, les plages étudiées sont impactées positivement par la construction des épis. Il est clairement montré que les aménagements côtiers permettent l'élargissement des plages. Des variations de surface, de plus faible ampleur, sont également mises en évidence. Ce phénomène pourrait être en lien avec des actions de réensablement. Les informations récoltées sur la restauration active n'ont pas permis d'établir une estimation précise de l'impact qu'a l'Homme sur les surfaces de plage, en lien avec l'action des tempêtes sur l'évolution du trait de côte. En l'absence

d'information complémentaire concernant le réensablement, l'estimation de la dynamique naturelle de la zone d'étude est impossible. Des études complémentaires sont nécessaires pour démontrer clairement la relation entre l'érosion et la submersion par les tempêtes, et les actions de préservation et de restauration du littoral. L'étude d'archives historiques retraçant les différents événements d'aménagement de la zone d'intérêt est essentielle pour évaluer l'impact de l'Homme sur le front de mer. L'analyse de photographies aériennes moins espacées dans le temps permettra une mise en évidence plus précise de l'action des tempêtes sur les surfaces de plage et l'évolution du trait de côte.

Les aménagements du littoral les plus récents mettent l'accent sur les services écosystémiques pouvant être apportés par les espèces végétales de la zone d'étude. Dans ce but, des ganivelles ont été installées sur les espaces dunaires afin d'y préserver les populations de plantes diminuant l'impact de l'érosion sur cette zone. Des actions de médiation et d'éducation à l'environnement ont notamment permis l'installation de panneaux descriptifs de la faune et de la flore locale afin de conscientiser les populations côtoyant les lieux. Des alternatives au réensablement des plages et à la création d'ouvrages de défense pourraient donc exister. Les solutions incluant la préservation de la biodiversité locale peuvent induire la mise en place de plans de gestion et de valorisation des écosystèmes d'intérêt. Il est également possible de se questionner sur l'impact qu'ont les aménagements côtiers au cours du temps sur cette biodiversité. Les pratiques de gestion du littoral employées peuvent donc constituer une source d'activité socio-économique supplémentaire. Par exemple, l'éco-tourisme mis en place autour de la biodiversité locale peut constituer un élément d'attractivité touristique et donc une source d'externalité économique, venant rentabiliser les aménagements de protection du littoral ayant permis son développement.

REFERENCES

- Anselme B., Durand P., Thomas Y. F. & Nicolae-Lerma A. (2011). Storm extreme levels and coastal flood hazards: A parametric approach on the French coast of Languedoc (district of Leucate). *Comptes Rendus Geoscience*, 343 : 677-690.
- Azuara J., Combourieu-Nebout N., Lebreton V., Mazier F., Muller S.D. & Dezileau L. (2015). Late Holocene vegetation changes in relation with climate fluctuations and human activity in Languedoc (southern France). *Climate of the Past*, 11 : 1769-1784.
- Brunel C., Certain R., Sabatier F., Robin N., Barusseau J.-P., Aleman N. & Raynal O. (2014). 20th century sediment budget trends on the Western Gulf of Lions shoreface (France): An application of an integrated method for the study of sediment coastal reservoirs. *Geomorphology*, 204 : 625-637.
- Castaigns J., Dezileau L., Fiandrino A. & Verney R. (2011). Evolution morphologique récente d'un complexe lagunaire méditerranéen: le système des étangs Palavasiens (France). *Revue Palalia*, 4 : 7.1-7.12.
- Coutos M. & Hacques F. (2016). *Operation de protection et mise en valeur du lido de Frontignan* (vol. 33). Artelia Eau & Environnement Branche Maritime, Bordeaux, pp. 173-180.
- De la Torre Y., Balouin Y., Heurtefeux H., Lanzellotti P. & Guérinel B. (2013). The « storm network » as a participative network for monitoring the impacts of coastal storms along the littoral zone of the Gulf of Lions, France. *Journal of Coastal Research*, 65 : 927-932.
- Lamy E., Lassabatere L., Bechet B. & Andrieu H. (2010). Flow and colloidal transfer in a dual porosity medium. *La Houille Blanche* : 86-92.
- Raynal O., Bouchette F., Certain R., Sabatier P., Lofi J., Seranne M., Dezileau L., Briquieu L., Ferrer P. & Courp T. (2010). Holocene evolution of a languedocian lagoonal environment controlled by inherited coastal morphology (northern Gulf of lions, france). *Bulletin de La Societe Geologique de France*, 181 : 211-224.
- Raynal O., Certain R. & Guérinel B. (2011). *Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon. Les pratiques de gestion des sédiments dans le Languedoc-Roussillon*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, Université de Perpignan Via Domitia, 49 p.
- Sabatier P., Dezileau L., Blanchemanche P., Siani G., Condomines M., Bentaleb I. & Piquès G. (2010). Holocene variations of radiocarbon reservoir ages in a Mediterranean lagoonal system. *Radiocarbon*, 52 : 91-102.
- Sabatier P. & Dezileau L. (2010). Archives sédimentaires dans les lagunes du golfe d'aigues-mortes: Estimation de l'aléa de tempête depuis 2000 ans. *Quaternaire*, 21 : 5-11.
- Sabatier P., Dezileau L., Barbier M., Raynal O., Lofi J., Briquieu L., Condomines M., Bouchette F., Certain R., Van Grafenstein U., Jorda C. & Blanchemanche P. (2010). Late-Holocene evolution of a coastal lagoon in the Gulf of Lions (South of France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 181 : 27-36.
- Sabatier P., Dezileau L., Colin C., Briquieu L., Bouchette F., Martinez P., Siani G., Raynal O. & Grafenstein U. (2012). 7000 years of paleostorm activity in the NW Mediterranean Sea in response to Holocene climate events. *Quaternary Research*, 77 : 1-11.

RELATION POLLEN-VEGETATION ET ENREGISTREMENT POLLINIQUE DES DERNIERS SIECLES DANS UNE LAGUNE DU GOLFE DU LION (ETANG DE VIC, HERAULT)

Colline Bonnet ¹, Hugo Daillan ², Montan Gautier ³

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

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

¹ colline.bonnet@etu.umontpellier.fr, ² hugo.daillan@etu.umontpellier.fr,

³ montan.gautier@etu.umontpellier.fr

Encadrant : Serge Muller

Citation : Bonnet C., Daillan H. & Gautier M. (2018). Relation pollen-végétation et enregistrement pollinique des derniers siècles dans une lagune du Golfe du Lion (Etang de Vic, Hérault). *Orpalm Synthesis*, 11 (2) : 29-46.

Résumé : Des analyses polliniques ont été réalisées sur des sédiments de surface et une carotte courte prélevée dans une lagune du littoral languedocien. Les spectres de surface ont été comparés à des relevés de végétation. Les résultats indiquent que les taxons les plus abondants dans la végétation sont bien enregistrés dans les sédiments de surface. Les lagunes apparaissent donc comme de bons enregistreurs de la végétation environnante. On retrouve notamment des taxons marqueurs de l'anthropisation, qui témoignent d'une forte influence des activités humaines. Les spectres fossiles attestent que l'environnement a peu changé au cours des dernières décennies.

Mots clés : transect, palynologie, paléoenvironnement, dispersion, phytosociologie.

Abstract: *Pollen-vegetation relationships and pollen record of the last centuries in a lagoon of Gulf of Lion (Etang de Vic, Hérault)*. Pollen analyses were conducted on sediments taken in surface and in a short core in a lagoon of the Languedocian coast. Modern pollen spectra were compared to vegetation relevés. Results indicate that the most abundant taxa in vegetation are well recorded in surface sediments. We notably find anthropisation indicators, attesting the strong influence of human activities. Fossil spectra show that the environment did not change for the last decades.

Keywords : transect, palynology, palaeoenvironment, dispersion, phytosociology.

Les lagunes, très nombreuses en Méditerranée, constituent une interface entre les milieux terrestres et marins (Corre, 1982, 1985). Ces écosystèmes aquatiques, en général peu profonds, sont en contact avec la mer via d'étroits canaux (Guillard & Salvetti, 2013). Soumises aux fortes variations de la salinité, de la profondeur en eau, de la température et de l'oxygène, les lagunes offrent des conditions de vie singulières, garantes d'une grande diversité biologique (Bonnet *et al.*,

2005). En raison de ces fluctuations, les lagunes sont des milieux instables et relativement éphémères sur l'échelle des temps géologique (Castaings, 2012). Leur formation et leur évolution sont particulièrement dépendantes des variations du niveau de la mer, de l'influence des activités anthropiques et des apports sédimentaires d'origines diverses. A terme, cela peut entraîner leur comblement, leur érosion, voire leur submersion par la mer (Castaings *et al.*, 2011).

Au même titre que les marais et les tourbières, les lagunes font partie des zones dites humides et représentent des terrains de prédilection en ce qui concerne l'étude des paléoenvironnements. Il s'agit de zones accumulatrices d'archives sédimentaires que mettent à profit de nombreux domaines scientifiques (Barral *et al.*, 2016). Ces recueils de sédiments enregistrent notamment le vecteur des gamètes mâles des végétaux, le pollen (Lézine, 2008). Ces structures microscopiques présentent une morphologie spécifique permettant leur identification, ainsi qu'une grande résistance assurant leur conservation (Bui & Girard, 2010). Les grains de pollen se conservent particulièrement bien au sein des zones humides, caractérisées par des conditions anoxiques et parfois acides (Müller, 2005). La palynologie est donc un outil de reconstitution des paléoenvironnements fréquemment utilisé dans l'étude des modifications climatiques et environnementales (Lézine, 2008). Cette discipline s'articule autour de la relation plus ou moins fidèle entre la pluie pollinique déposée et la végétation. C'est l'un des fondements de l'interprétation des enregistrements polliniques anciens (Reille, 1990).

Notre étude, réalisée dans le cadre d'ORPAL 2018, a pour buts : (1) d'analyser l'enregistrement pollinique de la végétation de la plaine littorale de la région de Vic-la-Gardiole, au sud de Montpellier, et (2) d'appliquer ces résultats à l'interprétation d'assemblages polliniques fossiles prélevés dans une lagune. La lagune étudiée est l'étang des Moures (inclus dans l'étang de Vic).

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

La zone d'étude se situe au nord du Golfe du Lion, dans le Golfe d'Aigues-Mortes. Le complexe des étangs palavasiens rassemble un chapelet de huit étangs principaux qui s'étend sur plus de 25 km le long des côtes héraultaises. Les prélèvements sédimentaires ont été effectués dans l'étang de Vic, situé à 12 km au sud-ouest de Montpellier et à 14 km à l'est de Sète. Cet étang présente une

superficie d'environ 1 340 ha et une profondeur moyenne de 95 cm (Castaings, 2012). L'étang principal de Vic se prolonge par l'étang secondaire des Moures, en continuité avec l'étang de l'Arnel (Verger, 2009). Cette zone littorale a fait l'objet d'études de la végétation (Corre, 1975 ; Molina, 1996) et d'analyses palynologiques (Planchais, 1978 ; Ajenjo, 2004 ; Muller *et al.* 2008 ; Court-Picon *et al.*, 2010).

Le complexe lagunaire des étangs palavasiens comprend plusieurs zones protégées, bénéficiant des statuts de Réserve Naturelle Nationale, Natura 2000, Ramsar, Site Inscrit et Site Classé, et appartenant pour partie au Conservatoire du Littoral (SIEL, 2007). Ce complexe est passé d'une seule et même lagune au 17^e siècle à un paysage fragmenté sous l'influence des nombreux aménagements et de l'ouverture au tourisme de masse (Ifremer, 2013). Comme tous les étangs palavasiens (à l'exception de l'étang de l'Or), l'étang de Vic est traversé par le canal du Rhône à Sète (18^e siècle). Cet étang de seconde ligne est dépourvu de communication directe avec la mer, ce qui lui vaut de contenir une eau moins salée que les étangs voisins. Le complexe est alimenté par un bassin versant d'environ 600 km² comprenant le Lez, la Mosson, ainsi que le massif de la Gardiole et ses résurgences karstiques (Ifremer, 2013). L'étang de Vic quant à lui est principalement alimenté par le bassin versant de la Gardiole, avec des apports mineurs du bassin Lez-Mosson. Les lagunes du complexe palavasien se sont formées à l'Holocène, sous l'action de la remontée du niveau marin et de l'hydrodynamisme littoral (Raynal *et al.*, 2010). Ces lagunes subissent désormais une accumulation de sédiments (Barusseau *et al.*, 1992), dont les apports sont d'origine marine, terrestre et biologique (Castaings, 2008).

2- Travail de terrain

Prélèvements sédimentaires. Les prélèvements sédimentaires ont été réalisés le 24 janvier 2018, sur un transect SE-NO dans l'étang des Moures. 4 carottes ont été prélevées à l'aide d'un carottier manuel Kajak-Brinkhurst, à bord d'un zodiac : VIC

2018-1, 2, 3 et 4 (Annexe 1).

Relevés floristiques. 12 relevés de végétation (Annexe 1) ont été effectués autour de l'étang des Moures, depuis le littoral jusqu'à la colline de la Gardiole. Les relevés floristiques respectent la méthode phytosociologique de [Braun-Blanquet \(1932\)](#). Cette dernière considère l'association des espèces végétales comme le meilleur indicateur des facteurs écologiques (climatiques, édaphiques, biotiques et anthropiques) responsables de la répartition végétale ([Meddour, 2011](#)). Pour chaque milieu étudié, l'aire minimale est établie par accroissement de la surface du relevé jusqu'à ce que la richesse spécifique soit stable. Chaque espèce (déterminée à

l'aide de flores, [Tison et al, 2014](#) ; [Tison & De Foucault, 2014](#)) est caractérisée par un indice d'abondance-dominance (+, individus rares ; 1, 0-5% ; 2, 5-25% ; 3, 25-50% ; 4, 50-75% et 5, 75-100%). Ces relevés permettent de connaître la composition et la répartition de la végétation autour de l'étang, et notamment d'identifier la végétation locale (<20 m), extra-locale (20-100m) et régionale (>100 m) ([Jacobson & Bradshaw, 1981](#)).

13 relevés floristiques, réalisés en février 2016 selon la même méthode, ont été ajoutés aux relevés de végétation ([Escudie & Inghilleri, 2016](#); [Fig. 1](#)).

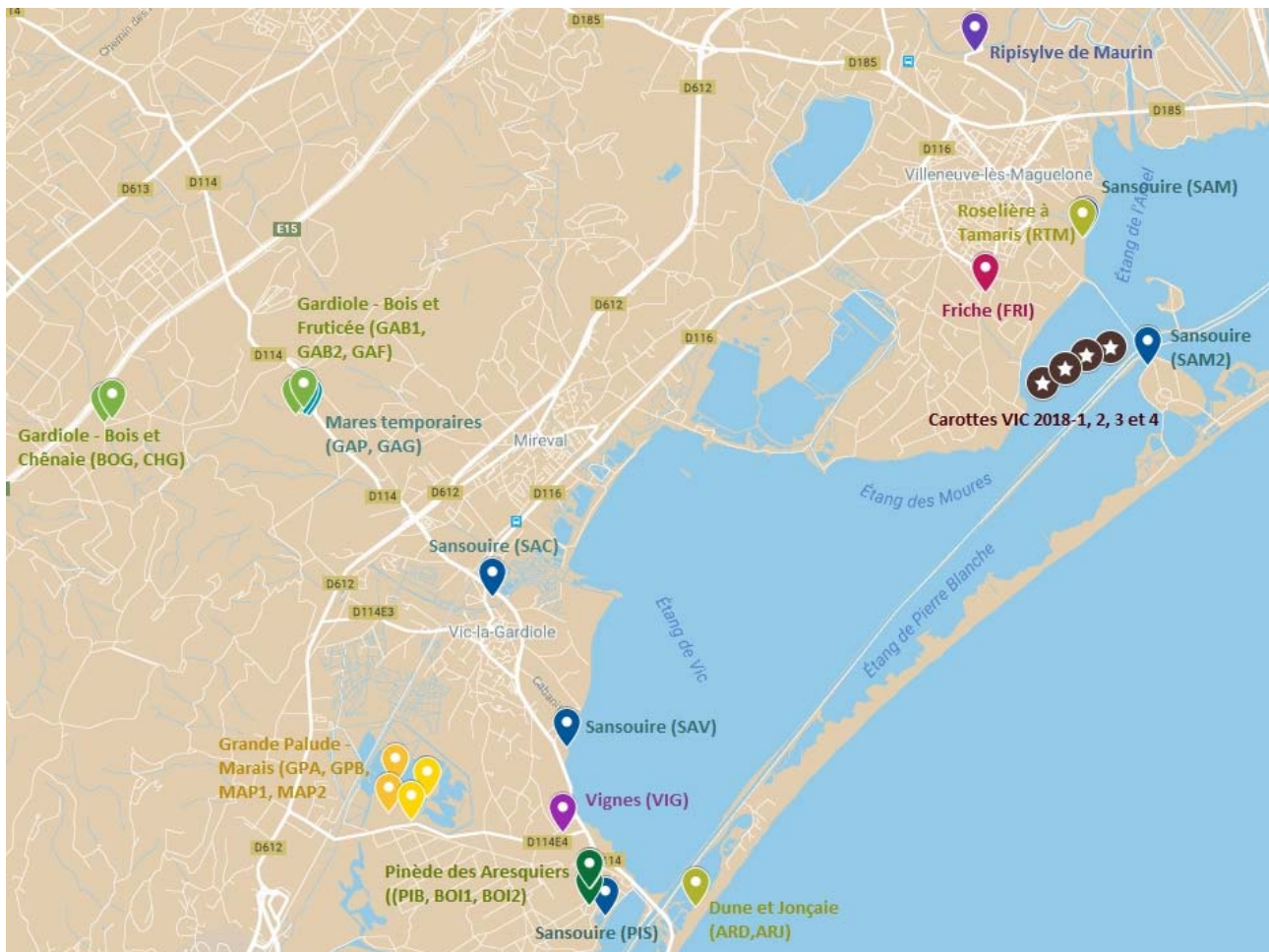


Figure 1. Localisation des relevés phytosociologiques, des carottages et prélèvements sédimentaires de surface utilisés pour l'étude palynologique.

3- Travail de laboratoire

Échantillonnage des carottes

Un échantillon de surface (0-1 cm) est prélevé sur chacune des 4 carottes, ceci nous mène à l'analyse de 4 échantillons : VIC 2018-1 SURF, VIC 2018-2 SURF, VIC 2018-3 SURF et VIC 2018-4 SURF. En outre, la carotte VIC 2018-2, plus profonde que les autres, a fait l'objet de prélèvements de sédiments fossiles (18-19, 36-37, 55-54 et 68-69 cm).

Traitement chimique

L'extraction du pollen a respecté le protocole de [Berglund & Ralska-Jasiewiczova \(1986\)](#): bain d'acide chlorhydrique pour éliminer les carbonates, d'acide sulfurique pour la matière organique et d'acide fluorhydrique pour la silice. Le culot obtenu est dilué dans de la glycérine avant le montage entre lame et lamelle. Les lames ont été fixées à l'aide d'histolaque.

Observation des échantillons

Trois lames par échantillon ont été analysées. Chacun d'entre nous a compté et identifié au moins 100 grains de pollens par niveau, à l'aide d'un microscope optique. Un total d'environ 300 grains par niveau a donc été comptabilisé. La concentration pollinique (CP) a été calculée à partir de la formule suivante :

$$CP = \frac{SP \cdot N \cdot VC}{n \cdot VG \cdot VS}$$

Où SP = somme pollinique (nombre total de pollen compté) ; N = nombre total de lignes (varie selon microscope, grossissement et lamelle utilisée) ; VC = volume du culot (après ajout de glycérine) ; n = nombre de lignes comptées (chaque ligne entamée est terminée) ; VG = volume de la goutte (montée sous lame) ; VS = volume sédimentaire (avant traitement chimique).

4- Analyse des données

Les indices des relevés phytosociologiques ont été transcrits sous forme de matrice, et soumis à des analyses multivariées à l'aide du logiciel Past 3.20 ([Hammer et al, 2001](#)). Une classification hiérarchique ascendante (CHA,

distance de Chord) a été réalisée dans le but d'évaluer la similarité de la végétation entre les sites. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été faite pour identifier les principaux facteurs responsables de la répartition de la végétation. Les taxons relevés sur moins de 3 sites ont été exclus, car ils influencent de manière disproportionnée les résultats de l'analyse ([Champreux et al, 2015](#)).

Les diagrammes polliniques de surface et de profondeur ont été réalisés avec le logiciel Polpal 10.12 ([Nalepka & Walanus, 2003](#)).

RESULTATS

1- Phytosociologie

Relevés floristiques

En prenant en compte les relevés d'[Escudié & Inghilleri \(2016\)](#), ce sont 153 taxons qui ont été inventoriés et traités pour un total de 25 stations considérées. 10 milieux homogènes (Annexe 2) ont été définis à l'aide des espèces dominantes :

- Les sansouires, un milieu où la végétation est peu diversifiée et largement dominée par des *Amaranthaceae* (*Arthrocnemum glaucum*, *Salicornia herbacea*, *Sarcocornia fruticosa* ; [Corre, 1985](#) ; [Ajenjo, 2004](#)).
- Les marais (mares temporaires incluses) avec des plantes hélophytes ubiquistes du genre *Scirpus*, *Typha*, *Juncus* et *Phragmites* ([Ajenjo, 2004](#)). Ils sont aussi composés de *Poaceae* (*Elytrigia juncea*, *Phragmites australis*) et de *Amaranthaceae* (*Salicornia procumbens*, *Sarcocornia fruticosa*).
- Les roselières à tamaris, surtout constituées de *Poaceae* (*Elytrigia juncea*, *Phragmites australis*), de *Tamarix gallica* et de quelques *Amaranthaceae* (*Suaeda vera*).
- Les friches, composées de *Poaceae* (*Brachypodium phoenicoides*), mais également d'arbustes (*Pistacia lentiscus*) et de buissons (*Pyracantha sp* et *Rubus ulmifolius*).

- Les ripisylves, très diversifiées et formées d'une grande abondance en espèces arborescentes (*Fraxinus angustifolia*, *Ulmus minor*) et lianescentes comme *Hedera helix*.
- Les bois (pinèdes incluses), majoritairement composés de conifères du genre *Pinus*, et d'arbustes (*Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Viburnum tinus*).
- Les chênaies sclérophylles, composées majoritairement d'arbres du genre *Quercus*, à cuticule épaisse comme *Quercus ilex* mais aussi *Quercus coccifera*. D'autres espèces végétales comme des Poaceae, et en particulier *Brachypodium retusum*, sont présentes.
- Les vignes, zones cultivées où domine *Vitis vinifera*, mais on y retrouve aussi des herbacées (*Calendula arvensis*, *Diplotaxis erucoides*) dont certaines Poaceae (*Brachypodium retusum*).
- Les dunes, composées majoritairement de Tamaris (*Tamarix gallica*) mais aussi de Amaranthaceae (*Halimione portulacoides*) et de Poaceae (*Elytrigia juncea*).
- Les jonçaias, constituées majoritairement de jonc (*Juncus acutus*) mais aussi de Poaceae (*Aeluropus littoralis*) et d'herbacées (*Limonium echioides*).

Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

La CHA (Fig. 2), réalisée sur 40 taxons et 25 sites, identifie 9 grands groupements végétaux : Gardiole/mars temporaires (GAP et GAG), pinède des Aresquiers/plaine littorale alluviale (FRI, BOI1, BOI2 et PIB), colline de la Gardiole/formation calcaire (CHG, GAB2, GAB1, GAF et BOG), vigne (VIG), ripisylve (RIM), marais de la Grande Palude/lisière (MAP1 et GPB), roselière à tamaris/dunes (RTM et ARD), marais de la Grande Palude/intérieur (MAP2 et GPH) et sansouires/jonçaias (ARJ, PIS, SAM1, SAM2, SAV et SAC). Ces 9 groupements de végétation suivent un gradient de l'intérieur

des terres jusqu'au littoral. Ils se distinguent donc en deux groupes : milieux littoraux halophiles (marais de la Grande Palude/lisière, roselière à tamaris /dunes, marais de la Grande Palude/intérieur et sansouires/jonçaias) et milieux terrestres dulçaquicoles (Gardiole/mars temporaires, pinèdes des Aresquiers/plaine littorale alluviale, colline de la Gardiole/formation calcaire, vigne et ripisylve). De plus, les milieux halophiles se distinguent en deux sous-groupes distincts avec les milieux aquatiques/eau douce (Gardiole/mars temporaires) et les milieux terrestres (Pinède des Aresquiers/plaine littorale alluviale, colline de la Gardiole/formation calcaire, vigne et ripisylve).

Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

L'analyse donne 24 axes (nombre de milieux étudiés - 1). Seuls 6 axes sont significatifs (valeur propre supérieure à $1/24 \times 1,5 = 6,25\%$). Les plans 1/2 et 1/3 sont respectivement présentés Figure 3A et 3B. L'ensemble des taxons utilisés est présenté en Annexe 3. L'axe 1 (représentativité : 18,682 %) sépare deux groupes distincts. Le premier groupe est composé des sansouires, des marais, de la jonçaille, de la roselière et de la dune tandis que le second groupe comprend les bois, les mars, la chênaie, la friche et la vigne. L'axe 2 (représentativité : 14,339 %) (Fig. 3A) apporte une précision en séparant du groupe précédent (*Cistus monspeliensis*, *Juniperus oxycedrus*, *Pinus halepensis*, *Smilax aspera* et *Viburnum tinus*), les mars temporaires d'eau douce (*Plantago lanceolata*, *Scirpoides holoschoenus*). L'axe 3 (représentativité : 11,41%) (Fig. 3B) distingue le groupe des sansouires qui inclut la jonçaille (*Halimione portulacoides*, *Sarcocornia fruticosa* et *Suaeda vera*), d'un second groupe comprenant la dune, les marais internes (*Elytrigia juncea* et *Plantago coronopus*) et la roselière à tamaris (*Tamarix gallica*), mais aussi un sous-groupe où se distingue la lisière des marais (*Juncus maritimus*, *Phragmites australis*).

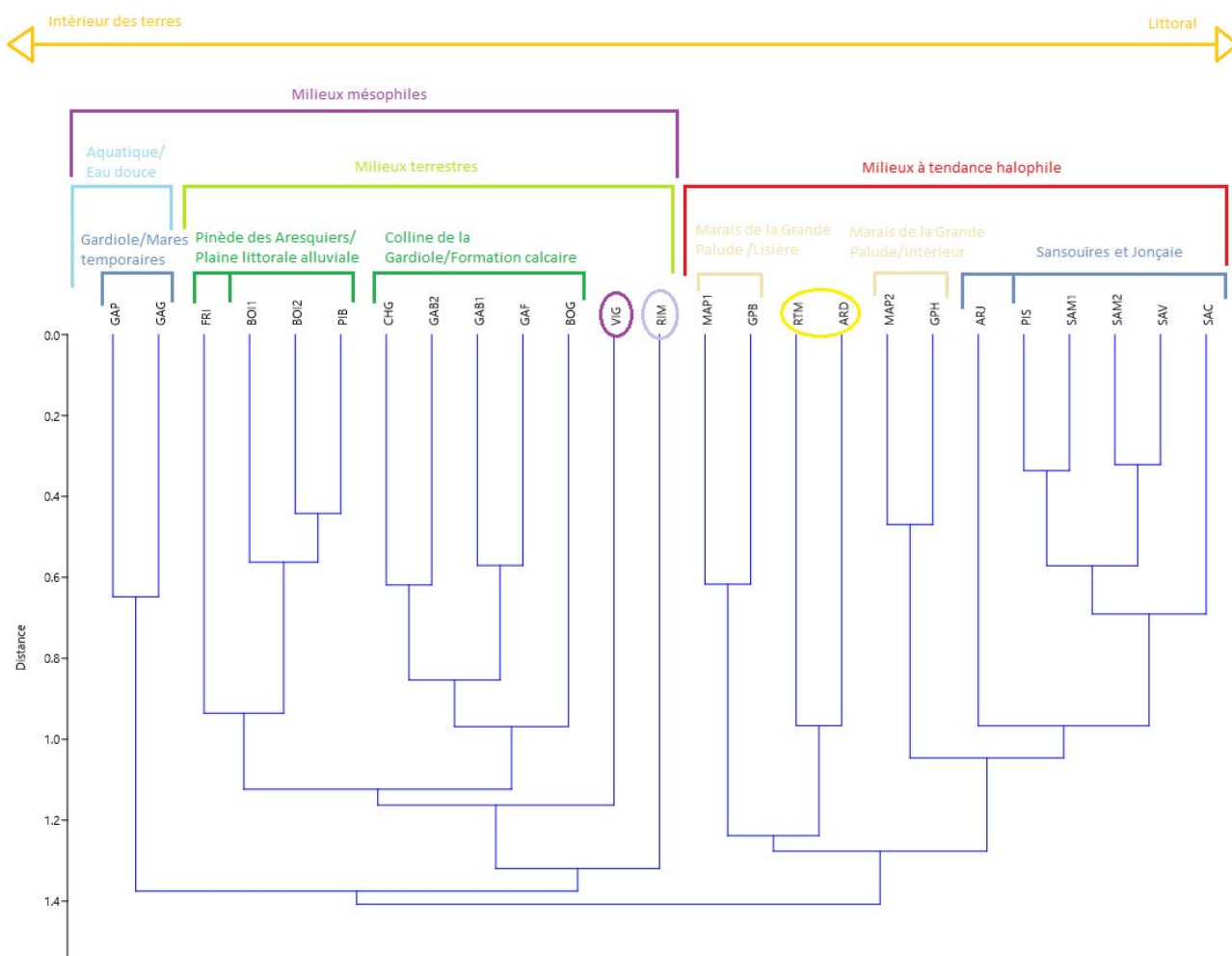


Figure 2. Classification hiérarchique ascendante (CHA) des relevés phytosociologiques réalisée sur 25 zones différentes, à l'aide de 40 taxons

2- Palynologie

Analyse pollinique de surface

Dans un premier temps, l'analyse des spectres polliniques actuels (Fig. 4) réalisés à partir des 4 carottes de surface (VIC 2018-1, 2, 3 et 4 SURF) livre des résultats très homogènes à quelques exceptions près. Ils sont dominés par *Pinus* et *Quercus ilex*-type (*Q. ilex* et *Q. coccifera*) (ca. 20 %), suivis des *Amaranthaceae* (ca. 15 %). Les *Oleaceae* (*Olea* et *Phillyrea*) représentent environ 6,5% des comptages, avec une prédominance de *Phillyrea*. *Quercus pubescens*-type est également observé (ca. 5 %), ainsi que *Tamarix* (< 3 %). Nous retrouvons aussi des

signaux polliniques faibles (< 3%) de plusieurs taxons non identifiés dans les relevés phytosociologiques (*Alnus*, *Betula*, *Corylus* et *Ericaceae*). Le taxon pollinique *Pistacia* est peu enregistré (< 1%) et il n'est pas présent dans la carotte de surface VIC 2018-4 SURF alors que c'est un taxon très présent dans les relevés de végétation (Annexe 4). Le taxon pollinique *Platanus* est enregistré dans de faibles proportions mais il n'est pas présent dans les relevés. Enfin, les herbacées sont enregistrées dans de faibles proportions (< 1%), bien que les *Poaceae* et les *Cyperaceae* ont un signal pollinique autour de 3 %.

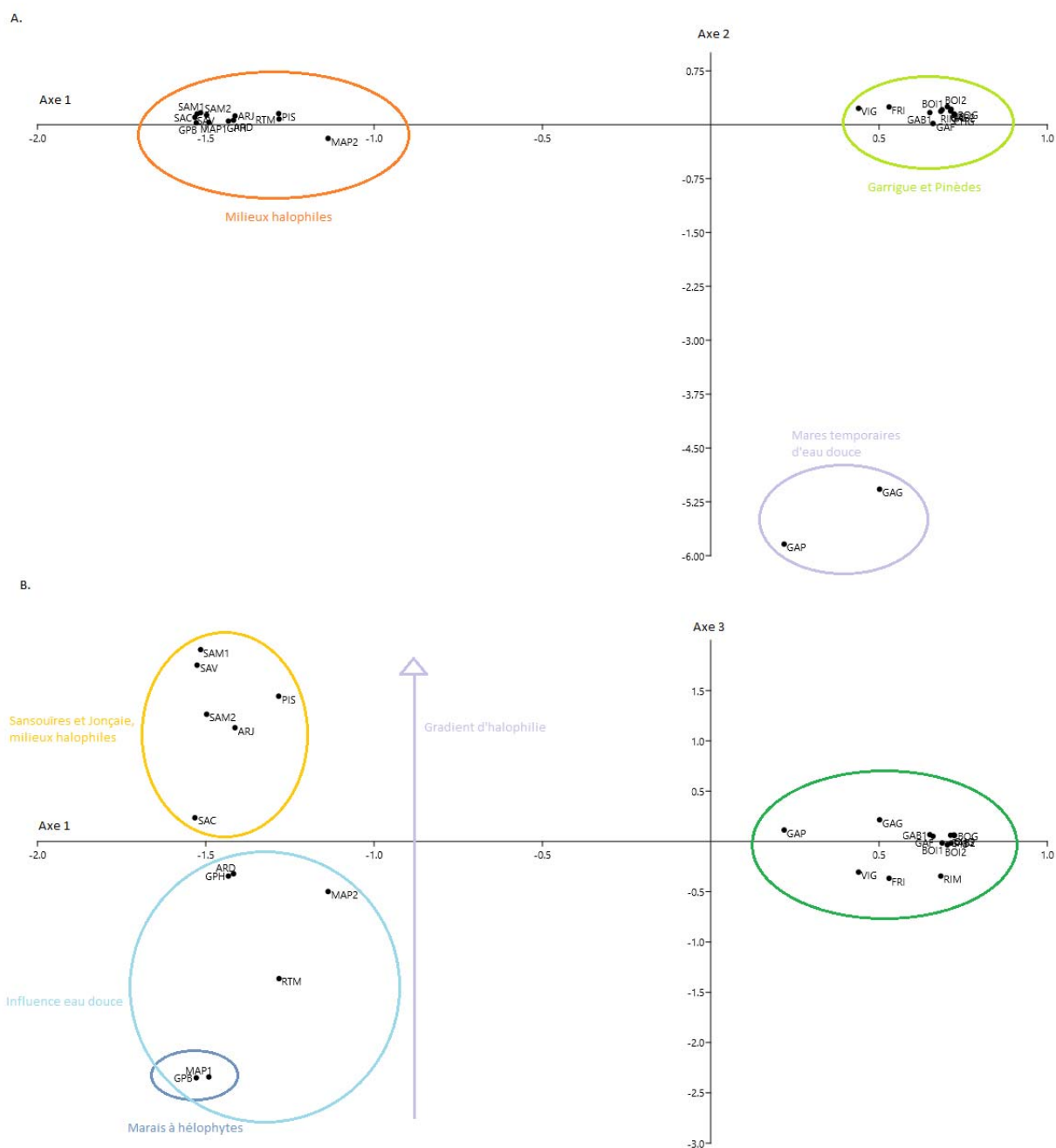
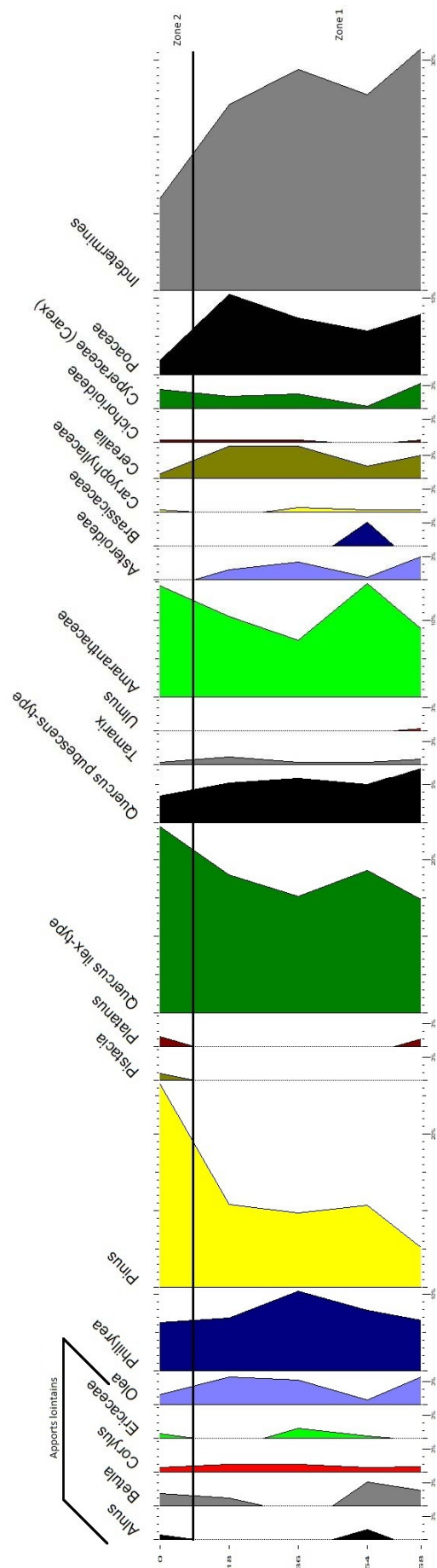
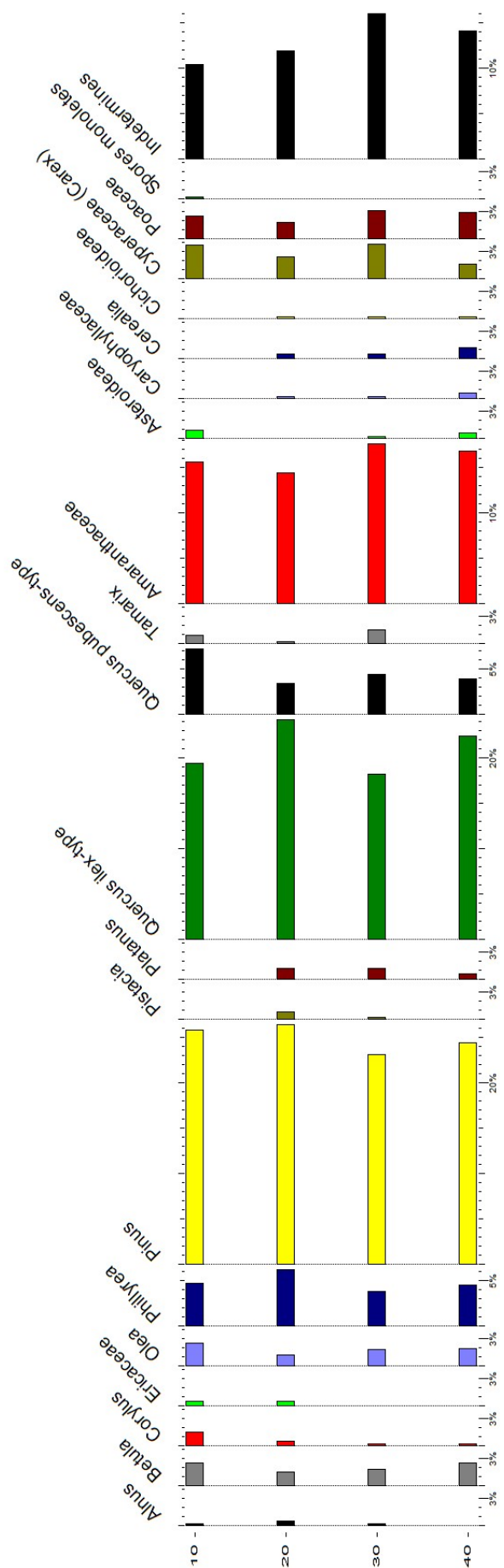


Figure 3. Plans 1/2 (A) et 1/3 (B) des analyses factorielles des correspondances (AFC) traduisant la distribution des 25 zones d'études à l'aide de 40 taxons. Les pourcentages d'inertie des différents axes sont: Axe 1, 18,7 % ; Axe 2, 14,3 % ; Axe 3, 11,4 %. Les deux graphes représentent 44,4 % de l'information totale.

Analyse pollinique fossile

Le second diagramme pollinique (Fig. 5) présente l'enregistrement pollinique fossile de la seconde carotte (VIC 2018-2), de 69 cm à la surface. En l'absence de datations radiocarbone sur la carotte étudiée, nous avons utilisé des données chronologiques obtenues sur des carottes sédimentaires

prélevées dans l'étang voisin de Pierre-Blanche (Sabatier, 2010 ; Castaings *et al.*, 2011), en considérant un taux de sédimentation homogène de $2,65 \pm 0,3$ mm pour les deux lagunes. Ces travaux permettent d'évaluer la date basale de notre diagramme pollinique au 16e siècle, entre 1720 et 1780 AD (210-160 cal. BP).



La zonation du diagramme (Fig. 5), basée sur une CHA (Annexe 4), a permis d'identifier 2 zones :

Zone 1 : 69-10 cm. Les assemblages polliniques sont dominés par *Phillyrea*-type, *Pinus*, *Quercus ilex*-type, les *Amaranthaceae* et les *Poaceae*. *Cerealia*, *Olea* et *Platanus* sont enregistrés dès la base du diagramme. Cependant, quelques taxons (*Alnus*, *Betula*, *Platanus*, *Ulmus*, *Brassicaceae*) ne sont enregistrés qu'en début de zone. On observe aussi une antiphase entre l'enregistrement de certains taxons polliniques. En effet la quantité de pollen des *Amaranthaceae*, *Brassicaceae* et de *Quercus ilex*-type augmente lorsque la quantité en *Poaceae*, *Cerealia*, *Cyperaceae*, *Olea*, *Quercus pubescens* et *Asteroideae* diminue. Le pourcentage de taxons indéterminés ne dépasse pas 30%.

Zone 2 : 10-0 cm. La zone 2 contient le spectre de surface, qui diffère des spectres antérieurs par un plus fort enregistrement des types polliniques *Pinus*, *Quercus ilex*-type et *Amaranthaceae*. En opposition, on retrouve une diminution de l'enregistrement en *Cerealia*, *Olea* et *Poaceae*. D'autres taxons (*Alnus*, *Pistacia*, *Platanus* et les *Ericaceae*) ne sont présents qu'en surface dans la zone. Le pourcentage d'indéterminés est de 12%.

DISCUSSION

1- Facteurs influençant la répartition des milieux

L'analyse factorielle des correspondances permet de déterminer plusieurs gradients qui influencent la répartition des milieux (Fig. 3A et 3B). Le premier axe de la Figure 3A suit un gradient littoral/intérieur des terres. Les

milieux sont répartis en deux groupes selon leur salinité, les milieux halophiles et les milieux non halophiles. Le second axe apporte une précision en suivant un gradient terrestre/aquatique et sépare donc les mares temporaires d'eau douce des zones boisées ou cultivées et de la friche. Le troisième axe de la Figure 3B constitue un gradient pour l'affinité des milieux vis à vis du sel. On retrouve donc d'abord les milieux halophiles (sansouires et jonçaises) puis les milieux influencés par des apports d'eau douce (roselières, marais). Cependant la dune est intégrée dans les milieux d'eau douce, en effet cet écosystème abrite une lentille d'eau douce, qui éloigne considérablement sa communauté végétale de celle des jonçaises et des sansouires (Ajenjo, 2004). La cohérence entre les communautés déterminées à l'aide de la CHA et celles explicitées par l'AFC traduit une représentation fidèle de la réalité. Il n'y a pas de regroupement incohérent dans le dendrogramme, ainsi la végétation relevée autour de la zone étudiée est bien caractéristique des milieux.

2- Relations pollen-végétation

Les relations entre le pollen et la végétation peuvent être appréhendées de deux manières. La confrontation des données floristiques avec les données polliniques de surface permet d'une part d'évaluer le type d'enregistrement des différents taxons et leur mode de dispersion, et d'autre part, de caractériser l'enregistrement des principales formations végétales. L'homogénéité des données de surface permet de considérer les carottes comme représentatives de l'environnement lagunaire.

Figures page précédente : à gauche, Fig. 4; à droite, Fig. 5.

Figure 4. Diagramme pollinique de l'analyse des carottes de sédiments en surface, sur un transect de l'étang de Vic suivant un gradient d'éloignement à la rive (4 carottages selon 20 taxons polliniques, par ordre croissant sur l'axe des ordonnées : 10 correspond à VIC SURF-1, 20 à VIC SURF-2, 30 à VIC SURF-3)

Figure 5. Diagramme pollinique de la carotte VIC 2018-2, selon 5 analyses polliniques de 0 à 69 cm de profondeur sédimentaire représentant un gradient temporel, 21 taxons polliniques représentés. En ordonnées, la profondeur du sédiment analysé en cm. (zonation effectuée à l'aide d'une CHA - Annexe 4 - considérée rigoureuse car identique si basée sur distance euclidienne ou de Chord)

Nos données montrent que certains des principaux taxons des paysages étudiés sont bien enregistrés : *Amaranthaceae*, *Quercus ilex*-type, *Phillyrea* ou encore *Pinus halepensis*. Elles confirment la surreprésentation pollinique et l'enregistrement régional de *Pinus* et de *Quercus ilex*-type (De Beaulieu, 1977). En effet, cela peut s'expliquer par leur dispersion anémogame (Cosme et al., 2016). De plus, les données montrent la sous-représentation et l'enregistrement local de *Tamarix gallica* (Triat, 1971). Elles suggèrent également une sous-représentation de *Pistacia*, représenté par *P. lentiscus* et *P. terebinthus*, dans de nombreux milieux inventoriés.

La comparaison entre les données floristiques et polliniques permet dans un second temps de préciser l'enregistrement des formations végétales identifiées grâce aux analyses multivariées :

Les milieux littoraux halophiles sont caractérisés par les *Amaranthaceae*. La forte pluie pollinique de ce taxon, très caractéristique des sansouires et aisément identifiable grâce à son pollen péripore, permet de confirmer le bon enregistrement de ces milieux abondants. Les jonçailles, surtout composées de *Juncaceae* sont plus difficilement détectables car ce taxon n'est pas décelé dans les analyses de surface.

Les milieux côtiers d'influence d'eau douce (roselières, marais et dunes) (Fig. 3B) sont identifiables grâce aux *Poaceae*, visiblement ubiquistes mais aussi par le taxon *Tamarix*, sous-représenté de par sa faible dispersion, ainsi que par les *Amaranthaceae*, communes aux sansouires et d'une faible abondance. Il s'agit donc de formations végétales difficilement reconnaissables sur les spectres polliniques.

- L'enregistrement des mares temporaires d'eau douce (Fig. 3A) peut être fait à l'aide des taxons *Lamiaceae*, non discriminé, et *Cyperaceae*, bien qu'abondant dans le milieu et présent sur les spectres, n'est pas propre aux mares.
- Les autres milieux terrestres non halophiles (Fig. 3A) sont surtout

composés de zones boisées où figure *Phillyrea*. On y retrouve les bois de la plaine alluviale avec présence de *Pinus halepensis* et *Pistacia* et ceux du massif calcaire de la Gardiole (chênaie incluse), plus diversifiés notamment à travers la plus forte présence de *Quercus*, de *Poaceae* et de *Lamiaceae*. La surreprésentation de *Pinus* et *Quercus* rend difficile la distinction entre apport local et régional (Cosme et al., 2016) tandis que le faible enregistrement de *Pistacia* ne permet pas d'affiner la relation pollen-végétation. Les vignes dont l'élément le plus discriminant est le taxon *Vitis vinifera* ne figure pas parmi les spectres et ne permet pas de faire un rapprochement avec ces milieux, il en va de même pour les ripisylves avec les taxons *Fraxinus*, *Ulmus* et *Hedera*.

De manière générale peu de formations végétales sont identifiables à travers les données polliniques à l'exception des sansouires. Le taxon *Poaceae*, bien enregistré, ne permet pas d'affiliation avec un milieu particulier mais indique cependant la présence de formations plus halophobes que les sansouires. Les mares temporaires peuvent être rattachées aux *Cyperaceae* bien que la relation ne soit pas très solide. Les bois font directement référence aux taxons *Quercus* et *Pinus* qui ne sont pourtant pas fiable localement, ainsi faut-il leur préférer *Phillyrea*. Les zones cultivées telles que les vignes ne s'inscrivent pas clairement dans les données polliniques mais d'autres taxons liés à l'anthropisation (Camillini, 2009) sont observés (*Cerealia*, *Olea* et *Platanus*). Les ripisylves étudiées n'ont pas d'empreinte pollinique marquée mais les rivières et les fleuves peuvent expliquer l'identification de taxons non présents dans les relevés floristiques (*Alnus*, *Betula* et *Corylus*). Effectivement des apports lointains montagnards peuvent suivre les cours d'eau (Planchais et al, 1977). Le massif central pourrait en être la source, avec notamment la présence de taxons caractéristiques : *Corylus* et *Betula*, transportés via le canal du Rhône

qui débouche sur l'étang de Vic (Muller *et al.*, 2008). L'analyse pollinique de l'estuaire du Lez par Planchais (1987) conforte l'hypothèse du cours d'eau par l'identification des trois taxons concernés. Toutefois cette présence peut être favorisée par le vent et être révélatrice des reliefs avoisinant la zone d'étude (Cosme *et al.*, 2016).

3- Histoire de la végétation depuis 300 ans

Milieux terrestres

Dans la zone 1, de 68 cm à 64 cm (Fig. 5), la faiblesse des signaux de *Cerealia* et *Olea* témoigne d'une recolonisation des friches par des espèces arborescentes et arbustives locales (*Phillyrea*, *Pinus* et *Quercus ilex*). Ceci coïncide avec une faible activité humaine, les taxons *Olea* et *Cerealia* étant marqueurs de l'anthropisation des milieux (Planchais, 1978 ; Camillini, 2009). Entre 64 cm et 18 cm, le pic dans le signal des herbacées (*Cerealia*, Poaceae) peut aussi être lié à une anthropisation des milieux (Puertas, 1998). De plus, une augmentation du taxon *Olea* permet de confirmer cette interprétation, d'autant que cet accroissement s'accompagne d'une diminution des taxons *Quercus ilex*-type et *Pinus* qui traduit un reculement des pinèdes et des chênaies.

Dans la zone 2 (Fig. 5), l'augmentation du taxon *Pinus* et l'apparition du taxon *Pistacia* traduit la recolonisation des friches et une émergence notable des pinèdes (Escudié, 2016). La zonation témoigne en effet de la déprise agricole du dernier siècle, en lien direct avec une reforestation dominée par le taxon *Pinus* qui s'accompagne bien souvent en Garrigue de l'essor des taxons *Quercus* et *Pistacia* (Escudié & Inghilleri, 2016). C'est avec un abandon des pratiques agricoles que les zones de cultures laissent place à un reboisement (Escarré *et al.*, 1983), la diminution du signal des taxons Poaceae, *Cerealia* et *Olea* sont les témoins de la réduction de ces milieux anthropisés.

Zones humides

Les zones humides sont essentiellement représentées dans l'étude par des lagunes,

avec des environnements halophiles (sansouires) et dulçaquicoles (roselières, jonçaie). Dans la zone 1 (Fig. 5) : l'antiphasse entre le spectre pollinique des Poaceae/Cyperaceae et celui des Amaranthaceae peut évoquer un changement de milieu, on la retrouve aussi dans le diagramme pollinique de Thot-Arnel, l'étang de l'Arnel étant voisin de celui des Mourres (Ajenjo, 2004). En effet l'avancement du littoral provoque une salinisation des milieux au détriment des marais d'eau douce (Ajenjo, 2004). Cette augmentation s'accompagne ensuite d'une diminution des Amaranthaceae (taxon indicateur des milieux halophiles, Ajenjo, 2004) et d'une augmentation des Poaceae et Cyperaceae qui traduit ainsi une colonisation par les milieux dulçaquicoles. De 36 à 18 cm, l'association des Amaranthaceae et des Poaceae correspond à une régression des marais au profit des sansouires avec un éloignement progressif de la Mosson (Ajenjo, 2004). Cependant la profondeur de notre carotte ne permet pas d'atteindre la jonction observée par Ajenjo entre la zone dite mixte et la zone à roselière placée aux alentours de 110 cm.

Des pollens de type *Alnus* et *Betula*, taxons typiques de certaines ripisylves méditerranéennes (Quezel & Medail, 2003) sont enregistrés dans le registre fossile. Bien que n'ayant pas fait l'objet de relevés de végétation de notre part, ces ripisylves peuvent alimenter la lagune par des apports lointains. L'enregistrement de *Ulmus*, *Alnus* et *Betula* est irrégulier. On observe cependant un pic des taxons polliniques *Alnus* et *Betula* à 64 cm et en surface, pouvant traduire une augmentation de l'enregistrement des ripisylves. La variabilité des apports polliniques lointains ne permet cependant pas d'affirmer qu'il s'agit d'une expansion de ces dernières, on observe de manière générale des fluctuations dans les enregistrements polliniques, liée notamment à la variabilité de la salinité des lagunes (Bonnet *et al.*, 2005).

CONCLUSION

Notre étude se démarque par le nombre important de relevés floristiques réalisés et la

finesse des milieux caractérisés. La comparaison entre la végétation et le pollen met en évidence peu d'enregistrement des formations végétales, car certaines formations ne sont pas décelables dans l'enregistrement pollinique de surface. Une étude plus approfondie des pollens permettrait d'identifier d'autres pollens caractéristiques de certains milieux non enregistrés.

L'analyse paléoenvironnementale révèle deux aspects notables de l'évolution des 300 dernières années. La déprise agricole du dernier siècle (Escudié & Inghilleri, 2016), en lien direct avec une reforestation par les pins, qui s'accompagne en garrigue du développement des chênes et des pistachiers, et l'opposition Amaranthaceae-Poaceae (Ajenjo, 2004) qui traduit la salinisation du littoral et la réduction des milieux dulçaquicoles.

REFERENCES

- Ajenjo E. (2004). *Caractérisation pollinique de la végétation littorale dans une carotte sédimentaire lagunaire (Etang de l'Arnel, Hérault)*. Mémoire d'initiation à la recherche, Université de Montpellier, 16 p.
- Andrieu V., Beaulieu J.L., Ponel P & Reille M. (1997). Les distorsions de l'enregistrement pollinique de l'histoire de la végétation du dernier cycle climatique : Exemples de séquences lacustres du Sud de la France. *Geobios*, 30 : 195-202.
- Barral P., Magny M. & Thivet M. (2016). *De la reconstitution des paysages à l'histoire des sociétés. 10 000 ans d'archives sédimentaires en zones humides*. InFolio, Gollion, 288 p.
- Barusseau J.P., Giresse P., Planchais N. & Radakovitch O. (1992). La sédimentation lagunaire des derniers siècles en Languedoc-Roussillon : données sédimentologiques, isotopiques et palynologiques. *Vie et Milieu*, 42 : 307-320.
- 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*. John Wiley & Sons Press, Chichester, pp. 84-455.
- Bonnet B., Aulong S., Goyet S., Lutz M. & Mathevet R. (2005) *Gestion intégrée des zones humides méditerranéennes*. Tour du Valat, Arles, 160 p.
- Braun-Blanquet J. (1932). Plant sociology, the study of Berglund B.E. & Ralska-Jasiewiczowa M., Pollen analysis and pollen diagrams. In: B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 455-484.
- Bui T.M. & Girard M. (2010). Pollen et Archéologie : une alliance passionnante. *Anthropobotanica*, 1.8 : 3-23.
- Castaings J. (2008). *État de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires*. Mémoire de Master 2, Université de Montpellier, 100 p.
- Castaings J., Dezileau L., Fiandrino A & Verney R. (2011). Evolution morphologique récente d'un complexe lagunaire méditerranéen : le système des étangs Palavasiens (France). *Revue Paralia*, 4 : 7.1-7.12.
- Castaings J. (2012). *Etude du fonctionnement hydrosédimentaire d'un écosystème lagunaire sur des échelles de temps multiples*. Thèse de Doctorat, Université Montpellier, 204 p.
- Champreux A., de Laage de Meux R. & Duval M. (2015). Enregistrement pollinique des lavognes (Viols-en-Laval, Hérault) : miroir déformant de la végétation. *Orpalm Synthesis*, 8 : 55-67.
- Corre J.-J., Bigot L., Billes G., Bouab N., Coulet E., Gautier G., Heurteaux P., Pont D. & Skeffington S. (1982) Structure et peuplements des rives d'étangs temporaires en Basse Camargue. *Bulletin d'Ecologie*, 13 : 339-356.
- Corre J.J. (1985). Environmental structures and variations in coastal vegetation of the Golfe du Lion (France). *Végétation*, 61 : 15-22.

- Cosme M., Lachaux N. & Robles M. (2016). Référentiel pollinique actuel de la végétation du littoral méditerranéen (Palavas, Hérault). *Orpalm Synthesis*, 9 : 57-71.
- De Beaulieu J.-L. (1977). *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène des Alpes méridionales françaises*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 358p.
- 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.
- Escudie 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 : 9-25.
- Guillard H. & Salvetti M.-V. (2013). Des mathématiciens à la rescousse des lagunes méditerranéennes. *Accromath*, 8 : 16-21.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D. (2001). Paleontological Statistics Software: Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 : 9.
- Ifremer (2002). *Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon, Les étangs palavasiens*. 80 p.
- Ifremer (2013). *Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon*. 280 p.
- Jacobson, G. & Bradshaw, R. (1981). The Selection of Sites for Paleovegetational Studies. *Quaternary Research*, 16 : 80-96.
- Lézine A. (2008). *Le pollen, outil d'étude de l'environnement et du climat au quaternaire*. Société géologique de France, Paris, 118 p.
- Meddour R. (2011). *La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-blanqueto-tüxenienne*. Université de Tizi Ouzou, Algérie, 40 p.
- Molina J., (1996). *Flore de Camargue*. Parc naturel régional de Camargue, Arles, 78p.
- Müller S. (2005). Pléistocène et Holocène, des glaciations à aujourd'hui. *La Garance voyageuse*, 71 : 63-69.
- 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 (Rhône delta, Southern France). *Wetlands*, 28: 951-966.
- Nalepka D. & Walanus A. (2003). Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica*, 43 : 125-134.
- Planchais N., Duzer D. (1978) Les pollens indicateurs de l'action anthropique aux alentours de l'étang de Mauguio (Hérault). *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, D Sciences naturelles : 931- 933
- Puertas O., 1998. *Palynologie dans le delta du Lez, Contribution à l'histoire du paysage de Lattes*. Association pour la recherche archéologique en Languedoc oriental, Lattes, 181p.
- Quézel P. & Médail F. (2003). Valeur phytoécologique et biologique des ripisylves méditerranéennes. *Forêt Méditerranéenne*, 24 : 231-248.
- Raynal O., Bouchette F., Certain R., Sabatier P., Lofi J., Seranne M., Dezileau L., Briquet L., Ferrer P. & Courp T. (2010). Holocene evolution of a Languedocian lagoonal environment controlled by inherited coastal morphology. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 181 : 211-224.
- Reille M. (1990). *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. Centre national de la recherche scientifique, Paris, 206 p.
- Sabatier P., Delizeau L., Blanchemanche P., Siani G., Condomines M., Bentaleb I. & Piques G. (2010). Holocene variations of radiocarbon reservoirs ages in a Mediterranean lagoonal system. *Radiocarbon*, 52 : 91-102.
- SIEL. (2007). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR) Version 2006-2008. 22 p.
- Tison J.-M., Jauzein P. & Michaud H. (2014). *Flore de la France méditerranéenne continentale*. Naturalia publications,

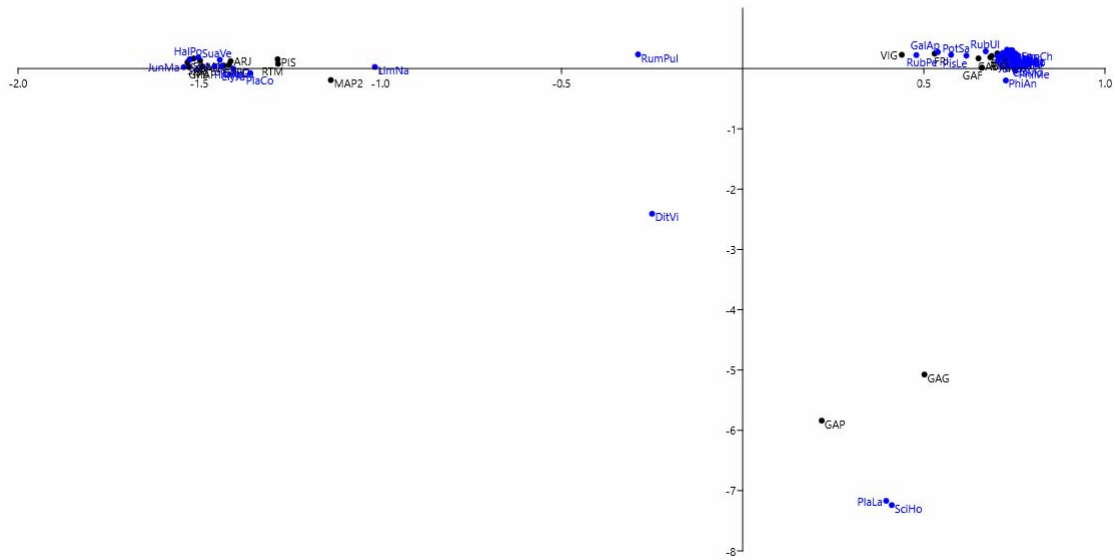
- Turriers, 2078 p.
- Tison J.-M & De Foucault B. (2014). *Flora gallica : flore de france*. Biotope éditions, Mèze, 1196 p.
- Triat, H., (1971). Contribution à l'étude de la dispersion pollinique du Tamaris. *Annales de l'Université de Provence*, 46 : 151-154.
- Verger F. (2009). *Zones humides du littoral français*. Editions Belin, Paris, 447 p.

ANNEXE 1. Identification et description des sites de relevés phytosociologiques.

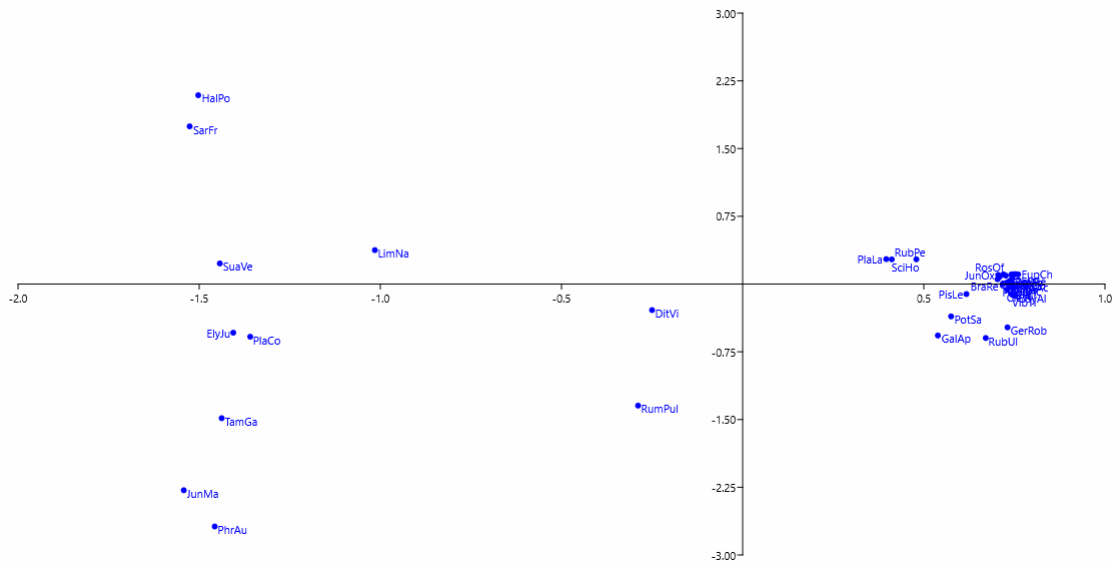
ORPAL 2016	<i>Localisation</i>	<i>Code</i>		<i>Milieu</i>	<i>Date de relevé</i>
	<i>Plage des Aresquiers</i>	ARD	Aresquiers-dune	Dune	09/02/16
		ARJ	Aresquiers-jonçaie	Jonçaie	09/02/16
	<i>Jonçaie Grande Palude</i>	GPB	Grande Palude-basse	Marais	09/02/16
		GPH	Grande Palude-haute	Marais	09/02/16
	<i>Bois des Aresquiers</i>	PIS	Pinède des Aresquiers-sansouire	Sansouire	09/02/16
		PIB	Pinède des Aresquiers-bois	Bois	09/02/16
	<i>Etang de Vic</i>	SAV	Etang de Vic-sansouire	Sansouire	09/02/16
	<i>Carrefour</i>	SAC	Carrefour-sansouire	Sansouire	09/02/16
	<i>Colline de la Gardiole</i>	GAB1	Gardiole-bois1	Bois	09/02/16
		GAB2	Gardiole-bois2	Bois	09/02/16
		GAF	Gardiole-fruticée	Bois	09/02/16
		GAP	Gardiole-petite mare	Mare	09/02/16
		GAG	Gardiole-grande mare	Mare	09/02/16
ORPAL 2018					
	<i>Etang de L'Arnel</i>	SAM1	SANSOUIRE Maguelone I - 64 m ²	Sansouire	23/01/2018
		SAM2	SANSOUIRE Maguelone II - 64 m ²	Sansouire	23/01/2018
		RTM	ROSELIERE A TAMARIS Maguelone I - 256 m ²	Roselière	23/01/2018
	<i>Commune de Villeneuve-lès-Maguelone</i>	FRI	FRICHE I - 1024 m ²	Friche	23/01/2018
	<i>Bois des Aresquiers</i>	BOI1	BOIS Aresquiers I - 64 m ²	Bois	23/01/2018
		BOI2	BOIS Aresquiers II - 64 m ²	Bois	23/01/2018
	<i>Aresquiers</i>	VIG	VIGNES I - 1024 m ²	Vignes	24/01/2018
	<i>Colline de la Gardiole</i>	CHG	CHENAIE Gardiole I 256 m ²	Chênaie	24/01/2018
		BOG	BOIS Gardiole I - 128 m ²	Bois	24/01/2018
	<i>Grande Palude</i>	MAP1	MARAIS Palude I - 64 m ²	Marais	24/01/2018
		MAP2	MARAIS Palude II - 256 m ²	Marais	24/01/2018
	<i>Commune de Maurin</i>	RIM	RIPISYLVE Maurin I - 1024 m ²	Ripisylve	24/01/2018

ANNEXE 2. Complément de la Figure 3. Distribution des taxons phytosociologiques utilisés pour les AFC, non intégrés à la Figure 3 par soucis de clarté dans la lecture des sites, mais dont la distribution par rapport aux axes coïncide avec celle des sites, mettant ainsi en évidence les taxons caractéristiques des milieux homogènes déterminés.

A.



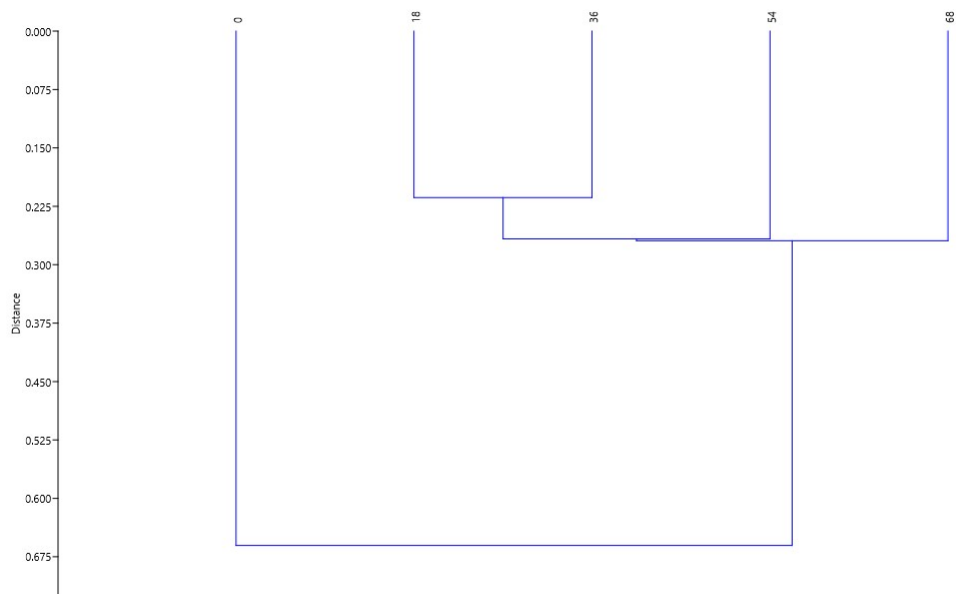
B.



ANNEXE 3. Liste des taxons présents sur au moins 3 sites, soit 40 au total parmi 153, utilisés pour les AFC des relevés phytosociologiques. La dernière colonne indique le nombre d'occurrences total de chaque taxon.

<i>Espèces</i>	<i>Famille</i>	<i>Occurrence</i>
<i>Pistacia lentiscus</i> L. (Lentisque, Arbre au mastic)	Anacardiaceae	11
<i>Rubia peregrina</i> L. (Garance voyageuse)	Rubiaceae	10
<i>Asparagus acutifolius</i> L. (Asperge à feuilles aiguës)	Asparagaceae	9
<i>Phillyrea angustifolia</i> L. (Alavert)	Oleaceae	9
<i>Pinus halepensis</i> Mill. (Pin d'Alep)	Pinaceae	8
<i>Quercus coccifera</i> L. (Chêne des Garrigues ou kermès)	Fagaceae	8
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J.Scott (Salicorne en buisson)	Amaranthaceae	8
<i>Ruscus aculeatus</i> L. (Fragon, Petit houx)	Asparagaceae	7
<i>Smilax aspera</i> L. (Salsepareille)	Smilacaceae	7
<i>Bryopsida</i> sp. (Mousse)	Bryopsidaeae	6
<i>Elytrigia juncea</i> (L.) (Chiendent à feuilles de jonc)	Poaceae	6
<i>Halimione portulacoides</i> (L.) Aellen (Arroche faux pourpier)	Amaranthaceae	6
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud. (Roseau commun)	Poaceae	6
<i>Brachypodium retusum</i> (Pers.) P.Beauv. (Brachypode rameux)	Poaceae	5
<i>Cistus monspeliensis</i> L. (Ciste de Montpellier)	Cistaceae	5
<i>Juncus maritimus</i> Lam. (Jonc maritime)	Juncaceae	5
<i>Limonium narbonense</i> Mill. (Saladelle de Narbonne)	Plumbaginaceae	5
<i>Phillyrea media</i> L. (Alavert intermédiaire)	Oleaceae	5
<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (Romarin)	Lamiaceae	5
<i>Suaeda vera</i> Forssk. ex J.F.Gmel. (Soude ligneuse)	Amaranthaceae	5
<i>Carex halleriana</i> Asso. (Laiche de Haller)	Cyperaceae	4
<i>Cistus albidus</i> L. (Ciste cottoneux)	Cistaceae	4
<i>Clematis vitalba</i> L. (Clématite des haies)	Ranunculaceae	4
<i>Euphorbia characias</i> L. (Euphorbe characias)	Euphorbiaceae	4
<i>Genista scorpius</i> (L.) DC. (Genêt scorpion)	Fabaceae	4
<i>Quercus Ilex</i> L. (Chêne vert)	Fagaceae	4
<i>Rhamnus alaternus</i> L. (Nerprun alaterne)	Rhamnaceae	4
<i>Tamarix gallica</i> L. (Tamaris commun)	Tamaricaceae	4
<i>Viburnum tinus</i> L. (Laurier-tin)	Adoxaceae	4
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter (Inule visqueuse)	Asteraceae	3
<i>Galium aparine</i> L. (Gaillet accrochant)	Rubiaceae	3
<i>Geranium robertianum</i> L. (Géranium herbe à Robert)	Geraniaceae	3
<i>Juniperus oxycedrus</i> L. (Genévrier cade)	Cupressaceae	3
<i>Osyris alba</i> L. (Osyris blanc)	Santalaceae	3
<i>Pinus pinea</i> L. (Pin parasol)	Pinaceae	3
<i>Plantago coronopus</i> L. (Plantain corne-de-cerf)	Plantaginaceae	3
<i>Plantago lanceolata</i> L. (Plantain lancéolé)	Plantaginaceae	3
<i>Poterium sanguisorba</i> L. (Petite pimprenelle)	Rosaceae	3
<i>Rubus ulmifolius</i> Schott (Rosier à feuilles d'orme)	Rosaceae	3
<i>Rumex pulcher</i> L. (Oseille gracieuse)	Polygonaceae	3
<i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soják (Scirpe-jonc)	Cyperaceae	3

ANNEXE 4. Classification hiérarchique ascendante (CHA) des 5 profondeurs de la carotte VIC 2018-2, utilisée pour la zonation du diagramme pollinique de profondeur (Figure 5.).



DISTRIBUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DES OSTRACODES DANS LES ETANGS PALAVASIENS

Adrien Diaz ¹, Nabil Lhani ², Ioanna Vlandis ³

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

¹ adrien.diaz@etu.umontpellier.fr, ² nabil.lhani@etu.umontpellier.fr,

³ ioanna.vlandis@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Laurent Brémond, Vincent Girard

Citation : Diaz A., Lhani N. & Vlandis I. (2018). Distribution spatiale et temporelle des ostracodes dans les étangs palavasiens. *Orpalm-synthesis*, 18 (2) : 47-54.

Résumé : Les étangs palavasiens présentent une biodiversité importante. Une partie de cette biodiversité se compose d'ostracodes, des Crustacés bivalves de taille millimétrique. Ces organismes sont utilisés comme bioindicateurs de l'écologie du milieu étudié. Dans cette étude, la diversité et la concentration des ostracodes ont été étudiées dans différents sites et à différentes profondeurs sédimentaires afin de comprendre s'ils sont capables d'enregistrer les changements environnementaux locaux. Les concentrations variables d'ostracodes en fonction des différentes profondeurs révèlent des changements passés de l'étang de Vic-La-Gardiole.

Mots clés : Hérault, lagune, profondeur, richesse spécifique

Abstract: *Spatial and temporal distribution of ostracods in Palavasian lagoons.* Palavasian lagoons present an important biodiversity. Part of this biodiversity consists of ostracods, bivalve crustaceans of millimetre size. These organisms are used as bioindicators of the ecology of the studied habitat. In this study, diversity and concentration of ostracods were studied at different sites and different sediment depths in order to understand their ability of recording local environmental changes. The variable concentrations of ostracods at different depths reveal past environmental changes in the Vic-La-Gardiole lagoon.

Keywords: Hérault, lagoon, depth, species richness

La France est un pays bordé par un océan et deux mers. Notre étude est axée sur le littoral méditerranéen qui comprend de nombreuses lagunes. Celles-ci sont des milieux humides peu profonds constituant une transition entre le milieu marin et le milieu continental et formant ainsi un milieu paraliq. Les lagunes du complexe palavasien présentent des caractéristiques de nature variable (salinité, pH, abondance en nutriments ; De Wit et al., 2017), résultant elle-même des conditions climatiques et environnementales. Grâce à ces facteurs abiotiques, il existe des assemblages

d'organismes différents en fonction de la nature du site (Zazzali, 2016). Ces assemblages peuvent être utilisés comme bio-indicateurs (De Deckker & Yokoyama, 2009) qui permettent de reconstruire des paléoenvironnements sur la base des exigences écologiques de ces organismes. En effet, la faune et la flore actuelle sont les héritières du passé et la conséquence des variations naturelles (climat, cadre géomorphologique) et anthropiques (activités humaines) du milieu (Pailles et al., 2010). Les ostracodes sont des bioindicateurs des variations climatiques et environnementales pour les milieux aquatiques. En effet, ces

micro-crustacés sensibles aux variations physico-chimiques de l'eau et aux variations paléoenvironnementales sont d'excellents marqueurs des changements affectant le benthos marin et lagunaire (Ruiz et al., 2013).

Dans notre zone d'échantillonnage, qui se situe entre la lagune de Vic-la-Gardiole et Palavas, des études portant sur la variabilité de la distribution spatiale des ostracodes ont été réalisées antérieurement (Dortel et al., 2016 ; Salel et al., 2016). Aucune étude antérieure n'a en revanche abordé la relation entre la richesse spécifique des ostracodes et les changements passés ayant potentiellement eu lieu dans ces lagunes. Nous nous sommes donc focalisés sur l'étude de carottes peu profondes dans l'objectif de vérifier si les ostracodes enregistrent des changements environnementaux passés. Le cadre chronologique est fourni par le travail de Sabatier & Dezileau (2010), qui ont réalisé de nombreuses datations radiocarbone dans l'étang de Pierre Blanche, qui est adjacent à l'étang de Vic-La-Gardiole.

MATERIEL ET METHODES

1- Matériel biologique étudié : les ostracodes

Les Ostracodes appartiennent à l'embranchement des Arthropodes et au sous-embranchement des Crustacés (Myers et al., 2018). Il s'agit d'organismes de petite taille, généralement millimétriques, qui présentent une carapace calcaire bivalve (Holmes, 2001). Celle-ci peut présenter différents types d'ornementation et/ou de perforations en fonction des espèces (Ruiz et al., 2013). Des différences de taille intra- et interspécifiques existent aussi (Carbonel et al., 1988). La composition de la coquille est majoritairement faite de chitine et de calcaire. Les deux valves de la carapace protègent le corps de l'animal et se ferment dorsalement grâce à un ligament et une articulation au niveau de la charnière. Il s'agit d'une classe extrêmement diversifiée, environ 13000 espèces actuelles connues, qui est sensible aux variations des conditions

environnementales comme la température, le régime hydrologique, la pollution etc. Les ostracodes sont utilisés par les paléoécologues comme bioindicateurs afin d'obtenir des informations sur l'écologie du milieu (Viehberg, 2006).

2- Présentation des sites

Des études de prélèvements sédimentaires ont déjà été réalisées dans les étangs palavasiens. Il s'agit d'un complexe lagunaire qui s'étend de Pérols jusqu'à Frontignan. Ces sites présentent des milieux salés et saumâtres composés d'une riche biodiversité. Les étangs Palavasiens sont alimentés par le Lez, la Mosson et le canal du Rhône à Sète. Certaines de ces lagunes sont toujours en contact avec la Méditerranée (Bec et al., 2012).

3- Protocole d'échantillonnage

Sur le terrain, les prélèvements de sédiments ont été effectués les 23 et 24 janvier 2018. Pour cela, nous avons utilisé la méthode de carottage, afin prélever une colonne sédimentaire. Un carottier *Gravity Corer* UWITEC a été utilisé afin de récupérer des échantillons des fonds lagunaires. Sept carottes sédimentaires ont été réalisées au total (Vic 1/2/3/4, Palavas, Frontignan, Mosson). Un GPS a été utilisé afin de repérer les différents sites de prélèvement. Les points GPS s'affichent Figure 1.

4- Analyses en laboratoire

Préparation et identification des ostracodes

Les sédiments de surface ont été échantillonnés pour chaque carotte au laboratoire. La plus grande carotte, Vic2, a aussi été échantillonnée à quatre niveaux de profondeur : 18-19, 36-37, 54-55 et 68-69 cm. Pour chaque prélèvement, nous avons récupéré une grosse cuillère à soupe de sédiments. Nous avons ensuite estimé le volume de ces prélèvements par déplacement d'eau à l'aide d'une éprouvette graduée (Tables 1 et 2).

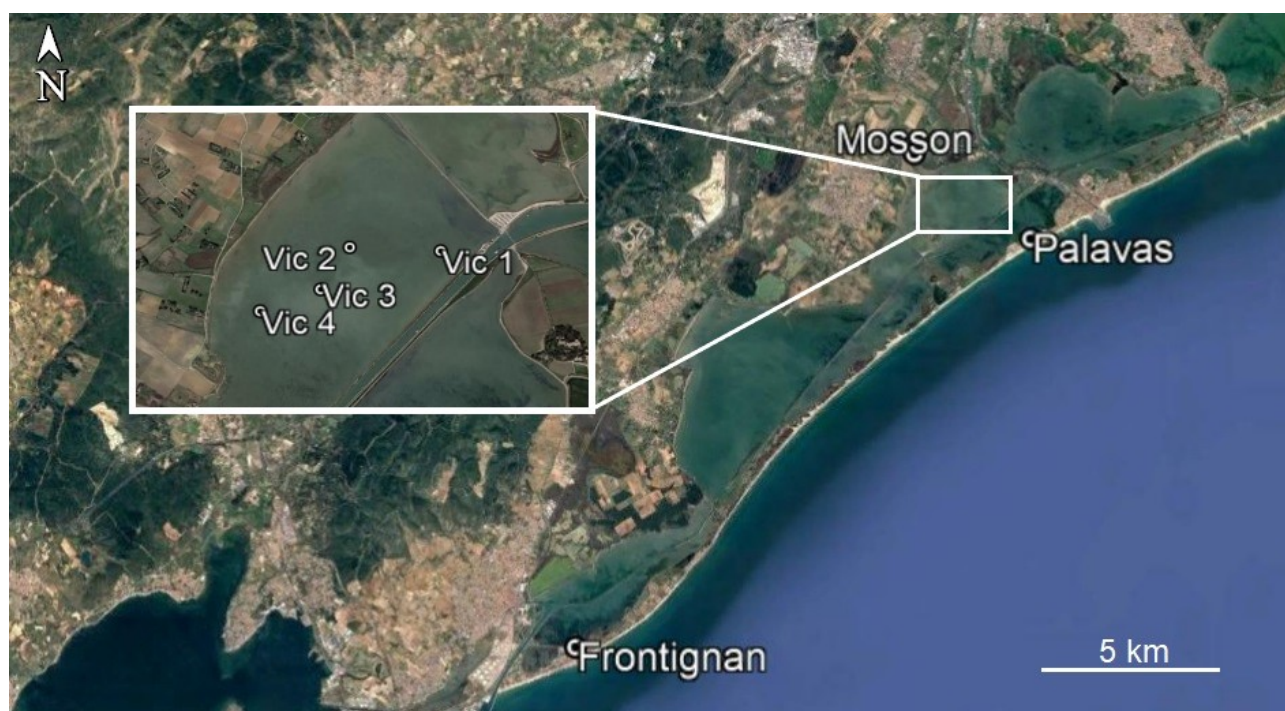


Figure 1. Localisation des différents sites d'échantillonnage dans le complexe lagunaire de Palavas (source Google Earth, 2018). L'étang de Vic-La-Gardiole contenant les sites Vic 1, 2, 3 et 4 est agrandi.

Table 1. Volumes de sédiments prélevés en surface

Sites d'échantillonnage	Vic 1	Vic 2	Vic 3	Vic 4	Palavas	Frontignan	Mosson
Volumes prélevés (ml)	8,0	7,8	9,8	7,5	10,0	7,5	8,5

Table 2. Volumes de sédiments prélevés sur la carotte Vic2

Profondeurs (cm)	18 – 19	36 – 37	54 – 55	68 – 69
Volumes prélevés (ml)	7,0	8,4	6,2	8,0

Les sédiments ainsi prélevés ont été tamisés à une maille de 150 μm afin de récupérer toutes les coquilles d'ostracodes présentes dans les sédiments. Les résidus de tamis ont ensuite été traités à l'hexamétaphosphate (NaPO_3)₆ afin d'éliminer le plus d'argiles résiduelles possible. Les ostracodes ont été observés et comptés à l'aide d'une loupe binoculaire de type PERFEX Edu 1.0. Leur identification a été basée sur des travaux antérieurs (par exemple, Salel et al., 2016). En raison de nombreux individus présentant des valves cassés ou séparées, seuls les ostracodes préservés en entier ont été comptés. Pour effectuer l'identification des espèces

présentes, nous avons pris en compte la forme des valves, la taille et la densité des pores.

Analyses et tests statistiques

Nous avons utilisé le logiciel Excel pour traiter nos données et faire les graphiques. La richesse spécifique a été calculée en fonction du nombre d'espèces par échantillon. La concentration des ostracodes a été établie grâce au déplacement d'eau (Tables 1 et 2) et donc au nombre d'ostracodes retrouvés dans 1 ml de sédiments. Le calcul du pourcentage a été déterminé à partir des comptages bruts de chaque échantillon.

RESULTATS

1- Richesse spécifique

Six espèces ont été trouvées dans l'ensemble des échantillons prélevés (Fig. 2). La richesse spécifique est variable en fonction des sites d'échantillonnage (Fig. 3). Deux espèces d'ostracodes sont majoritairement présentes dans tous les échantillons : *Loxoconcha elliptica* et *Cyprideis torosa*. Cependant, aucun individu de l'espèce *C. torosa* n'a été trouvé dans l'échantillon Vic2 68 cm.

L'espèce *L. elliptica* n'a pas été observée aux profondeurs 18, 36 et 54 cm de l'échantillon Vic 2 ainsi qu'à Mosson et Frontignan. *Aurila convexa* et *Potamocypris vilosa* sont moins abondantes. Elles n'ont en effet été répertoriées qu'une seule fois, respectivement dans les échantillons prélevés sur les sites Vic4 et Palavas. *Heterocypris salina* a été collectée dans les échantillons Vic2 18, 54 et 68 cm et Vic3. Enfin, *Heterocypris* sp. a été trouvée sur les sites Vic1, Vic2 surface, Vic2 68cm, Vic 3, Vic4 et Mosson.

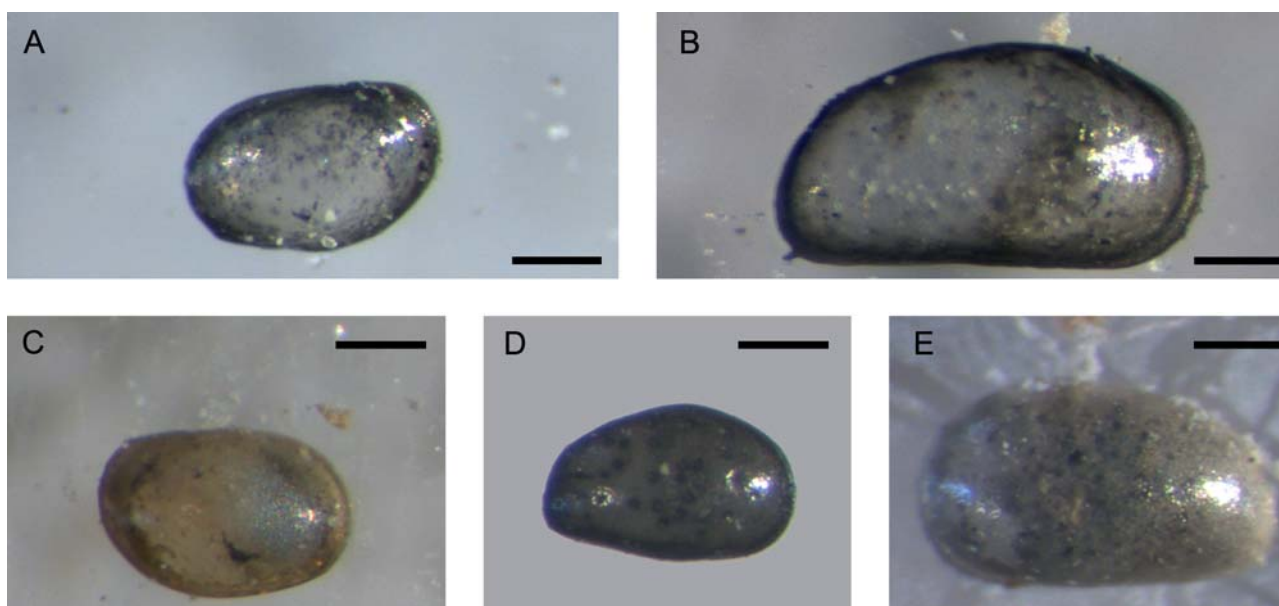


Figure 2. Principaux ostracodes observés : A, *Loxoconcha elliptica* Brady, 1868 ; B, *Cyprideis torosa* Jones, 1857 ; C, *Aurila convexa* Baird, 1850 ; D, *Potamocypris villosa* Jurine, 1820 ; E, *Heterocypris* sp. L'échelle représente une longueur de 0,2 mm.

2- Concentration des ostracodes

Les échantillons de surface présentant les plus grandes concentrations sont ceux de Vic la Gardiole : Vic 1 (60,9 ostracodes/ml), Vic 2 surface (103,6 os/ml), Vic 3 (93,4 os/ml) et Vic 4 (26,8 os/ml). La concentration des échantillons de surface de Palavas, Mosson et Frontignan est significativement moins importante : respectivement, 2,8, 1,5 et 0,2 os/ml.

La concentration des échantillons de la carotte Vic2 est très variable (Fig. 2). Le prélèvement de surface présente une forte concentration

(103,6 os/ml), tandis que la concentration des niveaux sous-jacents est beaucoup plus faible (0,2 à 12,2 os/ml) et ne varie pas en fonction de la profondeur.

3- Pourcentage des espèces d'ostracodes en fonction de la profondeur

Quatre espèces sont présentes dans la carotte Vic2 (Fig. 4) : *Cyprideis torosa* est l'espèce la plus abondante, puis *Loxoconcha elliptica*, et enfin *Heterocypris salina* et *Heterocypris* sp. *C. torosa* domine à 0, 18, 36 et 54 cm de profondeur, avec des pourcentages compris

entre 66,5 et 100 %, mais elle est absente à 68 cm. A cette profondeur, c'est *L. elliptica*

qui domine avec 82,8 %. Les 2 autres espèces ne dépassent jamais 10,3 %.

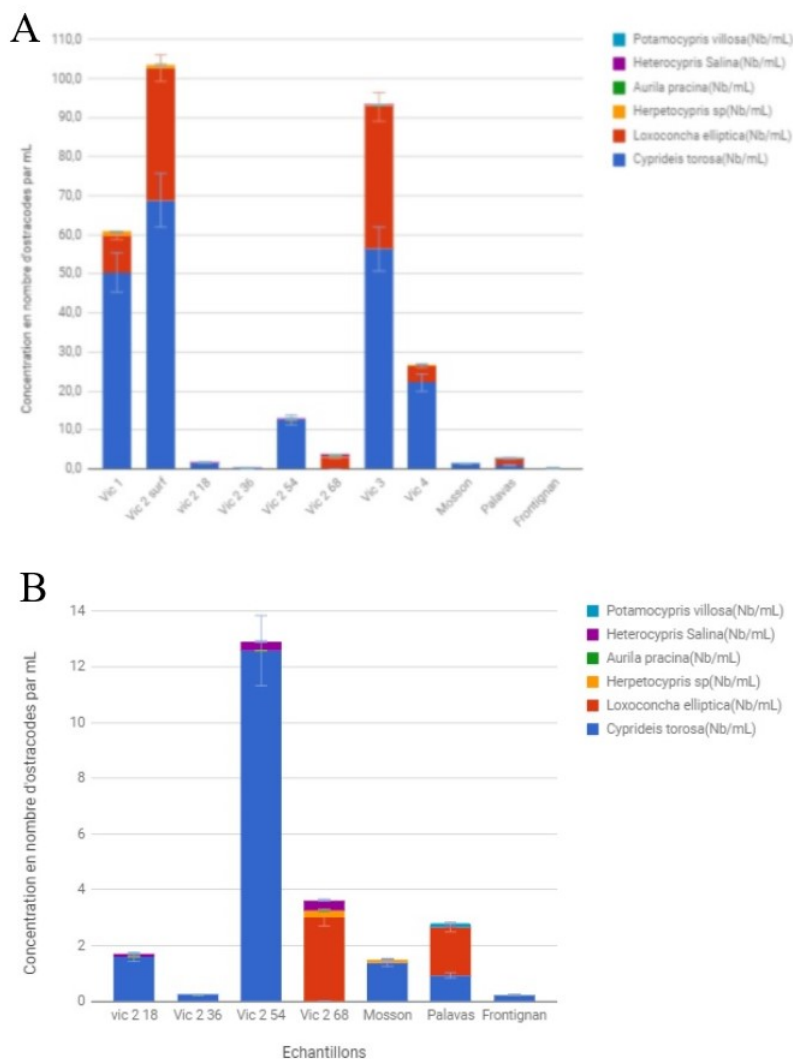


Figure 2. Concentration d'ostracodes en nombre d'individus par mL. A : pour chaque échantillon ; B : pour les échantillons les moins concentrés.

DISCUSSION

1- Écologie des espèces identifiées

Les deux espèces les plus abondantes retrouvées dans nos échantillons sont *Cyprideis torosa* et *Loxoconcha elliptica*. Ce sont des espèces typiques de milieux lagunaires saumâtres à salinité variable (Dortel et al., 2016 ; Salel et al., 2016). Mezquita et al. (2005) notent en outre que la présence de *L. elliptica* marque la séparation entre les domaines estuariens et marins. Toutefois, ces deux espèces présentent des différences de répartition importantes dans la

zone étudiée (Salel et al., 2016) : *C. torosa* recherche plutôt les lagunes isolées, tandis que *L. elliptica* domine vers les embouchures des cours d'eau qui alimentent les lagunes. Le changement observé entre 68 et 54 cm de profondeur à Vic2 pourrait donc traduire l'isolement de la lagune des apports d'eau douce de la Mosson. Si on se base sur le taux d'accumulation sédimentaire moyen de 2,5 mm/an calculé d'après Sabatier & Dezileau (2010) (voir Brondani & Wiltord, 2018 pour plus de détail), cet événement aurait eu lieu entre 1680 et 1730 AD. Il pourrait correspondre à la construction du canal du Rhône à Sète, qui débute vers 1770

mais pour lequel des pans de murs de la cathédrale de Maguelonne ont été vendus dès 1708.

Le substrat semble également jouer un rôle dans leur abondance. En effet, il semblerait que les ostracodes préfèrent les substrats boueux comme celui de l'étang de Vic-La-Gardiole en comparaison avec les substrats

sableux de Frontignan et Palavas. *C. torosa* est une espèce capable de supporter des grandes variations de salinité (Bodergat et al., 1991). Ces études permettent de comprendre pourquoi ces deux espèces très tolérantes aux variations de salinité dominent les assemblages étudiés.

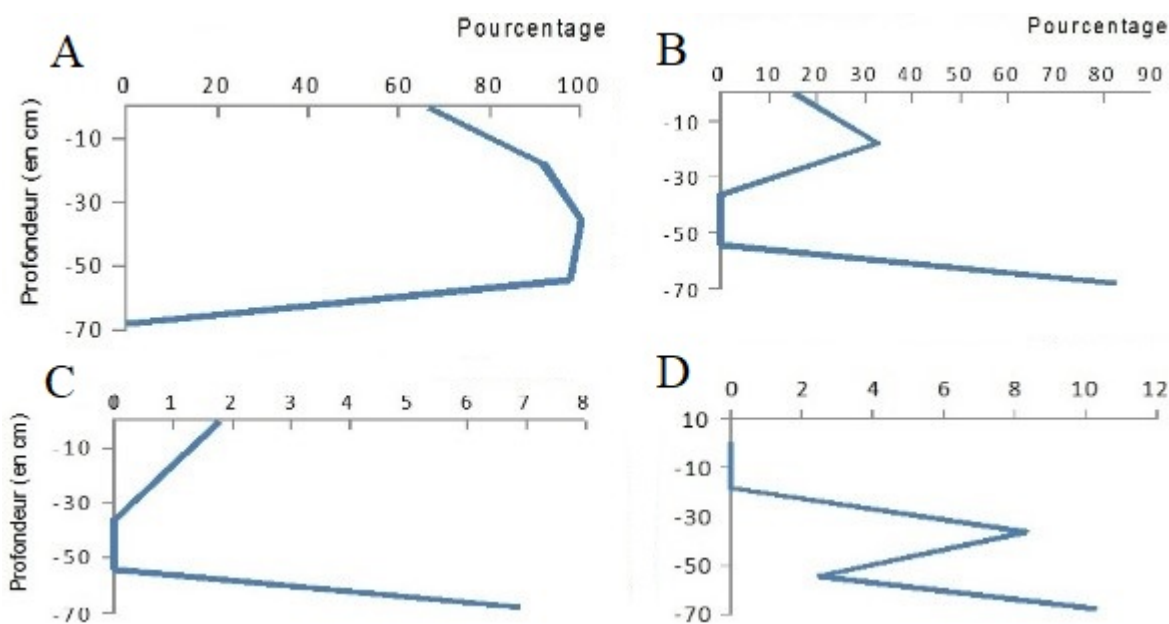


Figure 3. Pourcentage des différents d'ostracodes présents, en fonction de la profondeur (en cm) pour le site Vic 2. A, *Cyprideis torosa* ; B, *Loxoconcha elliptica* ; C, *Heterocypris sp.* ; D, *Heterocypris salina*

2- Concentration des ostracodes

Nous nous attendions à ce que la profondeur influe sur la concentration et la conservation des ostracodes. Les ostracodes présents en profondeur auraient été moins nombreux et moins bien conservés du fait des pressions importantes pouvant dégrader leurs carapaces. Cette hypothèse n'est pas validée, car une concentration très variée d'ostracodes a été observée suivant les différentes profondeurs sédimentaires étudiées dans l'étang de Vic-la-Gardiole.

Un facteur qui peut influencer la concentration en ostracodes est la disponibilité en nutriments et en oxygène dans l'eau (Ruiz et al., 2013). Une concentration élevée en ostracodes témoigne

d'une forte teneur en matière organique car celle-ci est essentielle au bon développement des ostracodes. (Viehberg, 2006). Cela peut expliquer les faibles concentrations observées pour les profondeurs 18, 36 et 68 cm. En effet, à ces profondeurs, la teneur en matière organique est relativement faible (Brondani & Wiltord, 2018). Les variations du niveau de l'eau au cours du temps peuvent aussi influencer les concentrations (Mourguiart et al., 1992). Un niveau d'eau donné peut influencer la présence ou l'absence d'ostracodes de façon importante (Ruiz et al., 2013). Le régime hydrologique influence aussi l'abondance des ces microcrustacés. Plus un milieu est agité, moins il y a d'ostracodes et plus leur comptage sera compliqué dû au grand nombre de carapaces

fragmentées par les courants. De plus, une étude réalisée sur les lagunes du golfe d'Aigues-Mortes a répertorié les événements de tempêtes importants qui ont pu avoir un impact considérable sur l'environnement local (Sabatier & Dezileau, 2010). Cette étude, qui permet de dater approximativement les profondeurs de la carotte Vic2, suggère que les faibles concentrations d'ostracodes à 68 et 36 cm de profondeur correspondent respectivement aux dates 1839 et 1893 durant lesquelles se sont déroulés des événements de tempêtes majeurs qui ont pu avoir un impact négatif sur les populations d'ostracodes.

3- Limites de l'étude

De nombreuses carapaces d'ostracodes observées étaient cassées du fait de leur fragilité (De Deckker & Yokoyama, 2009) et n'ont donc pas été prises en compte pour le comptage ce qui a rendu leur dénombrement plus compliqué et la possible perte d'espèces pour l'étude. Les carapaces cassées ont dû être plus nombreuses que dans les échantillons de départ, car les manipulations n'étaient pas adaptées à la fragilité de la carapace des ostracodes. De plus, les ostracodes ont été observés uniquement sous la loupe binoculaire et pas au microscope électronique à balayage. Cette manipulation a pu biaiser nos résultats étant donné que beaucoup d'espèces d'ostracodes se ressemblent et sont difficiles à identifier. En effet, il a été difficile d'observer les détails concernant l'ornementation des carapace, essentiels à leur identification. Il serait utile dans cette étude de prendre en compte plusieurs facteurs environnementaux, tel que la salinité ou la température à laquelle certaines espèces d'ostracodes sont plus ou moins sensibles (Mezquita et al., 2005). Enfin, pour améliorer la fiabilité des résultats, il aurait pu être judicieux d'étudier les profondeurs des autres sites afin de pouvoir les comparer avec celles du site Vic2.

CONCLUSION

Les échantillons de surface ont présenté une plus forte concentration en ostracode et une plus grande richesse spécifique que ceux des

profondeurs. Pourtant, la concentration très variée d'ostracodes entre les différentes profondeurs laisse supposer que ceux-ci auraient pu être influencés par différents facteurs, comme la disponibilité en matière organique (Ruiz et al., 2013). De plus, nous avons pu remarquer que des événements de tempêtes (Sabatier & Dezileau, 2010) s'étant déroulés à des dates correspondant à certaines profondeurs étudiées pouvaient en partie expliquer la faible abondance d'ostracodes à ces profondeurs. Cela supposerait que les ostracodes enregistrent les changements environnementaux ayant eu lieu dans les étangs palavasiens. Cette théorie ne peut être affirmée avec certitude car la carotte sédimentaire de Vic2 étudiée n'a visiblement pas enregistré des changements assez importants pour que les ostracodes y soient assez sensibles.

REFERENCES

- Bec B., Malet N., Dubroca L., Munaron D., Vaquer A., Collos Y. & Grzebyk D. (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, France.
- Bodergat A.-M., Rio M. & Andreani A.-M. (1991). Composition chimique et ornementation de *Cyprideis torosa* (Crustacea, Ostracoda) dans le domaine paralique. *Oceanologica Acta*, 14 : 505-514.
- Brady G.S. (1868). A monograph of the recent British Ostracoda. *Transactions of the Linnean Society of London*, 26 : 353-495.
- Brondani M. & Wiltord M. (2018). Paléotempêtes dans le Golfe d'Aigues Mortes au cours des 300 dernières années. *Orpalm Synthesis*, 11 (2) : 9-19.
- Carbonel P., Colin J.-P., Danielopol D.L., Löffler H. & Neustrueva I. (1988). Paleoecology of limnic ostracodes : a review of some major topics. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 62 : 413-461.
- 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.
- De Wit R., Rey-Valette., Balavoine J., Ouisse V. & Lifran R. (2017). Restoration ecology of coastal lagoons: new methods for the prediction of ecological trajectories and economic valuation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27 : 137-157.
- 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.
- Horne D.-J., Bruce A. & Whittaker J.-E. (2001). European register of marine species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification. *Collection Patrimoines Naturels*, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, pp. 244-25.
- Jones T.R. (1857). A monograph of the tertiary Entomostraca of England. *Monographs of the Palaeontographical Society*, 9 : 1-68.
- 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.
- Mezquita F., Sanz-Brau A. & Wansard G. (2000). Habitat preferences and population dynamics of Ostracoda in a helocrene spring system. *Canadian Journal of Zoology*, 78 : 840-847.
- Mourguiart P., Argollo J., Corre T., Martin L., Eugenia Montenegro M., Sifeddine A. & Wirrmann D. (1997). Changements limnologiques et climatologiques dans le bassin du lac Titicaca (Bolivie), depuis 30 000 ans. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 325 : 139-146.
- Ruiz F., Abad M., Bodergat A.M., Carbonel P., Rodriguez-Lazaro J., Gonzalez-Regalado M.L., Toscano A., Garcia E.X. & Prenda J. (2013). Freshwater ostracods as environmental tracers. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10 : 1115-1128.
- Sabatier P. & Dezileau L. (2010). Archives sédimentaires dans les lagunes du golfe d'Aigues-Mortes : estimation de l'aléa de tempête depuis 2000 ans. *Quaternaire*, 21 : 5-11.
- Salel T., Bruneton, H. & Lefèvre D. (2016). Ostracods and environmental variability in lagoons and deltas along the north-western Mediterranean coast (Gulf of Lions, France and Ebro delta, Spain). *Revue de Micropaléontologie*, 59 : 425-444.
- Viehberg F.A. (2006). Freshwater ostracod assemblages and their relationship to environmental variables in waters from northeast Germany. *Hydrobiologia*, 571 : 213-224.
- Wansard G. & Mezquita F. (2001). The response of ostracod shell chemistry to seasonal change in a Mediterranean freshwater spring environment. *Journal of Paleolimnology*, 25 : 9-16.
- Zazzali S. (2016). *Paléobiodiversité des ostracodes à la limite Permien moyen - Permien supérieur*. Thèse de Paléontologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 313 p.

Références additionnelles

- Derolez V., Fiandrino A., Munaron D., Ouisse V., Oheix J., Messiaen G., Fortune M. & Mortreux S. (2014). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon. Bilan des résultats 2013. Ifremer
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00210/32154/>
- Myers P., Espinosa R., Parr C.S., Jones T., Hammond G.S., & Dewey T.A. (2018). The Animal Diversity Web
<https://animaldiversity.org>.
- Pailles C., Buchet G., Bardoni D., De Garidel T. & Gandouin E. (2010). Contribution présentée dans le cadre du coloc. "Initiation aux techniques de laboratoire : Bio-Indicateurs", Aix-En-Provence, France.
<https://www.eccorev.fr/IMG/pdf/CPailles.pdf>

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

Texte entièrement réécrit par S. Muller

Oscar Affholder ¹, Lewis Celanie ², Aurélien Grimaud ³

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

¹ oscar.affholder@etu.umontpellier.fr, ² lewis.celanie@etu.umontpellier.fr,

³ aurelien.grimaud@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Christophe Vaschalde

Citation : Affholder O., Celanie L. & Grimaud A. (2018). Identification de bois flottés du littoral de la région de Montpellier (Hérault). *Orpalm-synthesis*, 18 (2) : 55-65.

Résumé : Nous avons étudié des bois flottés provenant de quatre sites du littoral méditerranéen héraultais : l'étang et la plage de Maguelone, et les plages de Frontignan et des Aresquiers. L'identification des échantillons, préalablement transformés en charbons, montre que les bois proviennent majoritairement des ripisylves locales (à proximité de la zone d'échantillonnage) ou régionales. Certains taxons identifiés proviennent d'arbres cultivés dans la région. Enfin, quelques échantillons proviennent de taxons des étages Montagnard et Supraméditerranéen. Les tempêtes, les cours d'eau et les courants marins peuvent expliquer le transport de ces bois.

Mots clés : Mer Méditerranée, courants marins, transport, taphonomie

Abstract: *Anthracological study of driftwood on the coast of the Montpellier region (Hérault, France).* This study is based on the anthracological analysis of driftwood sampled at four sites on the Mediterranean coast of Hérault : the pond and beach of Maguelone and the beaches of Frontignan and les Aresquiers. The identification of these samples shows that most of the wood comes from local (near the sampling zone) or regional riverine taxa. In addition, many identified taxa are particularly grown in the region. Finally, some taxa from more exotic environments (Mountain or Supramediterranean belt) have been identified. Storms, streams and ocean currents would explain the provenance of these woods.

Keywords: Mediterranean Sea, marine currents, transport, taphonomy

Le territoire français métropolitain est connu pour la diversité de ses climats et de ses paysages. Parmi ceux-là, le littoral méditerranéen est considéré comme un *hot-spot* de la biodiversité. Il est à l'interface entre deux systèmes aux conditions physico-chimiques et naturelles totalement différentes : la Mer Méditerranée et le continent. Ce dernier est composé d'un éventail de milieux riches et diversifiés, tels que les nombreuses zones

humides (Camargue, par exemple), alluviales et les formations végétales caractéristiques des étages bioclimatiques des bassins versants convergeant vers les cours d'eau. Ces nombreux biotopes présentent une grande diversité écologique, et abritent une large gamme d'espèces végétales.

Les objectifs de cette étude sont (1) d'identifier divers morceaux de bois retrouvés sur les plages et le bord des étangs de la région héraultaise et (2) d'analyser la

signification biogéographique des taxons identifiés. Le matériel étudié limite notre travail aux plantes vasculaires ligneuses, c'est-à-dire aux Spermaphytes possédant un cambium fonctionnel et produisant du bois. Ce dernier assure la conduction de la sève brute et le soutien de la plante.

L'identification de fragments de bois sur des sites archéologiques apporte des informations sur les activités pratiquées dans la région, les matériaux utilisés et les écosystèmes contemporains. L'anthracologie est la discipline qui vise à identifier les bois à partir de charbons. La carbonisation partielle du bois permet en effet d'observer avec précision les caractéristiques de l'essence en question, sous différents plans anatomiques (Chabal, 1992, 1997). La carbonisation préalable des bois facilite leur identification. Cette identification est nécessaire pour estimer la provenance des échantillons de bois flottés, que l'on retrouve sur les plages ou sur le bord des lagunes. Elle permet ainsi d'évaluer les interactions entre les deux interfaces composant le littoral (Faïn & Rigolio, 1996). Notre étude s'est concentrée sur le littoral languedocien, dans le département de l'Hérault, entre Frontignan et Maguelone.

MATERIEL ET METHODES

1- Zone d'étude

Le littoral héraultais est marqué par un climat méditerranéen, avec des étés secs et des hivers doux et humides. L'automne, et dans une moindre mesure le printemps, sont caractérisés par des pluies abondantes localement appelés "épisodes cévenols". Le département de l'Hérault (34) est traversé par de nombreux cours d'eau qui rejoignent la Méditerranée, comme l'Orb, le Lez et l'Hérault. Ce dernier est un fleuve qui prend sa source dans les Cévennes au Mont Aigoual,

qui parcourt la partie occidentale du Gard et traverse l'Hérault pour se jeter dans la Méditerranée au niveau du Grau d'Agde. Au nord, ce fleuve érode les roches calcaires en formant de profondes gorges, tandis qu'au sud, il serpente dans les plaines alluviales, bordé par une ripisylve souvent très dégradée. Les épisodes cévenols, susceptibles de provoquer des crues, peuvent engendrer une augmentation considérable du débit moyen des fleuves. Par exemple, durant la période automnale, le débit de l'Hérault peut dépasser 1500 m³/s (<http://www.rdbrmc.com/hydroreel2/index.php>). Le Rhône, situé à l'est dans le département des Bouches-du-Rhône (13), est le plus grand fleuve français se jetant dans la Méditerranée. Il peut également charrier des quantités importantes de bois flottants, qui sont ensuite ramenés sur le littoral par les courants marins. Nous avons prélevé une centaine de bois flottés sur quatre sites différents : l'étang de Maguelone (en réalité, étang de Vic), la plage de Maguelone, la plage de Frontignan et la plage des Aresquiers (Fig. 1). Le temps passé à l'étang de Maguelone nous a permis de nous focaliser davantage sur la flore de ce milieu saumâtre. Au bord de l'étang, se développent des végétaux halophiles telles que la salicorne d'Europe (*Salicornia europaea*), la salicorne en buisson (*Sarcocornia fruticosa*), la soude commune (*Salsola soda*) et la soude ligneuse (*Suaeda vera*), qui appartiennent toutes à la famille des Amaranthaceae (anciennes Chenopodiaceae). En s'éloignant de l'eau, se rencontrent des plantes de plus grande taille et moins tolérantes au sel comme les tamaris (*Tamarix gallica*) et des Poacées comme la canne de Provence (*Arundo donax*) et le roseau commun (*Phragmites australis*). Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le pin pignon (*Pinus pinea*) constituent localement des boisements sur le littoral et sur le massif de la Gardiole (Dupias et al., 1966).



Figure 1. Emplacement des sites d'échantillonnage sur le littoral héraultais (fond de carte : Google Maps)

2- Matériel étudié

Les bois flottés ont été prélevés sur quatre sites (trois plages et un étang) :

- L'étang de Maguelone est le seul milieu semi-ouvert étudié. C'est une étendue d'eau bordée par un cordon littoral la séparant de la mer. Cet étang est alimenté par un petit cours d'eau appelé "la Robine". Une trentaine de bois flottés de tailles variées a été prélevée aléatoirement sur un linéaire d'environ 250 m, dans une zone plutôt encombrée par la vase et faiblement anthropisée.
- La plage de Maguelone. Les bois flottés ont été récoltés sur 200 m environ le long de la plage. Les souches à fort diamètre ont été sciées afin d'en prélever un fragment.
- La plage de Frontignan. La présence de nombreuses digues et la proximité des habitations et des jardins attestent l'importante anthropisation de ce milieu. Contrairement aux trois autres sites d'échantillonnage, une faible quantité de bois flottés a été retrouvée, probablement en raison des sessions régulières de nettoyage de la plage. Une trentaine de bois flottés de petite taille a été prélevée

sur 200 m environ.

- Enfin, la plage des Aresquiers est une plage anthropisée. Les grosses souches ont été sciées et les bois de petite taille ont été prélevés sur 100 m environ.

3- Travail de laboratoire

Nous avons choisi de ne pas analyser les bois flottés provenant de la plage de Frontignan, qui présentait le plus de biais parmi les quatre sites échantillonnés (anthropisation, nettoyage). Le protocole s'est inspiré de celui de [Faïn & Rigolio \(1996\)](#).

74 échantillons de bois ont été débités en petits fragments, qui ont été séchés dans une étuve à 30°C pendant 4 jours. Une fois secs, ils ont été enveloppés de papier aluminium afin d'éviter la combustion totale du bois. Ils ont été placés dans du sable de Fontainebleau (très fin) afin d'éviter qu'ils se réduisent en cendres, avant d'être mis dans un four durant 1h, à 450°C. Ce chauffage permet de passer du bois au charbon de bois, sans produire du feu. La carbonisation ou pyrolyse se réalise depuis la surface jusqu'au cœur du bois. Elle est variable selon le diamètre et le taux d'humidité de l'échantillon, ainsi que selon

l'espèce. La carbonisation ne dénature pas la structure interne du bois : elle engendre seulement une diminution de son volume et un amincissement des parois cellulaires. Les fragments de bois carbonisés sont fracturés manuellement selon trois plans anatomiques (transversal, longitudinal tangentiel et longitudinal radial), et observés sous un microscope photonique à réflexion équipé d'un fond clair-fond noir. L'observation de l'anatomie des charbons permet leur identification au niveau de la famille, du genre, voire de l'espèce. Les identifications ont été réalisées à l'aide de clés d'identification (Schweingruber, 1990 ; Vernet, 2001) et de la collection de référence de charbons de bois actuels de l'ISE-M. L'écologie de chacun des taxons d'intérêt est basée sur plusieurs ouvrages (Lieutaghi, 2004 ; Rameau et al., 2008 ; Boucher & Doux, 2011).

RESULTATS

Sur les 74 fragments de charbon de bois analysés, 22 taxons (Table 1) ont été identifiés :

- des Angiospermes forestiers : *Populus* (Peuplier), *Salix* (Saule), *Fraxinus* (Frêne) sont les mieux représentés. Le genre *Fraxinus* est le taxon le plus fréquent sur chacun des sites. Le genre *Acer* a été récolté en proportions importantes, et un de ces fragments a pu être identifié comme appartenant au type *campestre* (regroupant les espèces *A. campestre* et *A. opalus*). Les échantillons de *Sambucus* (Sureau) correspondent probablement à *S. nigra*, car *S. ebulus* est une espèce herbacée. *Corylus* (Noisetier), *Fagus* (Hêtre), *Laurus nobilis* (Laurier sauce) et *Ostrya carpinifolia*

(Charme-houblon) ont également été trouvés.

- des plantes du littoral : *Arundo/Phragmites*, *Sarcocornia/Suaeda* et *Tamarix gallica* (Tamaris). *Arundo/Phragmites* intègre le roseau commun (*Phragmites australis*) et la Canne de Provence (*Arundo donax*), qui sont des Monocotylédones très répandues dans le sud de l'Europe. Les salicornes et les soudes appartiennent à la famille des Amaranthaceae. L'identification du bois de cette famille est compliquée. Macroscopiquement, seul le diamètre important du fragment de bois nous a permis de proposer le groupe *Sarcocornia/Suaeda*. Au microscope, la structure du bois et ses larges rayons en vue longitudinale tangentielle supportent cette idée (Annexe 1).

- des taxons cultivés ou utilisés par les populations humaines : *Ficus* (Figuier) correspond très probablement à *Ficus carica*, qui est la seule espèce de ce genre en Europe. Du bois de *Castanea* (Châtaignier), de *Platanus* (Platane) et de *Prunus* (Abricotier, Cerisier, Prunier, etc.) a également été observé.

- des Gymnospermes : *Pinus halepensis* (Pin d'Alep), *Pinus pinea* (Pin Parasol) et *Larix/Picea* (regroupant le Mélèze et l'Épicéa).

- enfin, deux taxons n'ont été identifiés qu'au rang de la famille et de la sous-famille : Asteraceae et Rosaceae Prunoideae.

Ces taxons ont été regroupés en 6 milieux (Fig. 2) : Ripisylve/forêt alluviale ; Chênaie mixte méditerranéenne et garrigue ; Milieu halophile ; Milieu montagnard ; Plantes potentiellement ornementales, cultivées ou exploitées ; Autres.

Table 1. Taxons échantillonné, classés selon leur écologie et leur statut vis-à-vis de l'Homme

Milieux	Etang de Maguelone	Plage de Maguelone	Plage des Aresquiers
Ripisylve/forêt alluviale (frênaie/ormaie)	<i>Populus</i> (1) <i>Salix</i> (1) <i>Fraxinus</i> (9) <i>Ulmus</i> (2)	<i>Populus</i> (5) <i>Salix</i> (2) <i>Fraxinus</i> (8) <i>Alnus</i> (2)	<i>Populus</i> (6) <i>Salix</i> (4) <i>Fraxinus</i> (7) <i>Arundo/Phragmites</i> (1)
Chênaie mixte méditerranéenne et garrigue	<i>Acer</i> (1) <i>Sambucus</i> (1)	<i>Pinus halepensis</i> (1) <i>Pinus pinea</i> (1) <i>Sambucus</i> (1)	<i>Ostrya carpinifolia</i> (1) <i>Laurus nobilis</i> (1) <i>Acer type campestre</i> (1) <i>Acer</i> (1)
Milieu halophile	<i>Tamarix</i> (2)	<i>Sarcocornia/Suaeda</i> (1)	<i>Tamarix</i> (1)
Milieu montagnard	<i>Corylus</i> (1) <i>Fagus</i> (2) <i>Larix/Picea</i> (1)	<i>Corylus</i> (3)	<i>Corylus</i> (2)
Plantes potentiellement ornementales/cultivées/ exploitées	<i>Ficus</i> (1) <i>Platanus</i> (1) <i>Prunus</i> (1) Rosaceae Prunoideae (1)	<i>Castanea</i> (1)	<i>Ficus</i> (1)
Autres	Asteraceae (1)	/	/

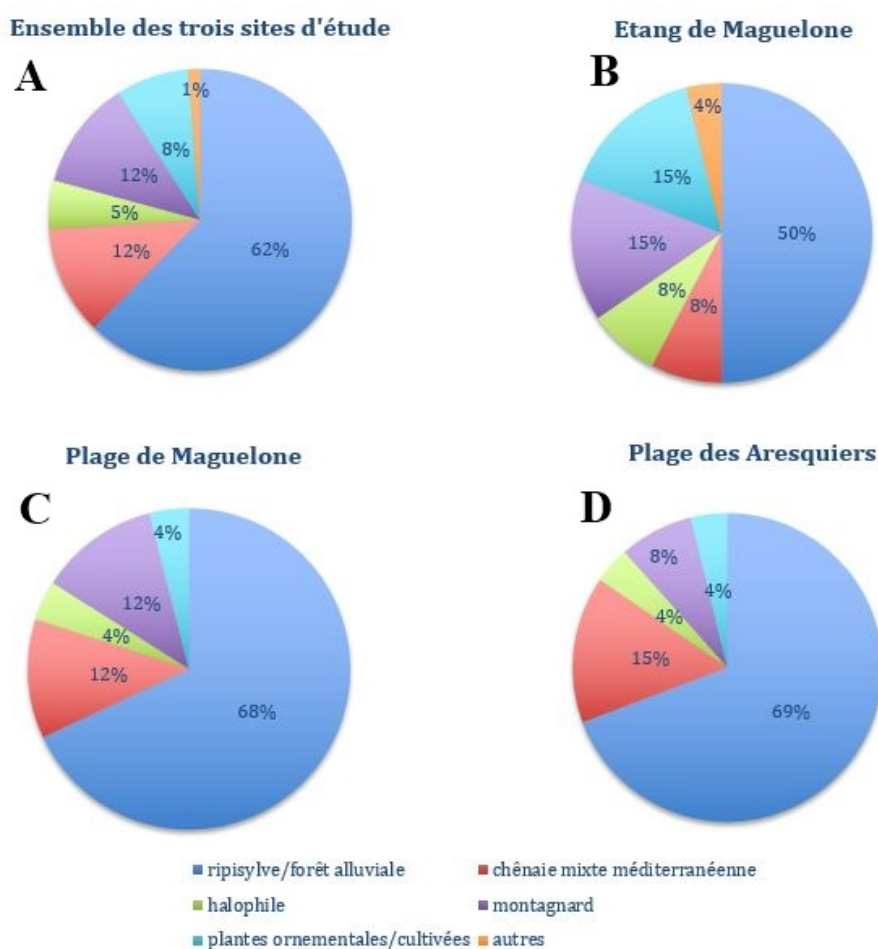


Figure 2. Proportion des différents milieux identifiés sur l'ensemble des 3 sites d'étude (A), sur l'étang de Maguelone (B), sur la plage de Maguelone (C) et sur la plage des Aresquiers (D)

DISCUSSION

1- Ecologie et biogéographie des taxons identifiés

Les genres *Populus* (Peuplier), *Salix* (Saule) et *Fraxinus* (Frêne) sont les plus abondants (Table 1). Ils se développent principalement au bord des cours d'eau et regroupent plusieurs espèces de ripisylve. *Populus* est un genre très commun, peuplant les milieux humides de basse altitude sur le pourtour méditerranéen. Il est résistant au vent, à la sécheresse et même au sel. *Salix* est également répandu dans les plaines et vallées humides, entre 500 et 1500 m d'altitude. Enfin, le genre *Fraxinus*, le plus représenté sur chaque site, se développe à des altitudes comprises entre 0 et 1400 m, en ripisylve ou sur des sols profonds. D'autres taxons de la ripisylve, en proportions moins importantes, ont également été identifiés. C'est le cas d'*Ulmus* (Orme), qui affectionne les ripisylves et les forêts alluviales, et d'*Alnus* (Aulne), qui fréquente les zones marécageuses et les bords des cours d'eau.

Le second écosystème le plus représenté sur les trois sites d'étude est la chênaie mixte méditerranéenne. Le genre *Acer* a été récolté en plus fortes proportions, avec un fragment de bois identifié comme *Acer* type *campestre*. Ce genre est commun dans les forêts caducifoliées médio-européennes, avec une répartition distribuée sur l'ensemble de la zone eurasiatique méridionale. *Sambucus* (Sureau), qui correspond probablement à *S. nigra*, est nitrophile, et se développe sur sols profonds, en forêt alluviale ou à proximité des habitations. On peut associer à ce milieu les pins, dont deux espèces ont été identifiées (*Pinus halepensis* et *P. pinea*). Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), fréquent autour du bassin méditerranéen occidental, constitue des formations secondaires post-culturelles ou post-incendie. Le Pin parasol (*Pinus pinea*), également répandu sur le pourtour du bassin méditerranéen, est introduit dans la région d'étude. Ces deux espèces ont été observées près de la zone d'étude (Dupias et al., 1966), entre l'étang de Vic-la-Gardiole et les plages

des Aresquiers et de Maguelone. Une autre espèce répandue dans le bassin méditerranéen est *Laurus nobilis* (Laurier-sauce), qui se développe en ripisylve. Un taxon surprenant est *Ostrya carpinifolia*, qui se développant jusqu'à 1300 m d'altitude, dans les étages Mésoméditerranéen, Supraméditerranéen et Montagnard, dans la partie sud-orientale de l'Europe. En France, le Charme-Houblon n'est naturellement présent que dans les Alpes-Maritimes (06) et en Corse.

Le milieu halophile, pourtant local, n'est représenté que par deux taxons. *Tamarix gallica* (Tamaris commun) est largement répandu dans la région méditerranéenne. Il fréquente les milieux riches en sel et a d'ailleurs été observé plusieurs fois sur la zone d'étude, mais il peut également se développer sur le bord des rivières et fleuves côtiers. Il est notamment présent sur les rives du Rhône. *Sarcocornia/Suaeda* (Amaranthaceae) correspondent à la salicorne ligneuse et à la soude, toutes deux très communes sur les sites d'échantillonnage. Un autre taxon peut se développer à la fois sur le littoral et en ripisylve : *Arundo/Phragmites*. Le Roseau commun (*Phragmites australis*) et la Canne de Provence (*Arundo donax*) sont des Monocotylédones très répandues en Europe, en particulier dans les milieux humides pour *Phragmites*.

Le milieu montagnard est représenté par trois taxons, dont *Corylus* en plus grande proportion. En plus d'être des arbustes cultivés, les noisetiers occupent les lisières forestières et les clairières jusqu'à 1700 m d'altitude, et sont rares sur la côte méditerranéenne à l'état naturel. *Fagus* (Hêtre) est présent dans une grande partie de la France. Dans notre région, il se développe sur les reliefs cévenols, comme le mont Aigoual, par exemple. Il y est associé à des conifères, indigènes comme le Sapin (*Abies alba*) ou introduits, comme le Mélèze (*Larix*) ou l'Épicéa (*Picea*). Un morceau de bois étudié appartient à une de ces deux espèces, toutes deux naturellement présentes en France uniquement dans l'étage Subalpin des Alpes.

Plusieurs taxons identifiés sont des végétaux

souvent cultivés ou utilisés en ornementation. C'est le cas du genre *Ficus*, probablement *Ficus carica*, le Figuiier commun, présent dans toute l'Europe et cultivé dans toute la région méditerranéenne. Cela concerne aussi le genre *Prunus*, très diversifié, qui englobe de nombreuses espèces cultivées, telles que le Prunier (*Prunus domestica*), et sauvages, comme le Prunellier (*P. spinosa*). *Castanea sativa*, cultivé pour la châtaigne, est très commun sur les reliefs siliceux des Cévennes, de la Corse et des Pyrénées Orientales. Il se développe essentiellement dans l'étage Supraméditerranéen. Enfin, le Platane (*Platanus*), cultivé pour l'ornement, s'est naturalisé sur le bord des cours d'eau méditerranéens (par exemple, l'Hérault).

La diversité taxonomique est très variable entre les sites. Les deux plages étudiées (Aresquiers et Maguelone) présentent une diversité taxonomique relativement faible en comparaison de l'étang de Maguelone, un milieu semi-fermé. En effet, 15 taxons ont été relevés dans la zone de l'étang, 11 sur la plage des Aresquiers et 9 sur celle de Maguelone. Cependant, du côté des plages, les effectifs de chaque taxon sont plus importants comparés à ceux de l'étang où la majorité des taxons n'a été observée qu'une seule fois (par exemple, *Platanus* ou *Larix/Picea*). De plus, la grande partie des taxons identifiés fait partie du

groupe des Angiospermes (reconnaissables anatomiquement par un bois hétéroxylé) Eudicots. Seulement trois taxons font partie des Gymnospermes (deux Pins et un Épicéa ou Mélèze) et une seule Monocotylédone a été relevée. En outre, nous remarquons, étonnamment, l'absence totale de végétaux abondants dans la région de Montpellier, comme les Genévriers, les Chênes, l'Arbousier, la Vigne et l'Olivier.

2- Provenance des bois flottés

La biogéographie des assemblages de bois flottés permet de proposer diverses hypothèses quant à la provenance de ces bois. Ces bois peuvent être charriés d'une zone à une autre par l'intermédiaire des cours d'eau et des courants marins. Les cours d'eau situés à proximité de notre zone d'étude (Lez, Vidourle), peuvent avoir charrié de grandes quantités de bois, en particulier lors des crues. Ces bois auraient alors suivi les courants marins les menant vers l'Ouest de la Méditerranée. En effet, le courant principal du Golfe du Lion circule d'est en ouest (flèche bleue ; Fig. 3). Certains des bois morts pourraient ainsi s'échouer sur les plages héraultaises, telles que celles des Aresquiers et de Maguelone, ainsi que sur les berges de l'étang de Maguelone.

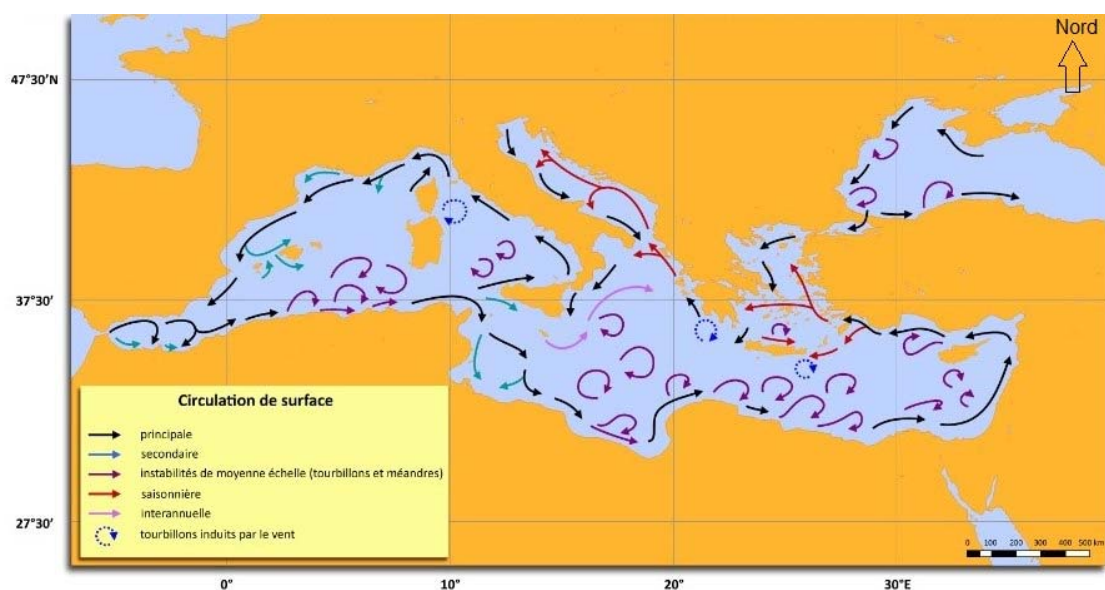


Figure 3. Courants marins de surface de la mer Méditerranée (d'après Millot & Taupier-Letage, 2005)

D'autres rivières et fleuves côtiers, situés plus loin de la zone d'étude pourraient également intervenir dans le charriage des bois flottés. C'est le cas du Rhône, le fleuve majeur se jetant à proximité des zones d'échantillonnage, avec un débit impressionnant de près de 1700 m³ (Banque Hydro-MEDDE, 2013). Après le Nil, c'est le deuxième fleuve par le débit se jetant dans la Méditerranée. A son embouchure, il forme le delta de la Camargue. Les sites d'échantillonnage se situant à l'Ouest de l'embouchure du Rhône, il est probable que certains bois relevés sur notre zone d'étude aient été charriés par le Rhône.

De nombreux bois récoltés sur la zone d'étude proviennent ainsi probablement de la végétation se développant sur les rives des rivières et des fleuves situés à l'est de notre zone d'étude. C'est le cas notamment des genres communs en ripisylves, comme *Fraxinus*, *Laurus nobilis*, *Populus*, *Salix* ou *Sambucus*. Lors d'épisodes importants de précipitations, tels que les pluies cévenoles du Languedoc-Roussillon, les crues pourraient emporter des branches et des troncs, les charriant jusqu'à la mer. C'est probablement également le cas de *Corylus*, *Fagus* et *Larix/Picea*, se développant normalement en milieu montagnard, plus ou moins éloignés des cours d'eau. Leur présence dans les assemblages de bois flottés s'explique sans doute par le fait que des rameaux morts, provenant d'individus vivant à proximité d'une rivière aient dévalé la pente jusqu'au cours d'eau (Faïn & Rigolio, 1996).

Il est peu probable que les échantillons aient été charriés par des cours d'eau qui, tels que l'Hérault ou l'Orb, se jettent dans la Méditerranée à l'ouest des sites d'échantillonnage. Il s'avère également peu probable que les bois flottés proviennent des côtes italiennes, puisque seul un courant secondaire traverse la Méditerranée depuis l'Italie jusqu'à l'Espagne (flèche noire) sans longer le Golfe du Lion. Cependant, il n'est pas à négliger que certains fragments de bois, provenant d'Italie, empruntent le courant marin longeant le Golfe du Lion (flèche bleue), même si cette proportion de bois est

faible. Par exemple, nous pouvons supposer que le fragment d'*Ostrya* provienne des côtes italiennes ou du littoral des Alpes Maritimes.

La présence sur les plages de taxons de la chênaie mixte méditerranéenne pourrait s'expliquer par l'existence de plantations. C'est ici essentiellement le cas de l'érable (*Acer*). A part, ce genre, aucun des taxons typiques de la garrigue n'a été identifié. L'absence de ces taxons pourrait s'expliquer par le fait qu'ils se développent dans des milieux assez éloignés des cours d'eau, limitant ainsi la probabilité de transport des rameaux morts.

Les pins (*Pinus halepensis*, *P. pinea*) sont communs dans la région, soit en dynamique post-perturbation, soit en plantations. De nombreux pins ont été observés à proximité de la zone d'échantillonnage (Dupias et al., 1966) et sur la Gardiole (Barthe et al., 2018). Ensuite, de nombreux taxons potentiellement ornementaux ou cultivables pourraient également provenir des zones agricoles proches des cours d'eau ou, plus simplement, des habitations localisées sur le littoral héraultais. Pourtant, deux taxons particulièrement cultivés sur le pourtour méditerranéen, n'ont pas été identifiés. Il s'agit de l'Olivier (*Olea*) et de la Vigne (*Vitis*). Il est possible que les sarments de vigne et les rameaux d'olivier taillés soient directement brûlés ou utilisés par les agriculteurs. Enfin, les essences halophiles (*Sarcocornia/Suaeda*, *Tamarix*) sont présentes localement (Dupias et al., 1966), ce qui explique leur présence dans les assemblages de bois flottés.

3- Causes possibles de l'échouage des bois flottés

Les nombreuses tempêtes survenues juste avant la session d'échantillonnage, principalement celles du 10 décembre 2017 et du 6 janvier 2018, peuvent expliquer l'abondance des bois flottés retrouvée sur l'étang et sur les plages (<http://littoral.languedocroussillon.fr>). Il semblerait logique que les plages, étant des milieux ouverts, reçoivent une quantité de

bois flottés plus importante que l'étang, un milieu davantage fermé et en contact moins direct avec les courants marins. Toutefois, la diversité taxonomique relevée est moindre sur les plages par rapport aux berges de l'étang. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les plages aient été nettoyées pour accueillir les habitants et les touristes, réduisant ainsi la diversité taxonomique. En revanche, l'étang de Maguelone est faiblement exposé aux activités humaines et serait une véritable zone d'accumulation des essences au cours des années.

La comparaison de nos résultats avec ceux de [Barbier et al. \(2016\)](#) révèle des différences importantes, puisque ces auteurs avaient identifié des taxons typiquement méditerranéens (*Arbutus*, *Ericaceae*, *Olea*, *Quercus*, *Vitis*), absents de nos collectes. Par contre, nos données confirment que de nombreux taxons sont issus de ripisylves proches des zones d'échantillonnage (*Fraxinus*, *Populus*, *Salix*) et qu'une faible part est d'origine lointaine (*Castanea*, *Corylus*, *Fagus*, *Larix/Picea*).

CONCLUSION

L'identification des bois flottés montre que la majorité des échantillons récoltés proviennent des milieux méditerranéens côtiers et des ripisylves bordant les cours d'eau se jetant à l'est de la zone d'échantillonnage. Ces bois ont probablement été transportés lors de phénomènes climatiques importants, tels que des crues ou des tempêtes. Quelques taxons d'origine lointaine révèlent des transports à longue distance depuis les reliefs de l'arrière-pays (taxons montagnards), voire depuis les Alpes Maritimes ou l'Italie (*Ostrya carpinifolia*). Il aurait été intéressant de réaliser des sessions d'échantillonnage dans des zones plus proches du Rhône, le fleuve principal de la région. La comparaison avec nos résultats permettrait de déterminer l'influence du Rhône sur la répartition des bois flottés charriés sur les côtes du Golfe du Lion.

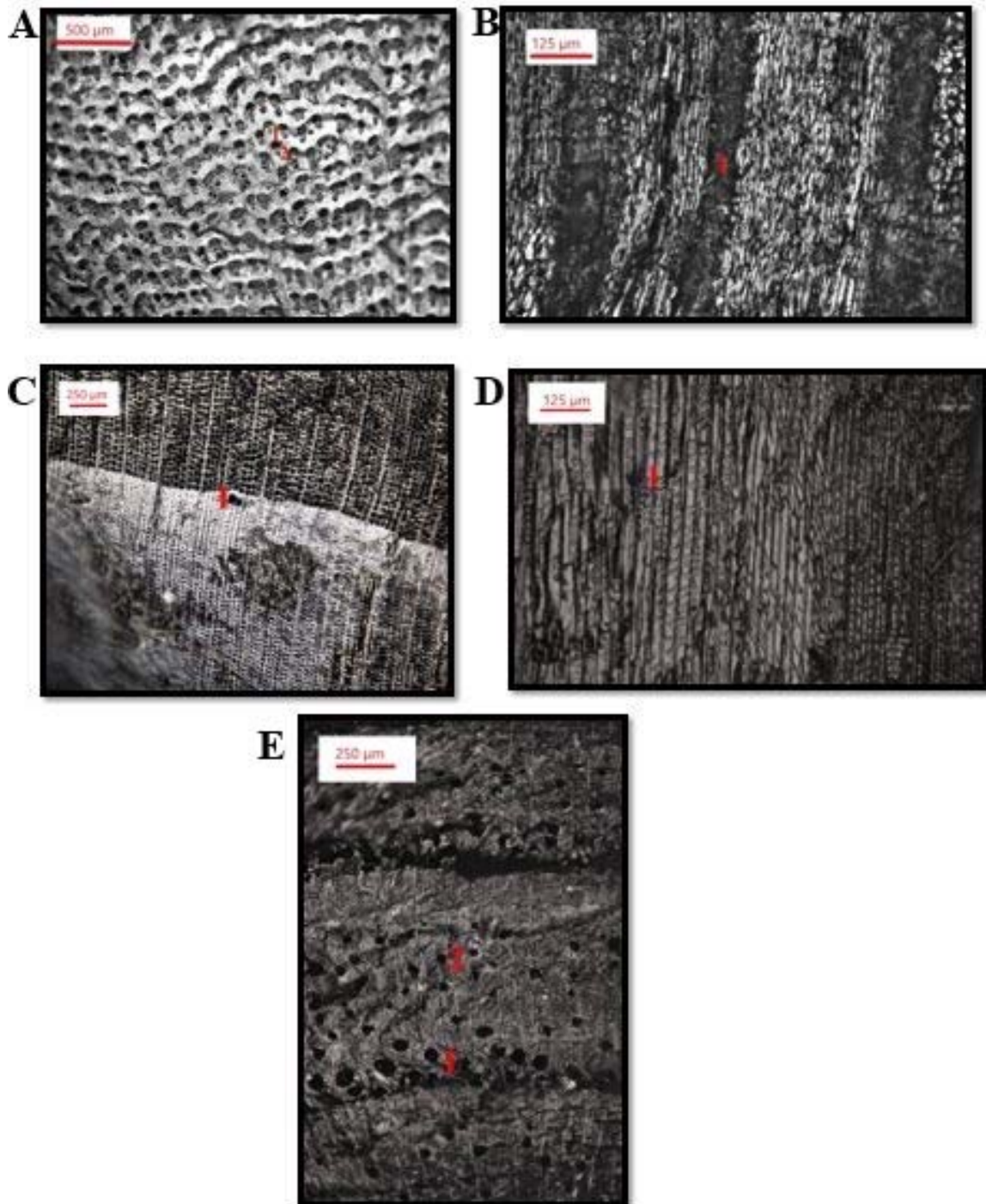
REFERENCES

- Banque Hydro-MEDDE (2013). *Synthèse de la Banque Hydro - Le Rhône à Beaucaire (V7200010)*.
- 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.
- Barthe M., Codou I. & Siche L. (2018). Etude comparative de la dynamique d'accroissement de trois populations de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) du massif de la Gardiole (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 11 (2) : 69-79.
- Boucher C. & Doux Y. (2011). *Guide des arbres et arbustes de Méditerranée, 60 arbres et 190 arbustes décrits et illustrés*. Editions Delachaux et Niestlé, Lonay (Suisse), 320 p.
- Chabal L. (1992). La représentativité paléoécologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. *Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques*, 139 : 213-236.
- Chabal L. (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive). L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Documents d'archéologie française, 67. Maison des Sciences de l'Homme, Paris.
- Dupias G., Molinier R., Corre J. & Trabaud L. (1966). *Carte de la végétation de la France, Montpellier*. CNRS, Paris.
- 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, Montpellier.
- Lieutaghi P. (2004). *Les livres des arbres, arbustes et arbrisseaux*. Actes Sud, Arles.
- Rameau J.-C., Mansion D., Dumé G. & Gauberville C. (2008). *Flore forestière française - Guide écologique illustré. Vol. 3 : Région méditerranéenne*. Institut pour le Développement Forestier, Paris.
- 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.

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, Paris.

ANNEXE 1. Anatomie du bois de trois taxons réalisés au microscope photonique à réflexion fond clair-fond noir. A-B. *Amaranthaceae* (*Sarcocornia/Suaeda*) : A. Plan transversal montrant le phloème (1) et le xylème (2) ; B. Plan longitudinal tangentiel présentant un rayon large (1). C-D. *Larix/Picea* : C. Plan transversal présentant deux canaux résinifères (1) ; D. Plan longitudinal radial montrant les champs de croisement entre les trachéides et les rayons, composés de ponctuations picéoïdes (1). E. : *Fraxinus*. Plan transversal montrant de gros vaisseaux formant une zone poreuse en bois initial ainsi que des petits vaisseaux du bois final (2).



ETUDE COMPARATIVE DE LA DYNAMIQUE D'ACCROISSEMENT DE TROIS POPULATIONS DE PIN D'ALEP (*PINUS HALEPENSIS*) DU MASSIF DE LA GARDIOLE (HERAULT)

Mathilde Barthe ¹, Isabelle Codou ², Lisa Siche ³

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

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

¹ mathilde.barthe@etu.umontpellier.fr, ² isabelle.codou@etu.umontpellier.fr,

³ lisa.siche@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Benoît Brossier, Gwenaël Magne

Citation : Barthe M., Codou I. & Siche L. (2018). Etude comparative de la dynamique d'accroissement de trois populations de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) du massif de la Gardiole (Hérault). *Orpalm Synthesis*, 11(2) : 67-77.

Résumé : Dans le contexte actuel du changement global, mieux comprendre l'influence climatique et écologique sur la croissance des arbres est essentielle. Cette étude réalisée sur le massif de la Gardiole porte sur trois peuplements de *Pinus halepensis*. La dendrologie a permis de mettre en évidence la présence ou non d'écarts de croissance inter- et intra-population. Des dynamiques de croissance similaires ont pu être observées sur les trois sites, témoignant d'une influence climatique commune sur le massif. Cependant, des variations inter- et intra-population sont également ressorties des analyses, preuve d'un impact autre à l'échelle des sites, voir des individus mêmes.

Mots clés : Cerne de croissance, dendrochronologie, compétition, climatologie

Abstract: Comparative study of growth dynamics of three populations of Aleppo Pine (*Pinus halepensis*) at Massif de la Gardiole (Hérault). In the present-day context of global change, better understanding climatic and ecological influence on tree growth is essential. This study carried out on the hill of the Gardiole Massif concerns three stands of *Pinus halepensis*. Dendrology allowed to highlight the presence or absence of inter- and intra-population growth differences. Similar growth dynamics were observed at the three sites, indicating a common climate influence. However, inter and intra-population variations also emerged from the analyses, showing other determinisms at the site scale, or even at individual scale.

Keywords: Tree rings, dendrochronology, competition, climatology

P*inus halepensis*, un conifère sempervirent de la famille des *Pinaceae* (Rameau et al., 2008), est présent dans tout le bassin méditerranéen. Il recherche les zones chaudes, mais il se retrouve jusqu'à 1600 m d'altitude au sud de son aire de répartition (Rameau et al., 2008). Il présente une préférence pour les sols plutôt secs, calcaires à argilo-calcaires. Il supporte des périodes de sécheresse prolongées, mais un

excès d'humidité ou de neige peut lui être fatal (Nicault et al., 2001 ; El Khorchani et al., 2007). La croissance des cernes débute par une phase de croissance printanière, suivie d'une période de repos estival et d'une reprise de croissance à l'automne. Sa croissance radiale est essentiellement déterminée par la quantité de précipitations au printemps et à l'automne (Gadbin-Henry, 1994 ; Nicault et al., 2001).

Avec le développement du tourisme dans les

régions méditerranéennes, l'aménagement des paysages devient prioritaire (Guérin, 1970 ; Arnaud et al., 1994). Ainsi, de nombreux reboisements de différentes essences (pins, cèdres, cyprès, etc.) ont eu lieu au cours du 20^e siècle, dans le but de valoriser les paysages du littoral languedocien (Guérin, 1970). Cela a permis de multiplier considérablement les zones boisées de la région (Lepart et al., 1996). Le massif de la Gardiole, de par son attrait touristique, a également été reboisé (Guérin, 1970) : plusieurs centaines d'hectares de différentes espèces de Pin y ont été plantées dès la fin des années 1960. Le pin d'Alep, aujourd'hui très présent sur le massif, peut être observé sur des zones aux conditions environnementales bien différentes (exposition, compétition, aménagement, milieu ouvert).

Avec l'intérêt grandissant de la préservation des forêts, mieux comprendre l'impact du climat sur les peuplements devient primordial avec les changements globaux (Khaleghi, 2018). De plus, déterminer les facteurs écologiques influençant la croissance radiale permettrait de déterminer si les arbres issus de reboisements sont adaptés à leur milieu (Fritts, 1976).

L'étude présentée, s'est basée sur l'analyse dendroécologique et dendroclimatique, de trois populations de Pin d'Alep du massif de la Gardiole. Leur dynamique d'accroissement a été étudiée afin de déterminer si les conditions climatiques sont les seuls facteurs pouvant impacter la croissance de ces arbres. Si tel est le cas, des populations d'une même espèce d'arbre soumises à un même climat devraient présenter une croissance similaire (Fritts, 1976). En revanche, si d'autres facteurs impactent leur croissance, des variations intra-sites ou inter-sites seront identifiables (Fritts, 1976). La datation, ainsi que l'analyse de ces perturbations, permettrait

potentiellement d'identifier d'autres facteurs impactant la croissance (Fritts, 1976).

MATERIEL ET METHODES

1- Site d'étude

Les prélèvements ont été effectués dans le sud de la France, dans le département de l'Hérault, sur le massif de la Gardiole (commune de Vic la Gardiole). Ce massif s'étend sur 5000 hectares et s'étire sur 17 km du Nord-Est au Sud-Ouest (George, 1936). Culminant à 236 mètres d'altitude, ce massif rocheux de type calcaire est dominé par un climat typique de la Méditerranée, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides (George, 1936). Les changements de l'activité humaine au cours XX^{ème} siècle ont entraîné de nombreuses modifications des paysages de la région de l'Hérault (Lepart et al., 1996). Entre les années 1910 à 1930, elle est principalement constituée de terres agricoles à 43%, contre seulement 3,6% de forêts (Lepart et al., 1996). Dans les années 1990, les terres consacrées aux cultures ne représentaient plus que 20% et la superficie recouverte de forêt avait été multipliée par 16 (Lepart et al., 1996). Toutefois, le paysage perd en diversité et tend à n'être constitué que de deux types de milieux, les terres agricoles et les forêts (Lepart et al., 1996).

Trois sites, de 100 m² chacun, ont fait l'objet d'échantillonnages (Table 1 ; Fig. 1). Ils sont respectivement situés au nord, au centre et au sud du massif de la Gardiole. Les 3 sites présentent une pente de 2%, ainsi qu'une flore méditerranéenne caractéristique : *Quercus ilex* (Chêne vert), *Pistacia terebinthus* (Pistachier térébinthe), *Rosmarinus officinalis* (Romarin), *Medicago orbicularis* (Luzerne orbiculaire), *Smilax aspera* (Salsepareille).

Table 1. Coordonnées des sites échantillonnés

	Latitude N	Longitude E	Altitude (m)
Site Nord	43°30'37,3"	03°44'47,5"	86
Site Centre	43°30'45,1"	03°45'44,7"	94
Site Sud	43°27'55,4"	03°48'23,3"	5

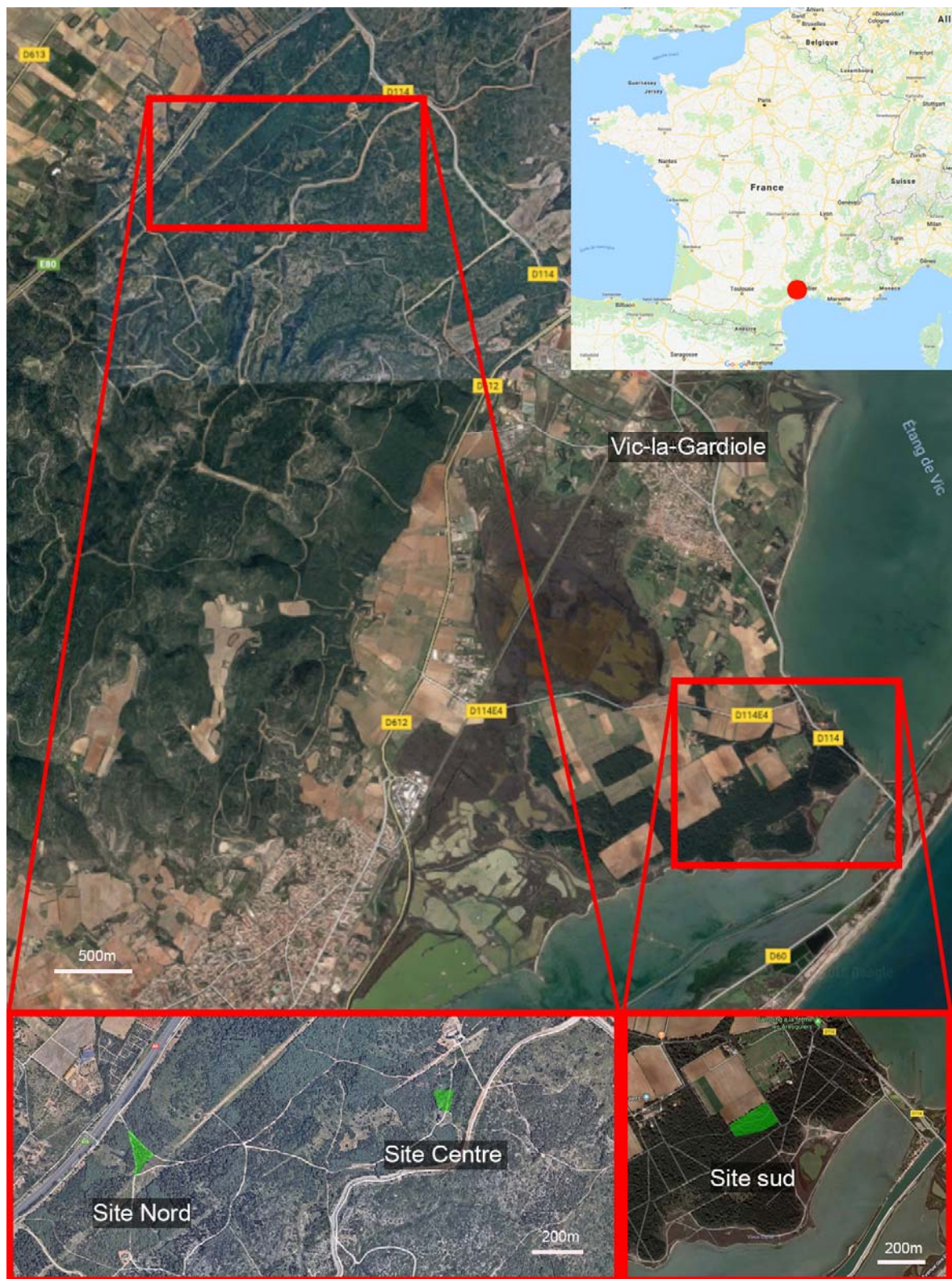


Figure 1. Zones d'échantillonnage représentées en vert (Images satellite : Google Maps)

2- Acquisition des données

Echantillonnage

Treize pins par site ont été échantillonnés de façon aléatoire, en veillant à ce qu'ils ne présentent pas de blessures (élagage naturel, artificiel, éboulements ou autre blessure de l'écorce) qui pourraient impacter leur croissance. Une tarière de Pressler a été utilisée afin de prélever des carottes. Pour chacun des arbres, deux carottes ont été échantillonnées, distantes d'un angle de 120°, afin d'établir la croissance moyenne du tronc et de limiter les biais liés à une croissance asymétrique de l'arbre (mise en place de bois de compression lorsque l'arbre pousse dans un milieu en pente). Les carottages ont été effectués à hauteur de poitrine, à environ 1 m de hauteur, permettant de diminuer le biais de la concurrence initiale subie par les arbres et l'empatement (caractérisé par une croissance excessive de la base de l'arbre) ([Lebourgeois & Merian, 2012](#)). L'ensemble des carottes a été conservé dans des pailles en plastique afin d'éviter leur détérioration.

Traitement des échantillons

Les carottes ont été séchées à l'air libre durant une semaine, puis collées par paire sur des supports en bois à l'aide d'un pistolet à colle. Afin de faciliter leur lisibilité, les échantillons ont été poncés à l'aide d'une ponceuse à bande (Scheppach bsm 2010) en utilisant des bandes de grains de plus en plus fins (P240, P400 et P600 grains/pouce²).

Analyse des échantillons

Dans un premier temps, les carottes ont été observées au stéréomicroscope (Leica MS5, M80) afin de réaliser un pointage des cernes. Cette étape permet de dater et de mettre en évidence certaines années caractéristiques. Dans un second temps, elles ont été scannées (EPSON V600 Photo) dans le but de réaliser la mesure des cernes (logiciel CooRecorder 8.1). Ainsi, la largeur de chaque cerne a pu être mesurée, et ce pour l'ensemble des échantillons. Le logiciel CDendro 9.1 a permis d'établir les courbes d'accroissement des arbres et ainsi de vérifier les données obtenues avec le logiciel précédent. Par la

suite, le logiciel TSAP-WinTM a été utilisé afin de produire, pour chaque carotte, une courbe de largeur de cerne en fonction du temps. Le synchronisme entre les courbes des carottes d'un même arbre a été étudié afin de déceler toute anomalie (telle que la présence de faux cernes, de cernes manquants, cernes discontinus ou encore la confusion entre des fluctuations et des cernes). Dans le cas où un cerne était manquant, cela a été corrigé par l'ajout d'un cerne de taille égale à 1 indice de croissance, permettant ainsi de rétablir la concordance entre les deux courbes d'accroissement d'un même individu. Des courbes moyennes par individu ont été produites, à partir desquelles des courbes d'accroissement moyen par site ont pu être réalisées.

Données climatiques et géographiques

Des données climatiques s'étendant de 1980 à aujourd'hui ont été obtenues à partir de relevés météorologiques réalisés par la station Météo France, via le labex Hymed, situé à Prades-le-lez (43°43'1.8" N et 3°51'28.2" E), distant de 27 km de la zone d'étude. Les précipitations (en mm) et les températures (en °C) y ont été enregistrées quotidiennement. Des photos aériennes des sites d'étude ont aussi été acquises à partir des archives IGN en libre accès ([Institut National de l'information géographique et forestière, 2018](#)). Des images prises à intervalle de trois ans ont été référencées géographiquement à partir du logiciel Qgis 3.0.1, permettant ainsi d'établir une chronologie des sites d'étude.

3- Traitement des données

A partir du logiciel RStudio 3.4.4, et du package DplR, les courbes précédemment produites ont été standardisées en utilisant une spline, permettant d'éliminer les biais de croissance liés à l'âge des arbres et rendant ainsi les résultats comparables entre eux. De plus, un intervalle de confiance à 99% a été calculé. Enfin, à partir de ce même logiciel ont été calculés certains indices statistiques, comme la sensibilité, permettant de déterminer le coefficient d'homogénéité de la largeur des cernes d'un arbre ; le GLK (pour

Gleichläufigkeit), déterminant si les fluctuations d'un échantillon sont en corrélation avec celles des autres individus d'un même site ; ainsi que l'EPS (Expressed Population Signal), mettant en évidence si le signal individuel coïncide avec le signal de la population.

RESULTATS

Dans un premier temps il est important de spécifier que deux carottes détériorées n'ont pas pu être exploitées. Ainsi, un arbre du site Sud et un autre du site Nord n'ont pas pu être moyennés avec leurs deux carottes et ne sont

représentés qu'à travers l'image d'une seule.

Les indices calculés ([Table 2a](#)) sont très proches aux travers des différents sites, la sensibilité y est pour tous supérieure à 0,2. Le GLK avoisine les 0,7 pour les 3 sites. Enfin, l'EPS est supérieur à 0,900 pour les sites Centre et Nord et est égal à 0,838 pour le site Sud. Concernant les indices calculés à partir des échantillons de plusieurs sites ([Table 2b](#)), ces derniers sont plus importants entre les sites Nord-Centre que lorsque ces sites sont associés au site Sud.

Table 2. Indices statistiques pour : a) les échantillons propre à chaque site ; b) les échantillons de plusieurs sites

a)	Nord	Centre	Sud
Sensibilité	0,3448269	0,2476516	0,2860208
GLK	0,7086108	0,7323853	0,6875721
EPS	0,907	0,909	0,838

b)	Nord - Centre	Nord - Sud	Centre - Sud	Nord - Centre - Sud
Sensibilité	0.2887692	0.2544231	0.2655	0.2695641
GLK	0.6968837	0.658991	0.6528931	0.6569787
EPS	0.946	0.857	0.871	0.908

Les courbes d'accroissement moyen standardisées pour les différents sites ([Fig. 2](#)) mettent en évidence une synchronicité entre les sites Nord et Centre plus importante entre eux qu'avec le site Sud. On note également la présence d'arbres plus âgés sur le site Sud. Cette observation est approfondie par la [Figure 2d](#), qui illustre le développement chronologique des arbres. Ainsi, les arbres échantillonnés sur les sites Nord et Centre se sont installés entre 1974 et 1978. En revanche, pour ce qui est du site Sud, une régénération progressive de nouveaux individus au cours du temps est visible.

Les différences inter-annuelles du taux de croissance des arbres ([Fig. 2a, b, c](#)) sont

synchrones entre les différents sites. C'est le cas notamment de l'année 1988, marquée par une forte croissance générale, et des années 2005 et 2008, marquées, au contraire, d'une faible croissance. Toutefois, certaines années caractéristiques ne sont pas communes à tous les sites : c'est le cas des années 1985, 1992, 1999 et 2014, où les faibles croissances ne sont observées que sur les sites Nord et Centre. En revanche, il est possible de constater que seul le site Sud est caractérisé par un changement brusque de croissance en 1977. Cet intervalle caractéristique est précédé par une décennie (1967-1977) marquée par une faible croissance des individus de ce site.

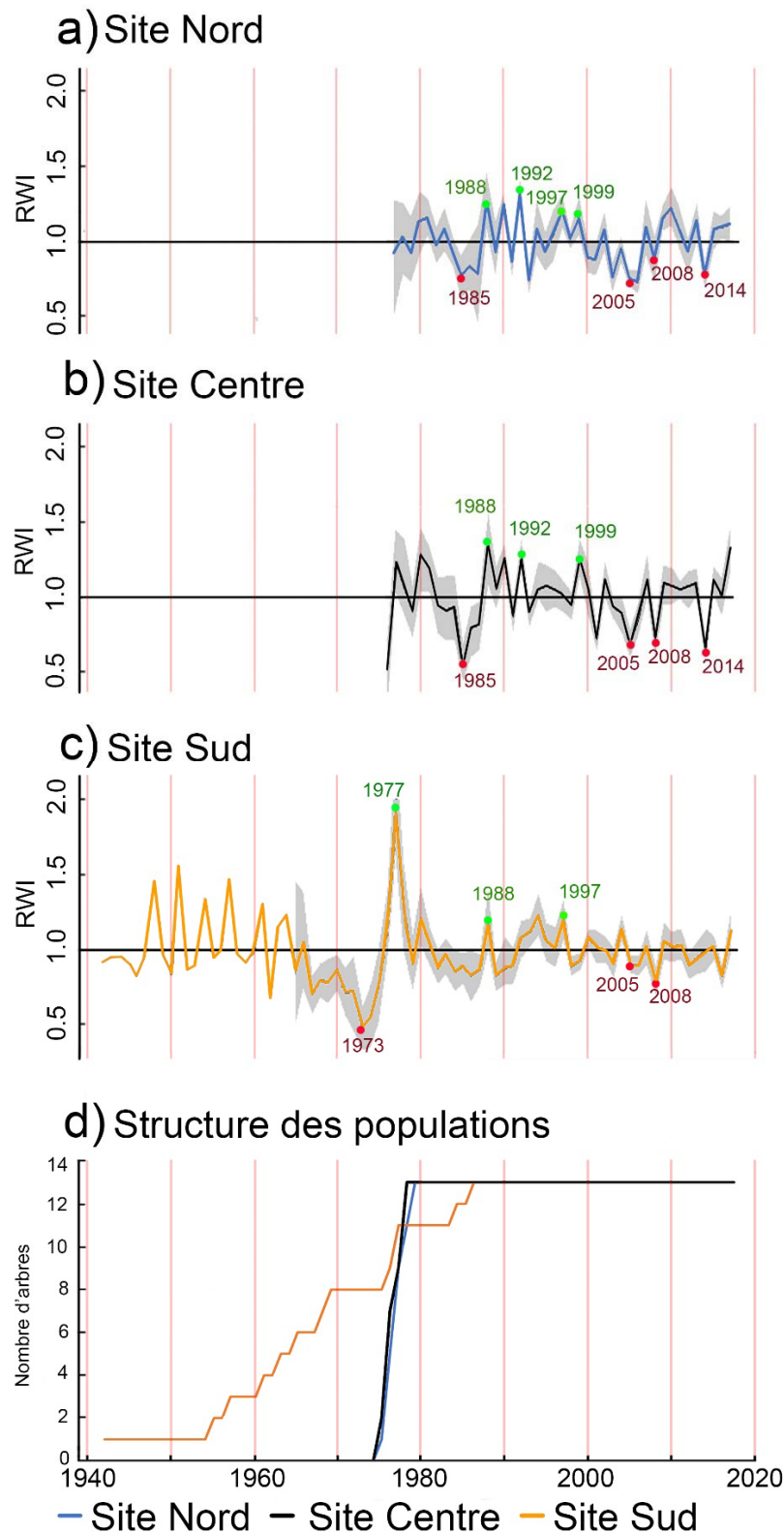


Figure 2. Courbes d'accroissement moyen standardisées des arbres provenant des différents sites (a, b, c) en fonction du temps. L'intervalle à 99% est représenté en gris. Les années marquées par une forte croissance sont représentées en vert ; les années marquées par une faible croissance sont représentées en rouge. d) Couverture temporelle des arbres échantillonnés en fonction du temps pour les sites Nord, Centre et Sud.

Les photos aériennes (Fig. 3) mettent en évidence la reforestation de terres (Fig. 3a-d) entre 1969 et 1974. En ce qui concerne le site

Sud (Fig. 3e, f), une ouverture considérable du milieu a eu lieu entre 1974 et 1977.

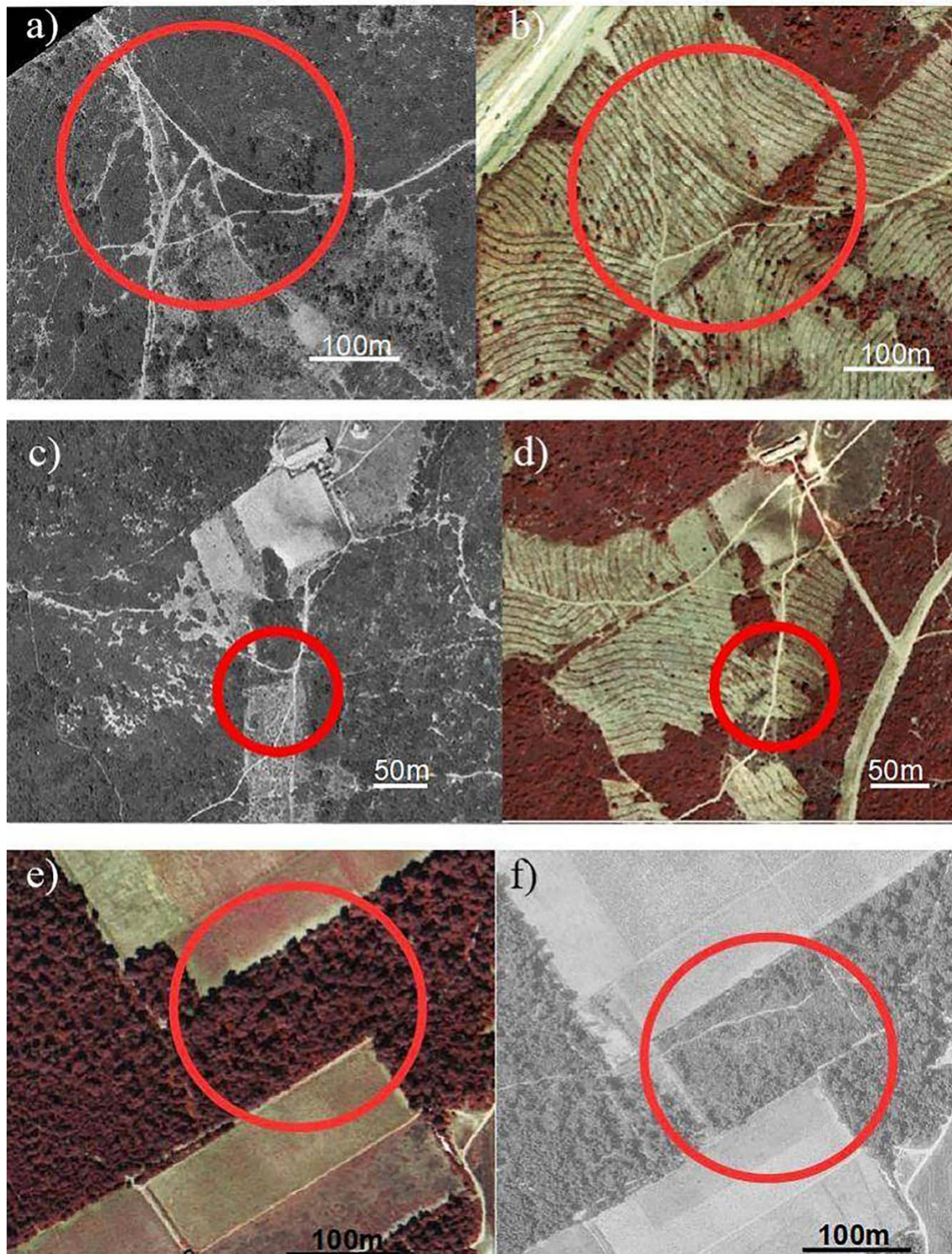


Figure 3. Photographies aériennes (Institut National de l'information géographique et forestière, 2018) a) du site Nord en 1969, b) du site Nord en 1974, c) du site Centre en 1969, d) du site Centre en 1974, e) du site Sud en 1974, f) du site Sud en 1977.

Enfin, les variations de températures (Fig. 4a) et de pluviométrie (Fig. 4b) permettent de mettre en évidence des années caractéristiques telles que 1985, 1989 et 1997, caractérisées par une forte sécheresse, ou encore l'année 1996, marquée par une forte pluviométrie. En

ce qui concerne les températures, les années 1985, 2005 et 2008 sont marquées par un automne froid. Enfin, 1988 et 1992 ont eu une période estivale avec des températures plus basses que les normales de saisons.

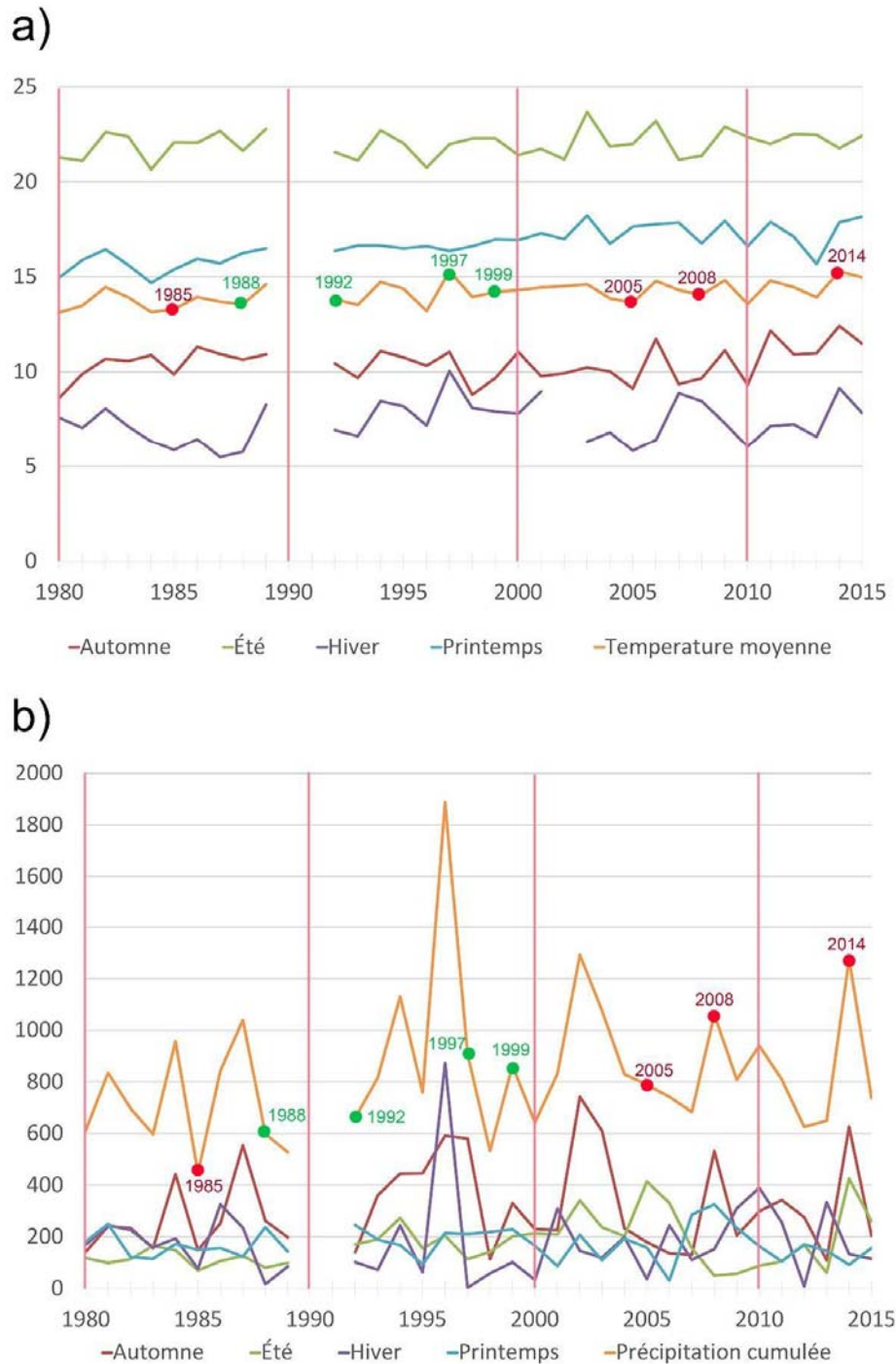


Figure 4. Données climatiques a) température et b) pluviométrie au cours du temps, de 1980 à 2015, relevées à 43°43'1.8" N et 3°51'28.2" E. Les années marquées par une forte croissance des arbres sont représentées en vert ; les années marquées par une faible croissance sont représentées en rouge.

DISCUSSION

1- Valeur des indices statistiques

Les trois sites présentent un EPS très proche de 1, indiquant que le signal des échantillons coïncide entre tous les individus. Le GLK proche de 0,70 indique que les échantillons sont synchrones, appuyant le fait que leur croissance est davantage un signal partagé par l'ensemble de la population qu'un signal individuel. Ces indices indiquent la robustesse du signal populationnel et témoignent d'un échantillonnage de taille suffisante. En ce qui concerne la sensibilité, elle permet de déterminer l'impact du climat sur la largeur des cernes. En effet, une sensibilité trop faible signifie que les cernes sont identiques les uns aux autres. En revanche, une sensibilité supérieure à 0,2 (comme c'est le cas ici), confirme l'impact du climat sur la croissance de l'arbre.

2- Variations inter-sites

La croissance des arbres entre les différents sites est très synchrone, témoignant d'un impact environnemental similaire (Fig. 2). Ils présentent notamment des années caractéristiques communes tels que les années 1988, 2005 et 2008. Également, l'ensemble des échantillons des trois sites présentent un EPS global proche de 0,9 indiquant que le signal inter-population coïncide.

Toutefois, il est à noter que les sites Nord et Centre sont plus synchrones entre eux qu'avec le site Sud, où une majorité de leurs années caractéristiques sont partagées. Les indices inter-sites réalisés (Table 2b) témoignent également de la proximité de leur signal, ils présentent en effet un EPS ainsi qu'un GLK plus fort que lorsqu'ils sont associés au site Sud. Cette observation peut être expliquée par une proximité plus importante des sites Nord et Centre. Ces derniers ne sont distants que d'1 km contrairement au troisième site qui est situé 8 km plus au sud. Ils présentent également une altitude équivalente (proche de 90 m), alors que le site Sud n'est qu'à 5 m d'altitude. Ainsi les sites Nord et Centre auraient été influencés

par un climat similaire dû à leur plus grande proximité. Tandis que le site Sud, de par sa localisation proche du littoral, pourrait être soumis à des influences maritimes pouvant expliquer les différences avec les deux autres sites. En effet, dans leur étude [Raventós et al. \(2001\)](#) ont pu observer un signal climatique des individus littoraux différents de ceux éloignés du rivage. De plus, les individus littoraux présentaient une plus forte sensibilité aux variations de précipitation.

Cette similitude pourrait également être liée au patrimoine génétique des arbres ([Balsemin & Collin, 2004](#) ; [Nanson, 2005](#)). A partir de la [Figure 2](#), il est possible de constater que l'ensemble des arbres des sites Nord et Centre s'est développé la même période. De plus, les photos aériennes ([Fig. 3a-d](#)) révèlent qu'ils sont issus d'un reboisement. En effet, l'alignement des plantations est distinctement visible et témoigne d'une activité anthropique. Ainsi, il est probable que les arbres plantés proviennent d'une même lignée et qui, adaptés de la même façon à l'environnement, auraient eu leur croissance impactée de façon comparable ([Balsemin & Collin, 2004](#) ; [Nanson, 2005](#)). Afin de contrer ce phénomène et de préserver une diversité génétique, les reboisements sont dorénavant réalisés à partir d'un large pool génétique ([Balsemin & Collin, 2004](#) ; [Nanson, 2005](#)). Toutefois, seules des analyses génétiques pourraient indiquer si l'ensemble des arbres de ces sites proviennent d'une même lignée ou de lignées distinctes.

En ce qui concerne la date à laquelle ce reboisement s'est opéré, les photos aériennes indiquent qu'il aurait eu lieu entre 1969 et 1974. Toutefois, les datations réalisées à partir des carottes suggèrent une plantation plus tardive ([Fig. 2d](#)) qui aurait eu lieu entre 1974 et 1976. Cette différence de datation peut être due à deux facteurs. Le premier est que le centre de l'arbre n'a pas toujours été atteint lors des carottages. Ainsi, les derniers cernes étant manquants, il n'était alors pas possible de déterminer l'année d'élaboration de la moëlle. Cela pourrait également être dû à la hauteur de carottage qui, lorsqu'elle n'est pas réalisée au collet, ne permet pas d'obtenir le

premier cerne du cotylédon, permettant de définir l'âge de l'arbre. Les archives bibliographiques témoignent d'une volonté politique de réaménagement du littoral entre 1965 et 1982, où de nombreux reboisements auraient été financé par l'Etat français (Guérin, 1970 ; Courtieu, 2000).

3- Variations intra-sites

Le site Sud présente des individus échantillonnés avec d'importantes différences d'âge (Fig. 2d). Ils se sont développés de façon progressive sur un pas de temps d'une cinquantaine d'années, comme cela se produit lors d'une régénération naturelle (Thanos, 2000). En effet, bien que *Pinus halepensis* préserve des banques de graines dans la canopée permettant une régénération post incendie, il produit également des graines fertiles chaque années (Thanos, 2000).

La Figure 2c présente une croissance considérable en 1977. Cette dernière peut être assimilée à l'ouverture du milieu visible sur les photos aériennes (Fig. 3e, f). En effet, jusqu'en 1974, la parcelle comprenait une importante densité d'arbre, où la compétition entraînait probablement une faible croissance durant la décennie précédant cette ouverture (Fig. 2c). L'effet d'éclaircie du site a entraîné la diminution de la concurrence entre les arbres pour la lumière et est vraisemblablement à l'origine de cette soudaine croissance observée (Fig. 2c).

4- Impact climatique

Enfin, il s'est avéré possible de constater un impact similaire sur la croissance des trois sites, qui pourrait être identifié comme un impact climatique. La comparaison des Figures 2 et 4 permet de relier des années caractérisées par une croissance faible ou forte avec les caractéristiques climatiques. Ainsi, les années 1988, 1992 et 1997, caractérisées par une forte croissance sont associées à une pluviométrie importante durant l'automne et l'hiver de l'année précédente, et un été plutôt frais. L'année 1999, également caractérisée par une croissance importante, a connu des pluies

durant le printemps, l'été et l'automne, et des températures s'inscrivant dans les moyennes de saison. Semblant coïncider avec l'étude de Nicault et al. (2001) dans laquelle il indique que le démarrage de la croissance serait favorisée par un hiver doux et humide.

Enfin, les années caractérisées par une faible croissance ont été soumises à une importante sécheresse toute l'année en 1985, une sécheresse estivale en 2008, ainsi qu'une sécheresse printanière en 2014. Mais également la présence d'un hiver froid et sec, comme cela s'est présenté en 2005. Nicault et al. (2001) sont parvenus dans leur étude à identifier qu'une sécheresse hivernale importante liée à de faibles températures pourrait entraîner un retard du début de croissance.

Ces données suggèrent qu'une meilleure croissance serait positivement corrélée à une forte pluviométrie hivernale ainsi qu'à une période estivale plutôt fraîche, tandis qu'une faible croissance à une sécheresse intense. Cela semble coïncider avec la littérature (Nicault et al., 2001) qui présente les faibles pluviométries comme un facteur limitant la croissance du Pin d'Alep.

CONCLUSION

La croissance des arbres des différents sites présente un synchronisme témoignant d'une influence climatique similaire. Toutefois, il s'est avéré que deux sites présentant une forte synchronicité étaient issus de reboisements anthropiques de la même année. Il a été suggéré que ces arbres pourraient appartenir à une même lignée, leur croissance, influencé de la même manière, aurait donc réagi de façon comparable. Toutefois, un plus grand nombre de sites issus de reboisements d'une même lignée serait nécessaires afin de vérifier cette hypothèse. De plus, des variations de croissance entre les sites ont également pu être constatées. Plusieurs facteurs sont susceptibles d'y être liés, tels que l'influence maritime ou encore la distance inégale entre les sites. Également, une variation de croissance propre à un seul des sites a pu être associée à une ouverture du milieu. Ainsi, ces données suggèrent, par l'observation de

différences de croissance inter-population, que des facteurs non-climatiques (compétition, environnement, génétique, etc.) pourraient également impacter la croissance des arbres. Enfin, les données climatiques évoquent une croissance radiale principalement liée aux pluviométries, en accord avec la littérature.

REFERENCES

- Arnaud N.T., Dimanche M. & Ferraina F. (1994). A propos de l'intégration de la dimension paysagère dans l'aménagement de l'espace rural. *Forêt Méditerranéenne*, 15 : 330-334.
- Balsemin E. & Collin E. (2004). Conservation in situ des ressources génétiques des arbres forestiers en France métropolitaine. *Ingénieries*, 40 : 51- 60.
- Courtieu Y. (2000). L'incendie de Guzargues. *Forêt Méditerranéenne*, 3 : 327-337.
- El Khorchani A., Gadbin-Henry C., Bouzid S. & Claude A. (2007). Impact de la sécheresse sur la croissance de trois espèces forestières en Tunisie (*Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L. et *Pinus pinaster* Sol.). *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 18 : 113-121.
- Fritts H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, San Diego, 567 p.
- Gadbin-Henry C. (1994). *Étude dendroécologique de Pinus pinea L. Aspect méthodologique*. Thèse de doctorat, université Aix-Marseille III, 80p.
- George P. (1936). La Gardiole, étude morphologique. In : E.F. Gautiers & P. George (éds.), *Bulletin de l'Association de géographes français*, Association de Géographes Français, Paris, pp. 92-99.
- Guérin J.-C. (1970). Les travaux de boisement du littoral Languedoc-Roussillon. *Nature Loisirs et forêt*, 22 : 168-178.
- Institut National de l'information géographique et forestière. (2018). Remonter le temps. <http://remonterletemps.ign.fr/> (dernière consultation le : 1/05/2018)
- Khaleghi M.R. (2018). Application of dendroclimatology in evaluation of climatic changes. *Journal of Forest Science*, 64 : 139-147.
- Lebourgeois F. & Merian P. (2012). *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois (LERFOB), AgroPariTech, Nancy, 85 p.
- Lepart J., Dervieux A. & Debussche M. (1996). Photographie diachronique et changement des paysages : un siècle de dynamique naturelle de la forêt à Saint-Bauzille-de-Putois, vallée de l'Hérault. *Forêt Méditerranéenne*, 2 : 63-80.
- Nanson A. (2005). *Génétique et amélioration des arbres forestiers*. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 713 p.
- Nicault A., Rathgeber C., Tessier L. & Thomas A. (2001). Observation 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. *Springer Verlag*, 58 : 769-784.
- Rameau J.C., Mansion D., Dumé G. & Gauberville C. (2008). *Flore forestière française, guide écologique illustré, région méditerranéenne*. Institut pour le développement forestier, Paris, 2432 p.
- Raventós J., De Luís M., Gras M.J., Cufar K., González-Hidalgo J.C., Bonet A., Sánchez J.R. (2001). Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. *Dendrochronologia* 19 : 1-5.
- Thanos C.A. (2000). Ecophysiology of seed germination in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. In : G. Ne'eman & L.Trabaud L (éds.), *Ecosystems in the Mediterranean Basin*, pp. 37-50. Backhuys Publishers, Leiden.